

VULNERABILIDADE DE BIOMAS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: O CASO DA MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DO PARANÁ

Daniel de Berrêdo Viana

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Planejamento Energético,
COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro,
como parte dos requisitos necessários à obtenção do
título de Doutor em Planejamento Energético.

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Rio de Janeiro

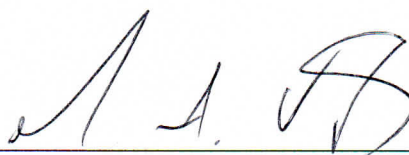
Agosto de 2015

VULNERABILIDADE DE BIOMAS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: O
CASO DA MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DO PARANÁ

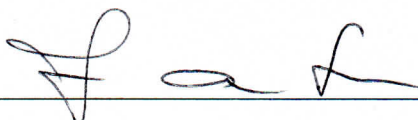
Daniel de Berrêdo Viana

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

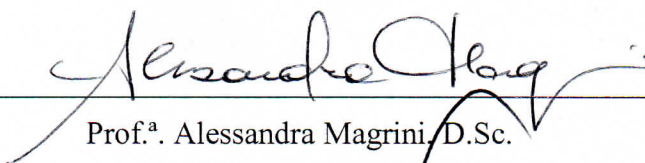
Examinada por:



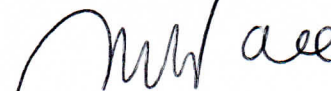
Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, D.Sc.



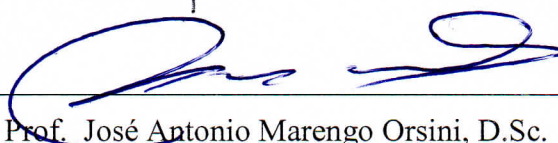
Dr. José Antônio Sena do Nascimento, D.Sc.



Prof.ª. Alessandra Magrini, D.Sc.



Prof.ª. Mariana Moncassim Vale, D.Sc.



Prof. José Antonio Marengo Orsini, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2015

Berrêdo Viana, Daniel de

Vulnerabilidade de biomas às mudanças climáticas: o caso da Mata Atlântica no estado do Paraná / Daniel de Berrêdo Viana. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

XV, 343 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Tese (Doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 295 - 314.

1. Mudanças Climáticas. 2. Vulnerabilidade. 3. Mata Atlântica. I. Freitas, Marcos Aurélio Vasconcelos de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

*The world is changed. I feel it in
the water. I feel it in the earth. I smell
it in the air. Much that once was is lost,
for none now live who remember it.*

J. R. R. Tolkien

*If the essence of life is the
information that spreads through
genes, society and culture are also
nothing but huge memory systems. The
city is a huge external memory device.*

Masamune Shirow

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Teresa Galvão de Berrêdo e Rodolfo José Lúrio Viana, além dos tios, tias primos e agregados por continuarem a acreditar na minha formação e não reclamarem muito dos meus horários aleatórios de estudo.

Aos meus orientadores, tanto o Prof. Marcos Freitas quanto aos inúmeros indiretos, como José Antônio Sena do Nascimento, Lázaro Costa, Cynara Alets, Leandro Deus, com quem troquei ideias, considerações e dúvidas.

A COPPE/UFRJ e o IBGE/ENCE, por manterem instituições de ensino superior e pós-graduação pública de elevado conteúdo teórico-prático, capacitando gratuitamente profissionais sob uma ótica transdisciplinar para áreas de suma importância no mercado, algo ímpar na realidade brasileira.

Aos colegas de trabalho no IVIG, como a grande amiga Vera Ruffato, Sylvia Rola, Neilton Fidelis, Renata Gomes e outros que entendem a dificuldade de se realizar diversas tarefas ao mesmo tempo.

Aos participantes do Núcleo de Pesquisas Socioambientais pela rica troca de experiências com análises de feições antrópicas na paisagem e práticas associadas ao sensoriamento remoto.

Um sonoro obrigado a todos aqueles que contribuíram com a construção deste trabalho via o compartilhamento de bases de dados e referências, incluindo as suas instituições de trabalho.

Também um agradecimento especial a Eloísa Zanin, Breno, Luiz Renato, Lex, Cesar, Sette, Moacyr, Pedro Barros (obrigado pela dica do programa), irmãos Latt, Flor, Pablo, Gustavo, Alexandre, Marcela, Marcella, Aninha, Bel, Igor, Verô, Yuli, Paes, Paulinha, Fu, Fers Jacque, Julia, Gabriela, Nappo, Karina, galera da Bio, membros do quadradinho, e tantos outros que é com pesar que não continuo a estender esta lista, vocês sabem quem são.

À Sandra Reis e Paulo Feijó, pelas infindáveis ajudas na secretaria da COPPE e agilizar diversos processos.

A CAPES, por ajudar financeiramente esta empreitada.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

VULNERABILIDADE DE BIOMAS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: O CASO DA MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DO PARANÁ

Daniel de Berrêdo Viana

Agosto/2015

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Programa: Planejamento Energético

O presente trabalho tem como objetivo identificar a vulnerabilidade de biomas frente aos cenários de mudanças climáticas e as pressões socioeconômicas, utilizando como estudo de caso a Mata Atlântica no estado do Paraná. A partir do cruzamento de banco de dados geoespaciais com informações sobre variáveis edafoclimáticas foi possível determinar indutivamente sua relação com a cobertura fitofisionômica potencial do estado, assim como mapear o deslocamento estimado de suas distribuições em decorrência às mudanças nos padrões de precipitação e temperatura causados pela ação antrópica nos cenários climáticos de análise. Ainda foi realizado um cruzamento com variáveis socioeconômicas de cada município, compondo um índice de vulnerabilidade antrópica dos remanescentes, apresentados por meio de mapas temáticos. Os resultados foram condizentes com o objetivo proposto, apresentando um panorama da vulnerabilidade dos remanescentes do Paraná frente às mudanças climáticas, demonstrando sua aplicação como ferramenta de auxílio à gestão e para a preservação da biodiversidade nacional.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

BIOME VULNERABILITY TO CLIMATIC CHANGE: THE PARANÁ STATE
ATLANTIC FOREST CASE

Daniel de Berrêdo Viana

August/2015

Advisor: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Department: Energy Planning

This study aims to identify the vulnerability of biomes in face of the climate change scenarios and socioeconomic pressures, using as case study the Atlantic Forest biome in Paraná state. Through geospatial database and edaphoclimatic variables crossing, the interrelationship of these variables with the physiognomy potential coverage of the state was determined inductively, followed by the mapping of the estimated distributions shifts due to changes in precipitation and temperature patterns caused by anthropogenic influence in the analyzed climate scenarios. It was also conducted a crossover with socioeconomic variables of each municipality, composing an anthropic vulnerability index for the remaining natural areas, presented through thematic maps. The results were consistent with the proposed objective, presenting an overview of the vulnerability of Paraná state remaining natural areas to climate change, demonstrating its application as an assessment tool for the management and preservation of national biodiversity.

1.	Introdução.....	1
2.	A Mata Atlântica	14
2.1.	Conceito de Bioma	14
2.2.	Características da Mata Atlântica	18
2.3.	Delimitação da Mata Atlântica	22
2.4.	Fitofisionomias Existentes na Mata Atlântica	27
2.5.	Legislações referentes à Mata Atlântica	31
3.	Relações Edafoclimáticas.....	35
3.1.	Fatores relacionados ao desenvolvimento vegetal.....	38
3.1.1.	Clima.....	38
3.1.2.	Geomorfologia	53
3.1.3.	Solos.....	59
3.2.	Técnicas de sensoriamento remoto e SIG para análises edafoclimáticas	66
4.	Modelos.....	72
4.1.	Modelo de vegetação Potencial	74
4.2.	Análise das metodologias: potencialidades e restrições	75
4.2.1.	Síntese comparativa	79
4.3.	Modelos e cenários climáticos.....	82
4.3.1.	Tipos de MCGs	82
4.3.2.	O IPCC e os Cenários Climáticos	86
5.	Vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças climáticas	97
5.1.	Conceitos	97
5.2.	Influência antrópica no sistema climático	116
5.2.1.	Alterações climáticas registradas	117
5.2.2.	Alterações climáticas projetadas	123
5.3.	Impactos das Mudanças Climáticas.....	128
5.3.1.	Impactos na Biosfera	129
5.3.2.	Velocidade de alteração de nichos e capacidade de deslocamento da biota..	129
5.3.3.	Impactos observados na Biosfera	134
5.3.4.	Impactos esperados na biosfera	138
5.3.5.	Impactos sobre os sistemas antrópicos	145
5.3.6.	Impactos observados sobre os sistemas antrópicos	145
5.3.7.	Impactos esperados sobre os sistemas antrópicos.....	149
5.4.	Mitigação e adaptação aos impactos das mudanças climáticas.....	153
5.4.1.	Elementos da governança brasileira para mitigação e adaptação às mudanças climáticas.....	155
5.4.2.	Adaptação de remanescentes naturais aos impactos da mudança do clima...	159
6.	Metodologia de vulnerabilidade de remanescentes florestais	172
6.1.	Programas utilizados	175
6.2.	Etapas Preliminar	175
6.2.1.	Adequação dos dados.....	179
6.3.	Etapas 1 – Modelo de Vegetação Potencial e Vulnerabilidade Climática das Fitofisionomias	185
6.3.1.	Pressupostos.....	187
6.3.2.	Interpretação do modelo	189
6.3.3.	Regressão Logística Multinomial no SPSS	193
6.3.4.	Cruzamento da modelagem com os Cenários do SR5.....	196
6.4.	Etapas 2 – Vulnerabilidade Socioeconômica da vegetação remanescente do Paraná	198

6.5. Etapa 3 – Vulnerabilidade da Vegetação Remanescente do Paraná frente às Mudanças Climáticas.....	200
6.5.1. Cálculo das Emissões Potenciais de CO ₂	202
7. Estudo de caso: o estado do Paraná.....	208
7.1. O estado do Paraná	208
7.1.1. Ambiente físico do Paraná	210
7.1.2. Classificação Climática.....	213
7.1.3. Sistema Hidrogeográfico	217
7.1.4. Cobertura vegetal do Paraná	219
7.2. Histórico de ocupação e remanescentes atuais	220
7.3. Legislação sobre mudança do clima e integração com instrumentos de gestão do Paraná.	227
8. Vulnerabilidade dos remanescentes florestais do Paraná frente às Mudanças Climáticas.....	237
8.1. Etapa 1	237
8.1.1. Análise descritiva das VPs.....	237
8.1.2. Regressão logística multinomial - Modelo Edafo0.....	240
8.2. Etapa 2	262
8.3. Etapa 3	267
8.4. Discussão	274
9. Conclusões e considerações finais	288
9.1. Conclusões.....	288
9.2. Considerações finais	292
9.3. Recomendações de trabalhos futuros	293
10. Referências	295
Anexos.....	315
Anexo 1: Mapa de Vegetação do MME (1983)	315
Anexo 2: Mapa de Vegetação Potencial do SEA/INEA (2011).....	316
Anexo 3: Mapa de Vegetação Potencial de OYAMA & NOBRE (2002).....	317
Anexo 4: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas dos cenários estudados.	318
Anexo 5: Estimativas dos parâmetros das VPs para as categorias de vegetação.	322
Anexo 6: Tabulação cruzada entre as classes de vegetação previstas na TP com a dos cenários estudados.	327
Anexo 7: Mapas da alteração da vegetação prevista por cenário estudado.....	331
Anexo 8: Mapas do Índice de Alteração Fitofisionômica Potencial (IAFP) por cenário estudado.	335
Anexo 9: Mapas dos remanecentes e respectivas composições fitofisionômicas potenciais para cada cenário estudado.	339

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de biomas do Brasil.	17
Figura 2: Tectônica das margens continentais do Brasil oriental e África ocidental.. ...	20
Figura 3: Comparação entre a delimitação do Bioma Mata Atlântica.	26
Figura 4: Mapa de precipitação anual média sobre o território brasileiro.....	40
Figura 5: Ciclo hidrológico global.....	41
Figura 6: Incidência dos raios solares sobre a superfície da Terra.....	45
Figura 7: Inclinação dos raios solares e a distribuição de energia.....	45
Figura 8: Variação do Fotoperíodo com a latitude.....	46
Figura 9: Efeito da velocidade do vento na evapotranspiração	50
Figura 10: Unidades taxonômicas utilizadas pelo IBGE (2009)	55
Figura 11: Relação s entre a altitude e a latitude.....	57
Figura 12: Vulnerabilidade e a inequidade.....	108
Figura 13: Relação dos principais conceitos do AR5.....	111
Figura 14: Velocidades máximas de migração de espécies.....	133
Figura 15: Princípios geométricos para o desenho de reservas da natureza.....	163
Figura 16: Etapas da pesquisa..	172
Figura 17: Triângulo textural da fração terra fina. IBGE 2009.....	182
Figura 18: Regiões Geográficas do Paraná	209
Figura 19: Regiões geográficas naturais do Paraná.....	211
Figura 20: Hipsometria do Paraná.....	211
Figura 21: Divisões climáticas do Paraná segundo o sistema de Köppen	215
Figura 22: Temperatura média anual do Paraná.....	215
Figura 23: Temperatura trimestral média do Paraná.....	216
Figura 24: Precipitação anual média do Paraná.....	216
Figura 25: Precipitação trimestral média do Paraná.....	217
Figura 26: Unidades Hidrográficas do Paraná.....	218
Figura 27: Reconstrução da cobertura vegetal do estado do Paraná segundo Maack ..	220
Figura 28: Remanescentes vegetais do Paraná	224
Figura 29: Evolução do perfil fitofisionômico para os cenários do HadGEM2-ES.....	255
Figura 30: Evolução do perfil fitofisionômico para os cenários do MIROC5.	255
Figura 31: Mapa da distribuição das fitofisionomias potenciais do Paraná.	256
Figura 32: Mapa da distribuição das fitofisionomias potenciais segundo Edafo0.	256
Figura 33: Mapa da alteração das fitofisionomias potenciais do Paraná.....	257
Figura 34: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TH54.	258
Figura 35: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TH58.	258
Figura 36: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TH74.	259
Figura 37: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TH78.	259
Figura 38: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TM54.....	260
Figura 39: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TM58.....	260
Figura 40: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TM74.....	261
Figura 41: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TM78.....	261
Figura 42: Vulnerabilidade dos remanescentes às unidades agropecuárias no Paraná	265
Figura 43: Vulnerabilidade dos remanescentes à produção de Lenha no Paraná.....	265
Figura 44: Vulnerabilidade dos remanescentes à renda no Paraná.	266
Figura 45: Vulnerabilidade dos remanescentes ao decrémento no Paraná.....	266
Figura 46: IVSE dos Municípios do Paraná.	267
Figura 47: IVAR do cenário TH54.....	269
Figura 48: IVAR do cenário TH58.....	269
Figura 49: IVAR do cenário TH74.....	270

Figura 50: IVAR do cenário TH78.....	270
Figura 51: IVAR do cenário TM54.....	271
Figura 52: IVAR do cenário TM58.....	272
Figura 53: IVAR do cenário TM74.....	272
Figura 54: IVAR do cenário TM78.....	273
Figura 55: Dimensões das ameaças para a gestão de UCs	285
Figura 56: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TH54.....	331
Figura 57: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TH58.....	331
Figura 58: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TH74.....	332
Figura 59: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TM78.....	332
Figura 60: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TM54.....	333
Figura 61: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TM584.....	333
Figura 62: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TM74.....	334
Figura 63: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TM78.....	334
Figura 64: Mapa do IAFP para o cenário TH54.....	335
Figura 65: Mapa do IAFP para o cenário TH58.....	335
Figura 66: Mapa do IAFP para o cenário TH74.....	336
Figura 67: Mapa do IAFP para o cenário TH78.....	336
Figura 68: Mapa do IAFP para o cenário TM54.....	337
Figura 69: Mapa do IAFP para o cenário TM58.....	337
Figura 70: Mapa do IAFP para o cenário TM74.....	338
Figura 71: Mapa do IAFP para o cenário TM78.....	338
Figura 72: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para a TP.....	339
Figura 73: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TH54. .	340
Figura 74: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TH58. .	340
Figura 75: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TH74. .	341
Figura 76: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TH78. .	341
Figura 77: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TM54..	342
Figura 78: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TM58..	342
Figura 79: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TM74..	343
Figura 80: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TM78..	343

Lista de Tabelas

Tabela 1: Comparação das áreas de vegetação do bioma Mata Atlântica.....	27
Tabela 2: Quantidade da biomassa de raízes por bioma.....	64
Tabela 4: Relação entre nível da escala e tipos de dados.....	68
Tabela 5: Quadro comparativo entre MVP's descritos..	79
Tabela 6: Termos usados no AR5 e sua respectiva probabilidade de ocorrência	117
Tabela 7: Projeção das concentrações de GEE para cada RCP.....	123
Tabela 8: Projeção do aumento da temperatura média para cada RCP.....	124
Tabela 9: Projeção do aumento do nível do mar médio para cada RCP.	124
Tabela 10: Princípios geométricos para o desenho de reservas da natureza.	162
Tabela 11: Classes fitofisionômicas e códigos de identificação.	181
Tabela 12: Escala de Atterberg modificada. EMBRAPA 2009	181
Tabela 13: Escala de Granulometria média.....	183
Tabela 13: Escala de Declividade média.....	184
Tabela 14: Índice de Alteração Fitofisionômica Potencial (IAFP).	197
Tabela 15: Índice de Vulnerabilidade Antrópica Fitofisionômica do Paraná (IVAF).	201
Tabela 16: Índice de Vulnerabilidade Antrópica dos Remanescentes	202
Tabela 18: Densidade de carbono das fisionomias vegetais no bioma Mata Atlântica.....	206
Tabela 19: Emissão potencial de carbono da alteração fitofisionômica.....	207
Tabela 20: Coordenadas geográficas dos pontos extremos do Paraná.	208
Tabela 21: Comitês de Bacia implementados no Estado do Paraná.....	218
Tabela 22: Decremento histórico das matas do Paraná. SOSMA 2014.	224
Tabela 23: Análise descritivas das variáveis comuns.....	237
Tabela 24: Análise descritiva da VD Veg.	238
Tabela 25: Análise descritiva da VD Veg3.	239
Tabela 26: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TP	239
Tabela 27: Sumário do Edafo0.	240
Tabela 28: <i>Model fitting</i> de Edafo0.	241
Tabela 29: Model fitting das VP do Edafo0.	241
Tabela 30: Razão de Chance e Tamanho de Efeito das VPs de Edafo0 com a Estepe como categoria de referência.....	244
Tabela 31: Razão de Chance e Tamanho de Efeito das VPs de Edafo0 com a Floresta Estacional Semidecidual como categoria de referência.	245
Tabela 32: Razão de Chance e Tamanho de Efeito das VPs de Edafo0 com a Floresta Ombrófila Densa como categoria de referência.	246
Tabela 33: Razão de Chance e Tamanho de Efeito das VPs de Edafo0 com a Floresta Ombrófila Mista como categoria de referência.	247
Tabela 34: Razão de Chance e Tamanho de Efeito das VPs de Edafo0 com a Savana como categoria de referência.....	248
Tabela 35: Principais VPs para a transição entre as fitofisionomias de Edafo0.	249
Tabela 36: <i>Goodness-of-fit</i> de Edafo0.	253
Tabela 37: Pseudo-R ² de Edafo0.	253
Tabela 38: Tabela da precisão da classificação fitofisionômica cruzada de Edafo0....	253
Tabela 39: Alteração prevista para a vegetação em cada cenário de análise.	253
Tabela 40: Percentual Fitofisionômico encontrado nos cenários.	254
Tabela 40: Análise de frequências das VSE.....	262
Tabela 41: Análise de Correlação das VSE com o Decremento Médio.....	263
Tabela 42: Classes do IVSE a partir do critério de Jenks.....	264
Tabela 43: Classes do IDRM a partir do critério de Jenks.	268
Tabela 44: Emissões líquidas da alteração fitofisionômica potencial por cenários.	274

Tabela 45: Percentual de relevância de cada VP para as comparações entre as fitofisionomias.....	275
Tabela 46: Emissões antrópicas líquidas de CO2 para o período de 1994 a 2002 por bioma. MCT, 2010.	287
Tabela 48: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TH54 (n = 255265).....	318
Tabela 49: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TH58 (n = 255265).....	318
Tabela 50: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TH74 (n = 255265).....	319
Tabela 51: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TH78 (n = 255265).....	319
Tabela 52: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TM54 (n = 255265). ...	320
Tabela 53: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TM58 (n = 255265). ...	320
Tabela 54: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TM74 (n = 255265). ...	321
Tabela 55: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TM78 (n = 255265). ...	321
Tabela 56: Estimativas dos parâmetros das VPs para a vegetação de referência 5.....	322
Tabela 57: Estimativas dos parâmetros das VPs para a vegetação de referência 6.....	323
Tabela 58: Estimativas dos parâmetros das VPs para a vegetação de referência.....	324
Tabela 59: Estimativas dos parâmetros das VPs para a vegetação de referência 8.....	325
Tabela 59: Estimativas dos parâmetros das VPs para a vegetação de referência 11....	326
Tabela 61: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TH54 (n = 242750).....	327
Tabela 62: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TH58 (n = 242750).....	327
Tabela 63: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TH74 (n = 242750).....	328
Tabela 64: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TH78 (n = 242750).....	328
Tabela 65: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TM54 (n = 242750).....	329
Tabela 66: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TM58 (n = 242750).....	329
Tabela 67: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TM74 (n = 242750).....	330
Tabela 68: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TM78 (n = 242750).....	330

Lista de Siglas

- AC – Antes de Cristo
- AIA – Avaliação de Impacto Ambiental
- AIC – *Akaike's information criterion*
- AMOC – Circulação de Revolvimento do Atlântico Meridional
- AOGCMs – Modelos de Circulação Geral Acoplados Oceano–Atmosféricos
- AP – Anos Passados
- BECCS –Tecnologias de bioenergia com captura e armazenamento de carbono
- BIC – *Schwarz's Bayesian information criterion*
- CAD – Capacidade de Água Disponível
- CC – Capacidade de Campo
- CEPAL - Comissão Econômica para a América Latina e Caribe
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo
- CIM – Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima
- CIMGC – Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
- CNAC – Cadastro Nacional de Áreas Contaminadas
- CNAE – Comissão Nacional de Atividades Espaciais
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- CQNUMC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
- CPIP – Controle e Prevenção Integrados de Poluição
- CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
- DC – Depois de Cristo
- EIA – Estudo de Impacto Ambiental
- ENSO – El Niño–Oscilação Sul
- EPI – Equipamentos de Proteção Individual
- ESI – Índice de Sustentabilidade Ambiental
- EVI – Índice de Vulnerabilidade Ambiental
- Exp(B) – Razão de Chance
- GEE – Gases do Efeito Estufa
- ha – Hectares
- IAFP – Índice de Alteração Fitofisionômica Potencial
- IVAFA = Índice de Vulnerabilidade Antrópica Fitofisionômica
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IDRM – Índice de Densidade de Remanescentes Municipal
- INEA – Instituto Estadual do Ambiente
- INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais
- IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
- IVAR – Índice da Vulnerabilidade Antrópica dos Remanescentes
- IVSE – Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica
- MCG – Modelos de Circulação Geral
- MCR – Modelos Climáticos Regionais
- MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
- MMA – Ministério do Meio Ambiente

- MME – Ministério de Minas e Energia
- MVP – Modelo de Vegetação Potencial
- NAMAs – Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas
- NAPA – Programas Nacionais de Ações de Adaptação
- NASA – *National Aeronautics and Space Administration*
- NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*
- OMM – Organização Meteorológica Mundial
- PAE – Plano para Ações Emergenciais
- PM2.5 – Material Particulado
- PNMC – Política Nacional sobre Mudança do Clima
- PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
- PMP – Ponto de Murcha Permanente
- PSA – Pagamentos por Serviços Ambientais
- RBMA – Reserva da Biosfera da Mata Atlântica
- RCP – Caminhos Representativos de Concentração
- REDD+ – Remuneração por Desmatamento Evitado
- RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
- SEA – Secretaria Estadual do Ambiente
- SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente
- SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
- SIG – Sistema de Informações Geográficas
- SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação
- SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente
- TP – Tempo Presente
- UC – Unidade de Conservação
- UMM – Unidade Mínima de Mapeamento
- USEPA – United States Environmental Protection Agency
- USLE – Equação Universal de Perda de Solos
- VD – Variáveis Dependentes ou Resultantes
- VIF – *Variance Inflation Factor*
- VP – Variáveis Independentes ou Precursoras
- VSE – Variáveis Socioeconômicas
- WGS – *World Geodetic System*
- ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico

1. Introdução

O espaço geográfico que o homem ocupa atualmente foi transformado de um ambiente natural preexistente, o qual evoluiu a partir de uma série de relações entre fatores bióticos e abióticos. Não obstante, este espaço era ocupado por animais e plantas, que apresentavam suas próprias interrelações, as quais foram brutalmente descaracterizadas ou até interrompidas por ação antrópica. Segundo ROCKSTRÖM *et al.* (2009), o ambiente terrestre tem sido extraordinariamente estável durante os últimos 10.000 anos, com faixas de alteração relativamente estreitas. Esta estabilidade, durante o período chamado de Holoceno, encontra-se ameaçada com a influência antrópica, a qual extrapola o espaço operacional seguro de atuação da humanidade, chamado de fronteiras planetárias, alterando os processos biofísicos do planeta. Muitos subsistemas relacionados a tais processos reagem de uma forma não-linear, muitas vezes com limites abruptos, sensíveis a mudanças em suas variáveis-chave, as quais, quando alteradas, podem levar o sistema global a um novo estado, muitas vezes com consequências desastrosas para os seres humanos. Estes autores afirmam que 3 de 10 fronteiras já foram ultrapassadas.

SANCHÉZ (2006) conceitua impacto ambiental como as alterações da qualidade ambiental que acarretam na alteração de processos naturais ou sociais provocados pela ação humana. Estas alterações sobre os componentes verticais do ambiente, atmosfera, solo, geologia e hidrologia podem ser provenientes das mudanças climáticas antrópicas, da mudança da cobertura vegetal e da população animal presente, do uso do solo e alteração mecânica. Ainda assim, um sistema natural tem a capacidade de se recuperar de uma perturbação externa, voltando às condições de estabilidade do sistema ecológico alterado. Em muitos casos, o simples término do estresse já é suficiente para o retorno em poucos anos às condições iniciais.

Em outros casos, como remonta ARAÚJO *et al.* (2010), a degradação dos compartimentos da biosfera pode ser muito séria. No caso dos solos, estes apresentam como período de formação para acumular 2,5 cm de solo, sob condições agrícolas normais, duzentos a mil anos, enquanto que a perda da camada superficial é 16 a 300 vezes mais rápida. Estimou-se que 38% (562 milhões de hectares) dos 1,5 bilhões de hectares das terras agricultáveis do planeta estavam degradados em 1990, e desde então

apresenta um incremento anual de 5 ou 6 milhões. A cargo de exemplo, PIMENTEL *et al.* (1995) levantou os custos necessários à conservação contra a erosão dos solos agrícolas dos Estados Unidos da América, chegando a valores aproximados de U\$ 40 por hectare, e em pastagens, de U\$ 5 por hectare, totalizando U\$ 8,4 bilhões anuais, pouco comparado aos U\$ 44 bilhões de danos anuais causados pela perda de solos somente neste país (incidentes sobre a saúde, patrimônio, manutenção, impactos biológicos, etc.). GUERRA (2011) e ARAÚJO (2010) apontam que para se evitar tais perdas, a cobertura vegetal consegue reduzir estes valores drasticamente, até ao ponto de acumular sedimentos. Observando a Equação Universal de Perda de Solos (USLE), nota-se que de acordo com a densidade, tipo de vegetação e quantidade de serapilheira que cobrem o solo, a erosão pode ser evitada em mais de 99% (para vegetação nativa densa e não perturbada), superior aos métodos alternativos de engenharia, mostrando que a manutenção e recuperação da cobertura vegetal são vitais para a gestão das terras e da agricultura, além de efetivamente reverter casos de degradação ambiental.

Entretanto, esta reversibilidade dos impactos antrópicos não se estende a todos os tipos de danos. Diversos autores (ODUM, 1988; FERNANDEZ, 2000; PRIMACK, 2001; RICKLEFS, 2003; TOWNSEND, 2006) debatem sobre a progressiva perda da biodiversidade global, a qual pode ser observada desde épocas pré-históricas, com relatos de extinções e alterações de padrões ambientais que acompanharam a dispersão da espécie humana e ao longo do seu desenvolvimento. Enfatizam que as comunidades ecológicas levaram milhões de anos para chegar ao estado que encontramos atualmente, evoluindo segundo pressões ambientais únicas, as quais propiciaram a mais variada resposta das espécies, sendo sua quantidade ainda desconhecida. A intervenção humana no ambiente causa um declínio no número de indivíduos de diversas populações, diminuindo sua variedade genética ou até sua extinção. Para piorar a situação, ocorrem sinergias entre os impactos antrópicos, e o somatório destes fatores levou ao atual recorde histórico de quantidade de espécies ameaçadas em menos tempo. Este panorama é tão grave que os especialistas deixaram de considerar o problema somente ao nível de populações, percebendo que o escopo da ameaça de extinção se elevou a uma magnitude que atinge biomas inteiros. PIMM *et al.* (2014) quantifica que as taxas de extinção atual são cerca de 1000 vezes maiores que a taxa de extinção histórica, sem a atuação do homem, as quais estão subestimadas e tendem a aumentar no futuro próximo.

A batalha global contra a descaracterização dos habitats e a irreversível perda da biodiversidade acontecem em muitas frentes. A vegetação é um dos componentes mais importantes da biota. Tanto o seu estado de conservação quanto a sua extensão/continuidade definem a existência de habitats para as espécies, assim como interferem na qualidade dos inúmeros serviços ambientais que prestam ao homem, além, é claro, do fornecimento de bens essenciais à nossa sobrevivência. Neste contexto, quando se visa o estabelecimento de políticas públicas ambientais que preservem a biodiversidade, é fundamental que se proteja as formações florestais existentes, e, para tanto, é preciso um conhecimento aprofundado acerca do atual estado da cobertura vegetal (MMA, 2013).

BENSUSAN (2006) atribui que a principal ferramenta utilizada para a conservação é o estabelecimento de áreas protegidas, e, ainda assim, é parcamente aplicada. Somente 80% dos países do mundo apresentam áreas destinadas à proteção ambiental para conservação da biodiversidade e serviços ecossistêmicos, aliado a outras motivações de bases religiosas, antropológicas, turísticas e para manutenção de recursos. JENKINS & JOPPA (2009) calcularam que 12,85% da área terrestre mundial se encontra dentro de áreas de proteção ambiental, mas somente 5,8% tem proteção rigorosa (segundo a classificação dos autores), sendo que, das áreas de proteção recém-criadas anualmente (em torno de 0.13% da cobertura mundial), a grande maioria está concentrada no Brasil, principalmente na Amazônia.

Dentre as ameaças que os parques e reservas existentes enfrentam, podemos citar a titulação de terra, caça, incêndios florestais, turismo sem controle, invasão de grileiros, introdução de espécies e doenças exóticas, extração de palmito e outros produtos de valor comercial (AYRES *et al.*, 2005). PIMM *et al.* (2014) complementa que, embora tenha havido progressos rápidos no desenvolvimento de áreas protegidas, tais esforços não são ecologicamente representativos, nem estão sendo feitos de forma otimizada para proteção da biodiversidade.

A gestão de áreas protegidas é um processo contínuo e necessário, demandando planejamento, organização e recursos humanos e financeiros para que se consiga efetivamente atender o objetivo de preservação. A responsabilidade sobre este processo recai inúmeras vezes a órgãos municipais. REGRA (2013) enfatiza que, apesar dos incentivos dos governos estaduais e federal para o desenvolvimento de órgãos municipais ambientais eficientes, o maior gargalo do Sistema Nacional de Meio Ambiente

(SISNAMA) se encontra nos municípios, uma vez que estes muitas vezes apresentam recursos financeiros e de pessoal escassos, apresentam um planejamento a curto-prazo e descontinuidade de ações, além de sofrerem forte pressão de interesse externos, o que acaba por comprometer a efetividade da gestão ambiental.

Para auxiliar na governança e organização das ações pretendidas nas Unidades de Conservação (UCs), MEDEIROS & PEREIRA (2011) remontam a criação dos planos de manejo, os quais passaram a ser instituídos no Brasil no final da década de 1970 e visam estabelecer uma abordagem metodológica objetiva para a gestão das áreas protegidas. O seu principal conteúdo engloba as informações descritivas necessárias para a construção do zoneamento e dos programas de ação. Contudo, elas não podem se constituir no plano de manejo em si. Os planos mais recentes, orientados pelo novo roteiro (IBAMA, 2002), apresentaram uma melhora quanto à apresentação da execução das atividades e a definição de indicadores de avaliação e monitoramento. No entanto, ainda são instrumento de gestão falhos, principalmente, por não documentar adequadamente a efetividade das ações propostas nos planos anteriores e das avaliações sistemáticas, além de não realizarem a revisão periódica a cada cinco anos.

CRAVEIRO (2008) relembra que a mera criação de UCs não é uma garantia à conservação dos seus recursos, uma vez que, apesar de planejado, a adoção do uso sustentável e repartição igualitária dos benefícios naturais raramente ocorrem da maneira esperada nesses locais, e ainda existem diferentes objetivos para cada unidade, como podemos observar nas categorias preconizadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). A sensibilização e educação ambiental, aliadas a adoção de outras políticas em defesa do meio ambiente são necessárias, uma vez que as unidades de conservação se mostram interligadas com a nossa qualidade de vida. Infelizmente, o gradativo aumento das pressões humanas por novos recursos naturais compromete a qualidade desses ecossistemas remanescentes, diminuindo suas dimensões, degradando seu interior e fragmentando as áreas naturais. Muitas vezes, as populações humanas que vivem na vizinhança das unidades de conservação existentes são invariavelmente opostas ao seu status de área protegida, e geralmente não compreendem a importância de se conservar os habitats naturais próximos. FRANKE (2005) relembra que pela teoria da biogeografia de ilhas, quando um ecossistema perde tamanho, este inexoravelmente apresenta um declínio no seu número de espécies. Outro fator relacionado é a

conectividade funcional¹, que propicia a persistência de algumas populações de animais e plantas em ambientes fragmentados, as quais, se funcionalmente isoladas, não perdurariam. A separação espacial dos fragmentos pode acabar com a migração de indivíduos, interferindo com o sucesso reprodutivo de animais e plantas, tanto por barreiras físicas quanto genéticas.

Além da fragmentação, a forma das áreas protegidas influencia na qualidade ambiental da mesma. Em ambientes naturais, existem áreas de transição entre ecossistemas diferentes, podendo ser de maneira gradual ou mais abrupta, como entre corpos hídricos e a floresta. Nestas áreas ocorreu uma evolução natural do ambiente, que apresenta dinâmicas ecológicas próprias, afetadas quando passam a ter contato com áreas antrópicas, o que altera profundamente os remanescentes florestais. O que se constatou é que, quanto maior a relação superfície/área, maior a interação do meio externo no interior dos fragmentos, mesclando os padrões ambientais dos dois ambientes. A alteração persistente das condições microclimáticas passa a exercer por si só um impedimento a regeneração natural do ambiente, influenciando nas espécies presentes. Esta alteração descaracteriza as condições naturais do sistema, levando ao chamado Efeito de Borda. (RICKLEFS, 2003; TOWNSEND, 2006).

Esta sensibilidade das plantas às alterações ambientais é um dos principais sintomas da degradação ambiental, e as tornam excelentes indicadores de qualidade de ecossistemas. Sésseis, a vegetação existente depende diretamente do meio para conseguir seus nutrientes, com seus indivíduos incapazes de se locomover. Suas necessidades espécie-específicas a fatores como disponibilidade de água, luz, micro e macronutrientes, características do solo e temperatura, levam a uma especialização ambiental cada vez maior, em decorrência ao favorecimento da seleção de indivíduos com mutações que permitam um melhor aproveitamento do meio que se encontram, um mecanismo evolutivo. As alterações ambientais naturais são, em via de regra, lentas, e a evolução acompanha este ritmo. Como existem áreas que apresentam conjuntos similares de fatores ambientais, estas espécies podem prosperar em outros locais, desde que exista um meio de dispersão viável. No evento de barreiras geográficas que impeçam esta migração, como uma cadeia de montanhas, um oceano ou grandes distâncias entre ecossistemas

¹ Conectividade funcional é uma função da configuração das porções de habitat na paisagem e da capacidade de deslocamento dos organismos particulares. Populações em mosaico, ainda conectadas pela migração, apresentam chances consideravelmente maiores de persistir. FRANKE, 2005

semelhantes pode levar a evolução de diferentes espécies que ocupem o mesmo nicho. Estes padrões de interações vegetais podem ser reconhecidos em diversos locais do mundo, e são chamados de fitofisionomias, refletindo relações planta-ambiente similares. Com o aparecimento do homem, a velocidade com que as mudanças têm ocorrido é de outra ordem de grandeza temporal, na qual os mecanismos evolutivos não têm expressividade em curto prazo, de modo que não são raras as vezes que espécies vegetais deixam de estar adaptadas às condições locais subitamente e acabam por desaparecer da região. O endemismo vegetacional, ou seja, plantas com distribuições restritas a um ou poucas regiões, não é raro, de modo que a degradação destes locais pode resultar na extinção de várias espécies e outros seres relacionados (RAVEN *et al*, 2001).

Uma das regiões mundiais com alto índice de degradação ambiental, alta concentração humana e enorme biodiversidade endêmica é o Bioma Mata Atlântica. Este complexo e exuberante conjunto de ecossistemas é também um dos biomas mais vulneráveis do mundo devido às constantes agressões e ameaças de descaracterização de seus habitats. Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica (SOSMA, 2009), a sua fragmentação se encontra em estado crítico, com muitos de seus remanescentes com tamanho menor que 5 ha, aumentando o risco à sua biodiversidade e reforçando a importância dos esforços na restauração florestal e estabelecimento de corredores ecológicos.

Diversos autores (IBDF, 1981; MME, 1983; DEAN, 1996; DRUMMOND, 1997; TONHASCA JR, 2005; OLIVEIRA, 2007; IESB, 2007; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2009 e 2011; IBGE, 2009; MMA 2013, IBAMA 2013, ICMBIO, 2013) descrevem a sucessão de eventos antrópicos que ocorreram e ainda ocorrem na área. Iniciado antes da época do descobrimento, as tribos indígenas já exerciam influências na Mata Atlântica entre 13.000 e 11.000 anos A.C., época aproximada da chegada permanente do homem nas planícies sul-americanas (DEAN, 1996; OLIVEIRA, 2007), marcada por inúmeros indícios fósseis e a formação de montes de conchas e partes de exoesqueletos chamados sambaquis. Alguns autores, como OLIVEIRA (2007) apresentam uma visão deste bioma como uma construção ecológico-humana e, sob uma perspectiva histórica, é um legado ambiental que nos chegou até hoje, um produto das relações de populações passadas com o meio. Ainda afirma que sua estrutura atual é a resultante da dialética da presença de seres humanos, e não da sua ausência, sendo sua presença refletida no espectro de resultantes ambientais do uso passado sobre a

constituição das florestas. OLIVEIRA (2007) adverte que a generalização do termo Mata Atlântica pode ser uma decorrência da homogeneização de paisagens muito complexas, incorporando o favorecimento seletivo de algumas espécies pela ação antrópica que podem ter sido um dos elementos que lhe atribuíram a fitofisionomia encontrada até hoje em seus remanescentes.

A ocupação do último continente pela espécie humana levou a impactos graduais, mas influentes na dinâmica da região. As primeiras populações indígenas abriam trilhas para caçar, causaram algumas extinções, construíam paliçadas, utilizavam fogo para limpar os campos, desmatavam para plantio, mantinham áreas de vegetação secundária em locais específicos e chegavam a ter aldeias com 1 km de diâmetro, as quais periodicamente mudavam de lugar (DEAN 1996; DRUMMOND, 1997; FERNANDEZ, 2000). Somente com a chegada dos europeus por volta de 1500 DC que as profundas alterações na cobertura de uso do solo e ampla supressão da mata original se iniciaram. Em menos de 2 séculos os portugueses e franceses conseguiram basicamente extinguir o Pau-Brasil, árvore da qual era extraída uma tintura muito utilizada pela indústria têxtil, com uma média de 20.000 unidades removidas por ano, e afetou 6.000 km² deste bioma. No início do segundo século de ocupação, a cana-de-açúcar foi ganhando espaço físico e econômico, se expandindo pelo litoral a partir da derrota da colônia francesa em 1560 DC, atingindo em 1700 DC aproximadamente 120 km² de áreas plantadas. DEAN (1996) ressalta que para aumentar a produtividade, a plantação colonial da cana-de-açúcar necessitava da eliminação da cobertura vegetal nativa. No entanto, com a rotação dos campos e abandono de terras, o total degradado seria de mais de 1000 km². A fabricação do açúcar consumia anualmente 210.000 toneladas de lenha, e em 150 anos, as moendas devem ter consumido 1200 km² de lenha, fora o espaço para alimentar e criar os animais que davam suporte de tração e alimentação dos engenhos.

Este ciclo foi entremeado pela pecuária, presumidamente introduzido em 1532 DC, que abrangia áreas do Nordeste e do Sudeste, chegando a números de exportação de couro de 110.000 peças no ano de 1709 DC (DRUMMOND, 1997). As rotas de mineração também apresentaram seus impactos, com a descoberta das minas de ouro e pedras preciosas no interior do continente, as quais impulsionaram a partir de 1700 DC o desvio parcial da atenção portuguesa para esta atividade, com estimativas de 1 milhão de toneladas e 2,4 milhões de quilates de diamantes oficiais e outros milhões não oficiais até

1800. Além da degradação ambiental da mineração, esta atividade atraiu 450 mil colonos, além dos escravos africanos, elevando a pressão sobre o ambiente natural. (DEAN, 1996)

A partir de 1763, a capital se tornou o Rio de Janeiro, que se tornou a maior cidade da colônia em 1810, principalmente pelo seu porto privilegiado que permitia a entrada de escravos e a saída de minérios. Ao longo das trilhas de tropeiros foram criadas vilas e pequenos casarios, que propiciaram a ocupação e o desmatamento do território (DRUMMOND, 1997). Posteriormente foi instituído o ciclo do café, em grande escala a partir de 1780-1800 DC, ocupando até os sopés da Serra do Mar, onde o uso do fogo era indiscriminado. Para DRUMMOND (1997), foi o ciclo mais devastador para a Mata Atlântica na época colonial. Com o aumento da população, a devastação do ambiente ainda foi potencializada.

A partir daí, segundo a Fundação SOS Mata Atlântica (SOSMA, 2009) emendaram novos ciclos econômicos, a corrida pelo desenvolvimento brasileiro e a integração nacional. A industrialização se enraizou, estimulando a urbanização, que se deu mais intensamente nas principais cidades existentes, estas assentadas desde a época colonial preferencialmente no litoral, área a qual era originalmente ocupada pela Mata Atlântica. A dinâmica da destruição foi mais acentuada nas últimas três décadas do século passado, resultando na dinâmica fragmentada que se encontra hoje.

O percentual alegado de área remanescente da Mata Atlântica é variado, e encontram-se valores desde aproximadamente 5 a 25% do original. Como ressalta o MME (1983), a observação do mapa atual de vegetação aponta que os remanescentes florestais se restringem, principalmente, as partes mais elevadas das serras do Mar e da Mantiqueira e a alguns grupamentos remanescentes, já com alguma intervenção antrópica, localizados nos topos dos morros. As maiores faixas contínuas ou localizam-se sobre topografia acidentada ou então por estarem situadas em áreas públicas dos parques nacionais, estaduais, municipais ou reservas equivalentes. A vegetação savânica basicamente foi ocupada por uma agricultura intensiva, enquanto que as suas formações campestres ocupam áreas significativas, sendo utilizadas em quase sua totalidade para pastoreio de baixo rendimento.

O que se sabe é que restou muito pouco do que havia, mas ainda assim a exuberância da Mata Atlântica consegue demonstrar suas potencialidades. Em seus domínios vivem por volta de 61% da população brasileira, aproximadamente 112 milhões

(MONTEZUMA, 2010). Ainda serve de abrigo para várias populações tradicionais que constituem a genuína identidade cultural do Brasil, garante e regula o abastecimento de água para mais de 120 milhões de brasileiros através da regulação do fluxo dos mananciais, ajuda a regular as condições climáticas, atua na proteção das escarpas e encostas das serras em torno das cidades e é um patrimônio histórico-cultural vivo, com uma das maiores biodiversidades existente.

Observando a condição altamente debilitada deste bioma e a sua importância, se faz necessário uma busca pela diminuição da perda da qualidade dos ambientes naturais. FIASCHI (2009) afirma que existe uma séria lacuna de conhecimento sobre a síntese biogeográfica das plantas brasileiras. Pesquisas que proponham medidas adequadas de recuperação e manutenção dos ecossistemas por meio da adequada compreensão de seus mecanismos de interação característicos se tornam imprescindíveis, principalmente quando visam também impedir que futuras ações humanas causem mais danos aos poucos remanescentes dos sistemas naturais originais.

Inúmeros projetos almejam respostas para a satisfatória compreensão dos padrões encontrados na natureza, e a partir daí, divisar soluções para diversos problemas antrópicos e uma melhor interação entre homem-natureza. Por exemplo, informações sobre o mutualismo flor-polinizador podem tanto melhorar a produção agrícola de alimentos como facilitar o manejo ecológico de espécies e a recuperação de áreas degradadas em florestas. Como a maioria destes estudos é feito por meio de observações do ambiente natural, isto é, em áreas com pouca ou insignificante alteração antrópica, os pesquisadores precisam lutar não somente com a escassa verba dedicada à pesquisa básica, mas também contra o tempo, uma vez que estes locais estão progressivamente se tornando mais raros no mundo. Ao passo que seu objeto de estudo se torna progressivamente descaracterizado e/ou escasso, o conhecimento que permitiria criar tecnologias que revertersem este quadro de degradação deixa de ser gerado, fechando o ciclo vicioso que alimenta a destruição do ambiente natural. FRANKE (2005) salienta que sem as diretrizes geradas pela análise dessas interações, as tentativas de acelerar o processo de regeneração e o reestabelecimento da conectividade dos ambientes naturais não devem dar resultados melhores que a regeneração natural, pois deixam de ser um experimento bem fundamentado para ser meramente um exercício de tentativa e erro.

Na situação atual, em que a Mata Atlântica se encontra cada vez mais fragmentada e perdendo informações sobre a dinâmica do seu sistema natural, a modelagem do

ambiente pode ser uma ferramenta que auxilie a superar esta dificuldade. Técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas em conjunto com parâmetros climáticos e hidrológicos, identificando suas influências na cobertura vegetal de bacias hidrográficas. O uso de imagens orbitais caracteriza-se como uma opção a ser explorada, dado o seu caráter multiespectral, que possibilita uma análise aprofundada de componentes agrometeorológicos, como o albedo, índices de vegetação, temperatura da superfície, saldo de radiação, situação hídrica regional, etc. (JENSEN, 2009). Cartas de solo podem complementar a compreensão do ambiente, e o cruzamento destas informações por softwares analíticos de *data minning* e programas de SIG podem então servir para se identificar características edafoclimáticas que condicionam este bioma, permitindo inferências sobre como recuperar mecanismos ambientais degradados que levaram a estes padrões, possibilitando até fundamentar o cálculo de cenários futuros.

Um problema para a geração de conhecimento sobre o ambiente natural a partir da modelagem edafoclimática se torna cada vez mais evidente por inúmeros pesquisadores: as mudanças climáticas de causa antrópica. Apesar das divergências na literatura de quanto a ação humana influenciou no clima, é aceito por inúmeras fontes (IPCC 2001, 2007, 2014a, 2014b; EDWARDS 2010) que já se identificou um acréscimo de +0,85 (0,65 a 1,06) °C médios² desde 1880 até 2012, e se espera um aumento de 0,3° a 4,8°C³ para os próximos 50-100 anos. A extrema complexidade dos ecossistemas e o desconhecimento de detalhes de seus fatores determinantes, a necessidade de dados ambientais com uma série histórica relativamente longa e a progressiva degradação ambiental causada pelo homem, quando aliadas às mudanças nos padrões climáticos de diferentes magnitudes, não só podem gerar grandes dificuldades aos estudos atuais, mas também invalidar o uso de resultados passados, uma vez que alteram as condições ambientais de entrada.

Segundo HANNAH (2011), diversas plantas, pássaros, mamíferos, anfíbios e insetos já exibiram mudanças significativas em suas distribuições devido às alterações antrópicas, principalmente em decorrência do deslocamento dos gradientes do clima. As

² Apesar da temperatura média ser utilizada como principal medidor do impacto das mudanças climáticas, em análises biológicas o conjunto único de condições de cada local é o que importa para a sobrevivência das espécies, e as importantes variações regionais acabam sendo eclipsadas. HANNAH 2011.

³ 0,3 °C é o mínimo provável do melhor cenário (RCP 2,5) e 4,8°C o máximo provável do cenário mais extremo (RCP 8,5). IPCC 2014a.

adaptações das espécies às diferentes condições ambientais não se alteram na mesma velocidade das cada vez mais rápidas mudanças climáticas, de modo que elas devem buscar as condições adequadas para a sua sobrevivência. Na atual paisagem de predominância antrópica, a qual apresenta como característica a marcante descontinuidade entre os remanescentes naturais, esta procura de condições favoráveis é cada vez mais problemática para a biota. Diversos autores (LOVEJOY & HANNAH, 2005; NEWMAN *et al.*, 2011; HANNAH, 2011; POST, 2013; BRODIE *et al.*, 2013; IPCC, 2007, 2014a, 2014b) já documentaram inúmeros casos destes impactos na biodiversidade e distribuição de espécies no mundo, e ressaltam que, assim como as alterações nos padrões climáticos, os danos aos ecossistemas naturais remanescentes tendem a ser intensificados no futuro próximo, em especial por sobre aqueles de distribuição restrita e/ou sobre outras ameaças antrópicas.

A vulnerabilidade do bioma Mata Atlântica à ação antrópica pode então ser compreendida como uma composição entre os fatores de escala local – poluição, desmatamento, caça, espécies exóticas, atividades econômicas, tradição cultural, entre outros; assim como escala global – as mudanças climáticas decorrentes da intensificação do efeito estufa. A análise da interação destes fatores pelos gestores do território é então crucial para a transformação do conhecimento ecossistêmico estático (descrição momentânea do ambiente) no dinâmico (mecanismos que determinam o ambiente e suas interações), a qual servirá de embasamento para futuras ações de manejo, mitigação e adaptação necessárias para a preservação dos remanescentes naturais e entender o reflexo dessas ações na biosfera terrestre.

Dentro do panorama apresentado de vulnerabilidade do Bioma Mata Atlântica, associado a falta de conhecimento consolidado sobre as características edafoclimáticas que definem suas fitofisionomias principais, às discrepâncias de informações encontradas na literatura sobre seu atual estado de conservação, aos principais vetores locais de desflorestamento, às possíveis consequências das alterações climáticas na distribuição fitofisionômica futura e consequente impacto global, o presente trabalho tem como objetivo principal a identificação da vulnerabilidade da Mata Atlântica às mudanças climáticas antrópicas e condições socioeconômicas do estado do Paraná, de modo a auxiliar na gestão e preservação deste bioma.

Detalhadamente, busca-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as condições ambientais que definem o bioma Mata Atlântica;
- Elucidar as incongruências sobre o real estado deste bioma;
- Descrever as principais interações entre a vegetação e o ambiente que a circunda;
- Identificar os principais vetores da vulnerabilidade da Mata Atlântica à ação antrópica;
- Analisar as principais metodologias de modelagem de vegetação potencial;
- Estabelecer uma metodologia de previsão da vegetação potencial;
- Aplicar este modelo para o território do Paraná;
- Analisar a alteração da vegetação potencial do Paraná no contexto de 8 diferentes cenários climáticos do CMIP5;
- Identificar a vulnerabilidade socioeconômica dos remanescentes do Paraná;
- Analisar a vulnerabilidade dos remanescentes de vegetação natural do Paraná aos impactos antrópicos no contexto dos 8 cenários climáticos analisados;

O presente trabalho apresenta uma estrutura de capítulos de forma a conseguir desenvolver os temas relacionados na introdução e atender os objetivos propostos. No Capítulo 2 buscou-se realizar uma revisão bibliográfica sobre a Mata Atlântica, englobando os diferentes conceitos de bioma encontrados, as características que a definem, seus limites, formações florestais e legislações, assim como esclarecer algumas definições da literatura.

O Capítulo 3 buscou identificar e explicar as principais relações encontradas entre a vegetação e o ambiente, tanto com o solo, com o relevo e as condições climáticas. Não obstante, também foram exemplificadas metodologias de quantificação dessas relações, as quais viabilizam os estudos antrópicos desenvolvidos.

O Capítulo 4 engloba o tema de modelos. Após uma breve introdução sobre o que são modelos, o foco se voltou para as modelagens de vegetação potencial, com a descrição de três exemplos aplicados ao bioma Mata Atlântica, os quais foram analisados quanto as suas potencialidades e restrições. Em seguida, foram descritos os modelos de circulação global, assim como os trabalhos de previsão de cenários futuros.

O Capítulo 5 abordou a questão do potencial humano de alterar as características meteorológicas com a emissão antrópica de GEEs. Ele busca elucidar o quanto o clima já se modificou, como poderá progredir e a extensão dos impactos causados e esperados

sobre os sistemas naturais e humanos. Não obstante, uma vasta definição de conceitos relacionados com a vulnerabilidade destes sistemas às alterações climáticas, e culmina com as questões gerenciais de adaptação e mitigação dos efeitos adversos dos cenários climáticos sobre a biota dos remanescentes naturais e áreas de proteção ambiental.

A partir da acumulação destas informações, o Capítulo 6 detalhou a metodologia desenvolvida para identificar a vulnerabilidade dos remanescentes naturais de Mata Atlântica do Paraná frente às mudanças climáticas, descrevendo os seus pressupostos e três grandes etapas. A primeira etapa envolveu a obtenção do modelo das relações edafoclimáticas das principais fitofisionomias do Paraná de forma indutiva, e sua aplicação para a identificação da alteração fitofisionômica potencial nos 8 cenários climáticos de estudo; a segunda envolveu a identificação da vulnerabilidade socioeconômica dos municípios do Paraná; a terceira realizou o cruzamento destas análises com os remanescentes de vegetação do estado para determinação de sua vulnerabilidade, culminando com o cálculo das emissões de CO_{2eq} da mudança potencial de uso do solo para cada um dos 8 cenários estudados.

O Capítulo 7 se encarregou da descrição ambiental do estudo de caso, o Estado do Paraná, com suas características socioeconômicas, físicas, histórico de ocupação e regulamentos relacionados às mudanças climáticas. Ainda, foi realizado uma análise de planos de manejo ambiental implementados na região.

O Capítulo 8 apresentou os resultados da aplicação da metodologia desenvolvida de análise da vulnerabilidade dos remanescentes naturais frente às mudanças climáticas, além de diversas subanálises.

Encerra-se então no Capítulo 9 com a discussão dos resultados e considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

2. A Mata Atlântica

A Mata Atlântica é o bioma característico do litoral leste brasileiro, a região primeiramente ocupada pelos colonizadores e que, sem sombra de dúvida, é o que sofreu os maiores impactos antrópicos no território nacional. Seu nome varia de acordo com as características valorizadas por cada autor, e FRANKE (2005) resgata algumas de suas nomenclaturas: Floresta Estacional Perenifólia Costeira, Floresta Litorânea, Mata Pluvial Costeira, Floresta Perenifólia Latifoliada Higrófila Costeira, Floresta Atlântica, ou ainda Floresta Pluvial Tropical Atlântica. Mas antes de se entrar especificamente na sua descrição, aqui cabem algumas palavras quanto ao entendimento do termo Bioma.

2.1. Conceito de Bioma

Separando-se as partes do termo bioma, encontramos o prefixo grego *Bio* = vida e o sufixo latino moderno (derivado do grego) *Oma* = massa, grupo, conjunto, tumor (DICIONÁRIO OXFORD, 2013; IBGE 2004; COUTINHO, 2006), que induz a ideia de um aglomerado de vida de aparência uniforme. Na literatura podemos encontrar definições clássicas para o termo. Segundo a nota técnica do mapa de vegetação do IBGE (2004), CLEMENTS iniciou a definição deste conceito a partir de formação clímax⁴, associando a ideia de que uma comunidade vegetacional se assemelha ao desenvolvimento de um animal, surgindo, crescendo, amadurecendo e morrendo. Posteriormente, este mesmo autor definiu o seu conceito de bioma (CLEMENTS, 1949 *apud* COUTINHO, 2006) “*Biome – A community of plants and animals, usually of the rank of a formation: a biotic community*”, enfatizando que a associação planta-animal é o cerne de uma comunidade.

ODUM (1988) apresenta sua visão do tema enunciando que a forma de vida da vegetação (herbácea, arbusto, árvore decídua, árvore conífera) do clímax climático sendo a chave para se delimitar e reconhecer biomas terrestres, mesmo com a distribuição de espécies variando entre continentes e mesmo partes do bioma. Entretanto, os biomas não são compostos somente pela vegetação clímax, também apresentando estágios

⁴ Formação clímax pode ser definida como o ponto final de uma sequência sucessional ou sere; uma formação vegetacional que atingiu um estado estacionário sob um conjunto determinado de condições ambientais. Adaptado de RICKLEFS (2003). RIVAS-MARTINES (2008) define este conceito como o estágio final de equilíbrio autorreplicante na sucessão geobotânica, a comunidade de plantas que representam o estágio final ou potencial da vegetação natural territorial.

desenvolvimentais próprios, como campos em florestas. Por sua vez, a fauna existente pode se distribuir ocupando distintos estágios vegetacionais, e algumas vezes até por biomas diferentes, como no caso de animais migratórios. Ele ainda remonta os seis principais biomas do mundo, ressaltando que existem biomas de mesmo tipo em regiões isoladas uma das outras, com espécies ecologicamente equivalentes, mas taxonomicamente não-aparentadas.

Uma leitura interessante sobre este conceito está presente em RICKLEFS (2003). Inicialmente o autor define o processo de convergência evolutiva, na qual organismos que não apresentam proximidade genética (evolutivamente distantes), podem exibir uma elevada semelhança morfofisiológica decorrente a uma exposição à estímulos ambientais comuns. Este princípio explica por que é possível reconhecer os mesmos padrões gerais de associações entre formas de organismos e ambientes nas diferentes regiões biogeográficas do mundo. Ele frisa que, apesar de não existir ambientes exatamente iguais no mundo e tampouco a mesma distribuição de espécies, é possível agrupar unidades biológicas em categorias, tomando-se como característica geral as formas vegetais dominantes. Esta categorização, chamada de Delimitação de Biomas, é um sistema classificatório das comunidades biológicas com base em semelhanças de suas características vegetais, de modo a proporcionar pontos de referência para comparar processos ecológicos em diferentes ecossistemas. Ainda faz nota de que embora cada bioma seja imediatamente reconhecível por sua vegetação distinta, tal identificação está atrelada a um sistema de classificação antrópico, e na natureza o que se observa, na verdade, são graduações de transição entre biomas, ocorrendo inúmeras regiões de características mistas.

O IBGE (2004) adotou o seguinte conceito de biomas: “...um conjunto de vida (vegetal e animal) constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, resultando em uma diversidade biológica própria.”. Munido de tal, levou em consideração as seguintes diretrizes/restrições para elaboração de seu mapa de distribuição de biomas:

- Seu referencial foi o Mapa de Vegetação do Brasil, em escala 1:5.000.000;
- Cada bioma abrangeria grandes áreas contínuas, observadas suas condições de mapeabilidade;

- As disjunções vegetacionais identificadas seriam incorporadas ao bioma dominante;
- Cada área de contato seria anexada a um dos biomas confrontantes, tendo como critério a tipologia dominante de cada contato (baseado no conhecimento dos técnicos e em cartas de maior detalhamento);
- Os ambientes costeiros seriam segmentados e anexados ao bioma adjacente mais próximo, devido à escala do mapa.

Este trabalho então culminou na definição dos biomas continentais do território brasileiro, nomeados segundo as denominações tradicionalmente mais usadas (ver IBGE, 2004), identificados por: Bioma Amazônia, Bioma Mata Atlântica, Bioma Caatinga, Bioma Cerrado, Bioma Pantanal e Bioma Pampa. A Figura 1 retrata estas delimitações.

A definição que se mostrou mais adequada a este trabalho vem de COUTINHO (2006), que após uma extensa revisão bibliográfica considerou um bioma como “...*uma área do espaço geográfico, com dimensões de até mais de um milhão de quilômetros quadrados, que tem por características a uniformidade de um macroclima definido, de uma determinada fitofisionomia ou formação vegetal, de uma fauna e outros organismos vivos associados, e de outras condições ambientais, como a altitude, o solo, alagamentos, o fogo, a salinidade, entre outros. Estas características todas lhe conferem uma estrutura e uma funcionalidade peculiares, uma ecologia própria.*”

Apesar do termo Bioma incluir a fauna associada e as relações ecológicas planta-animal, em ambos os documentos o tema é tangencialmente abordado. Tal fato pode ser atribuído a fatores distintos. Por exemplo, a alegação de WEAVER & CLEMENTS (1929, *apud* IBGE, 2004), que a comunidade biótica tem como cerne estrutural as relações tróficas, afirmou que a nutrição exerce um maior controle sobre a fauna existente do que os fatores físicos locais, e as plantas, de forma primária ou secundária, são responsáveis pela alimentação de todos os animais. Visto isso, pode-se inferir que a vegetação apresenta uma dominância sobre a fauna, de modo que sua escolha para retratar as condições geomorfológicas, climáticas e altitudinais é mais lógica. RICKLEFS (2003) complementa que a fauna, em geral, é móvel, e pode, dentro de uma área, procurar as condições ambientais que lhe sejam mais adequadas, uma vez que existem variações microclimáticas, enquanto um espécime de planta, sésil, deve tolerar todas as condições extremas que porventura ocorram naquele local que se encontra.



Figura 1: Mapa de biomas do Brasil. IBGE 2004

Ainda é pode elencar outros fatores que podem ter contribuído com a escolha da vegetação como fator determinante. A biomassa associada à vegetação é muito superior à da fauna, tal fato relacionado à baixa eficiência na transferência energética entre níveis tróficos⁵, de modo que a sua proporção no ambiente é maior. Não obstante, as próprias características de tamanho e sessibilidade da vegetação facilitam a sua observação, obtenção e identificação, e técnicas fotogramétricas e de sensoriamento remoto permitem

⁵ Da energia luminosa que chega ao planeta, somente 50% é absorvido pelas plantas. Deste total, somente 10% é convertido em fotossíntese bruta, e dessa, em média somente 50%, pode ser utilizada por heterótrofos. A passagem de energia via alimentação entre sucessivos níveis de heterótrofos apresenta em média 10% de eficiência, podendo ser maior em guildas de carnívoros. ODUM, 1988.

a análise de grandes áreas virtualmente, mostrando uma maior aptidão como objeto de classificação.

Por fim, o termo formação, relacionado ao tema, não deve ser confundido com bioma. Formações estão relacionadas à fitofisionomias da vegetação. Segundo o Manual da Vegetação Brasileira 2ª ed. (IBGE, 2012a), este foi criado para designar um tipo vegetacional definido, um conjunto de formas de vida vegetal de ordem superior, que compõe uma fisionomia homogênea, apesar de sua estrutura complexa. Nota-se que a formação não inclui necessariamente uma composição florística definida, e não leva em conta a ligação com a fauna presente no local, a qual realiza diversas atividades associadas à distribuição de espécies vegetais e a sua permanência/disseminação no espaço geográfico, uma vez que podem ser responsáveis pela polinização ou ao espalhamento de sementes (ODUM 1988, RUPERT & BARNES 1996, RICKLEFS 2003, POUGH 2003, FRANKE 2005, BRUSCA & BRUSCA 2007).

2.2. Características da Mata Atlântica

Após a compreensão do que é um bioma, o trabalho de identificar os componentes-chave que compõem a Mata Atlântica e a distinguem dos demais é facilitado. Nesta etapa serão abordadas as características que interagem em diversos níveis para determinar as condições necessárias para gerar a complexidade de formas e espécies ali encontradas. Apesar de muitas vezes se explicar os componentes por separado, deve se ter em mente que isto ocorre para facilitar o entendimento do tema, mas é ressaltado que a abordagem do trabalho é holística, e a interação entre os fatores ambientais e os seres vivos é o determinante deste sistema, sua origem e quintessência.

O ponto de partida não poderia deixar de abordar as próprias origens do continente sul-americano. CESERO & PONTE (1997) realizaram uma extensa revisão sobre as condições geomorfológicas dos litorais atlânticos brasileiros e africanos, onde, no lado nacional, se encontra majoritariamente o Bioma Mata Atlântica. Estes afirmam que os contornos das costas atlânticas do Brasil e da África foram, em grande parte, orientados pelos alinhamentos tectônicos Brasiliano-Baikaliano, implantados na plataforma no início do Fanerozóico (550 milhões de anos AC). No Jurássico Superior, implantou-se nestes alinhamentos a Depressão Afro-brasileira, onde no Cretáceo Inferior, a Reativação

Wealdeniana⁶ definiu a futura linha de costa ao longo dos sistemas de *rifts*⁷, o Afro-brasileiro, orientado ao longo dos alinhamentos estruturais Brasileiro-Baikaliano, e o Equatorial, que os cortava transversalmente. Ali se deu origem a um conjunto de lagos interligados, nas atuais bacias do Espírito Santo, do Jequitinhonha e de Alagoas/Sergipe.

Os mesmos autores registram que a primeira invasão do mar ao longo dos *rifts* ocorreu no Aptiano-Albiano (125 a 100 milhões de anos AC), e formaram-se dois golfos proto-oceânicos, separados pela ligação terrestre entre o nordeste brasileiro e o Camerum, a qual se desfez entre o final do Turoniano e o Coniaciano. Posteriormente, durante o Coniaciano e o Santoniano, houve movimentação transcorrente ao longo da costa norte do Brasil e do Golfo da Guiné, produzindo estruturas de cisalhamento, expostas às condições de mar aberto e de alta energia em todo o litoral atlântico brasileiro, gerando uma cadeia montanhosa de aproximadamente 9000 km de comprimento. Entretanto, este evento não se deu de forma homogênea, e criou diversas fraturas e afundamentos de blocos de rocha, gerando, por exemplo, as escarpas características da Serra do Mar.

GUERRA (2011) ressalta que corpos batolíticos⁸ ricos em minerais resistentes (como quartzo) tendem a formar pontões rochosos, enquanto que locais onde sua estrutura interna sofreu falhas e fraturas podem ser mais suscetíveis ao intemperismo, formando setores rebaixados, resultando em um relevo marcado por variações abruptas causadas pela erosão diferencial, exemplificado pela Serra dos Órgãos, no Rio de Janeiro. Estes sedimentos acabaram por se depositarem ao longo da costa e resultaram nas planícies litorâneas, onde as sucessivas incursões e regressões da linha marítima ao longo das eras geológicas complementaram a formação de sistemas lagunares, restingas e cordões arenosos. Sua geomorfologia incorpora cadeias de montanhas, platôs, vales e planícies, exibindo uma amplitude altitudinal que varia desde o nível do mar até os 2890 metros de

6 - A Reativação Wealdeniana é o evento tectônico-magmático de grande importância, atuante desde o Triássico e mais intensamente no Jurássico que levou à fragmentação do supercontinente Pangea, registrado sob a forma de intensa atividade ígnea toleítica (basáltica). Também conhecido como evento Sul-Atlântico, pois está relacionado à origem do Oceano Atlântico. SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO (CPRM), 2013.

⁷ Termo utilizado para designar vales formados e limitados por falhamentos geológicos. CPRM, 2013.

⁸ Os batólitos são os corpos ígneos plutônicos de maior dimensão e possuem uma forma irregular. Convencionalmente costuma-se chamar de batólitos os corpos que apresentam em superfície uma área superior a 100 km², quando a área for menor, os corpos são chamados de stocks. Ambos, stocks e batólitos são corpos intrusivos discordantes, que cortam as estruturas das rochas encaixantes. PERONI, 2003.

altitude, no Pico da Bandeira, Parque Nacional de Caparaó (IBDF, 1981). A Figura 2 retrata esta evolução.

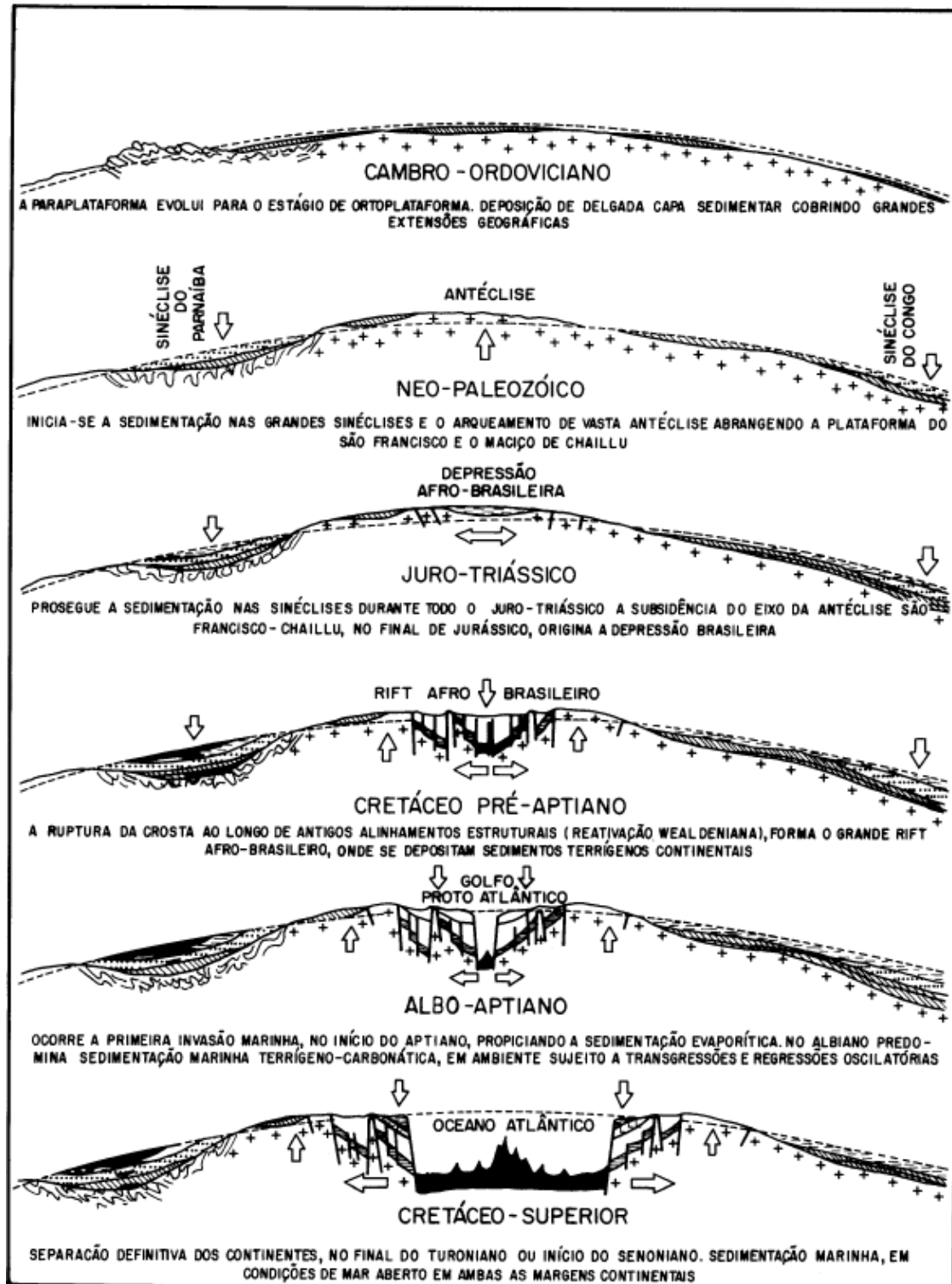


Figura 2: Tectônica esquemática das margens continentais do Brasil oriental e África ocidental. Retirado de CESERO & PONTE, 1997.

Em relação ao clima, a Mata Atlântica acompanha a região costeira do Brasil, de modo que a umidade marítima apresenta uma grande influência. A alta pluviosidade nessa região deve-se à barreira que a serra constitui para os ventos que sopram do mar, podendo alcançar mais de 4500 mm de chuva ao ano em algumas regiões. Entretanto, se olharmos para tanto o mapa climático brasileiro (IBGE 2002) quanto o mapa revisado da classificação Köppen-Geiger (PEEL *et al.* 2007), podemos verificar que as suas sobreposições com os limites deste bioma indicam uma ampla variação de precipitação e de temperatura, não apresentando um padrão comum, sequer próximo, para seus valores. Com regiões equatoriais superúmidas sem períodos secos até regiões temperadas com inverno seco e verão quente (Cwa), este mosaico de amplos limites climáticos acabou por gerar uma multiplicidade de ambientes, com diferentes pressões seletivas às formas de vida.

Este panorama geomorfológico, aliado às condições climáticas associadas, resultou nas características que determinaram os principais ecossistemas da Mata Atlântica, nos quais inúmeras espécies animais e as diversas fitofisionomias existentes se desenvolveram. O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2013a) e o IBAMA (2013) constatarem que neste bioma, mesmo no seu estado atual extremamente reduzido e fragmentado, ainda existam cerca de 20.000 espécies vegetais (em torno de 35% das espécies existentes no Brasil), das quais 8 mil são endêmicas e diversas ameaçadas de extinção. A cargo de comparação com valores mundiais, essa riqueza é maior que a de alguns continentes (17.000 espécies na América do Norte e 12.500 na Europa). Em relação à fauna, os levantamentos já realizados indicam que a Mata Atlântica abriga 849 espécies de aves, 370 espécies de anfíbios, 200 espécies de répteis, 280 de anfíbios, 270 de mamíferos e cerca de 350 espécies de peixes, sendo que ao menos 567 espécies só ocorrem nesse bioma. Outra publicação importante sobre o tema é o livro Plantas da Floresta Atlântica (STEHMANN, 2009). Neste levantamento são reconhecidas para o Domínio Atlântico 15.782 espécies (7.155 endêmicas – 48%), distribuídas em 2.257 gêneros (132 endêmicos) e 348 famílias, o que corresponde cerca de 5% da flora mundial, estimada em 300.000 espécies de plantas (JUDD *et al.* 2009, *apud* STEHMANN, 2009). Por grupos taxonômicos, foram catalogadas 1.230 espécies de briófitas, 840 pteridófitas, 4 gimnospermas e 13.708 angiospermas. Pode-se verificar que a região da Mata Atlântica é altamente prioritária para a conservação da biodiversidade mundial, ao ponto de ser considerada o quinto *Hotspot*^{de} biodiversidade (MEYERS *et al.*, 2000) mundial mais rico

em endemismo, ficando atrás dos Andes (15.000 espécies), Sunda (15.000), Bacia do Mediterrâneo (11.700) e Madagascar e Ilhas do Oceano Índico (11.600).

Segundo o ICMBio (2013), atualmente existem 78 Unidades de Conservação presentes na área deste bioma.

2.3. Delimitação da Mata Atlântica

A Mata Atlântica é apresentada de diversas maneiras na literatura, de modo que para este trabalho, serão adotadas as publicações em consonância com as definições oficiais, estabelecidas pela Lei Nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, e seus dispositivos acessórios, como o Mapa da Área de Aplicação da Lei no 11.428, do IBGE (2012b).

Em relação à localização atual deste bioma, o IBGE (2004) delimita sua distribuição geográfica a toda a faixa continental atlântica leste brasileira, além de, nas regiões sudeste e sul do país, alcançando as fronteiras com o Paraguai e Argentina mais a oeste, além de também avançar sobre o Planalto Meridional até o Rio Grande do Sul, com área de aproximadamente 1.110.182 km² (IBGE, online), inserida em 15 estados brasileiros.

Um acordo de cooperação técnica entre o MMA e o IBAMA realizou o monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite. Em seu documento (MMA/IBAMA, 2012), destacou-se como resultado a área dos remanescentes de vegetação da Mata Atlântica, considerados como 22,25% da área total do bioma, cujas dimensões alegadas são as provenientes do Mapa de Biomas do Brasil – 1ª aproximação (IBGE, 2004), atribuindo o suposto valor de 1.103.961 km², ou seja, mais de 110 milhões de hectares em 15 estados. Consequentemente, o limite definido pela Lei da Mata Atlântica não foi levado em consideração. De acordo com o documento do MMA/IBAMA (2012), esta Lei, em conjunto com as delimitações do seu Mapa da Área de Aplicação (IBGE, 2009), foram inclusos ainda ao bioma as disjunções vegetais conhecidas como encaves florestais e brejos interioranos do Nordeste, aumentando sua área delimitada para um total de 1.296.446 km² em 17 estados. O presente autor ressalta que estes valores não são condizentes com aqueles atribuídos para as mesmas áreas pelas outras bibliografias consultadas.

GOMES (2009) atribui ao bioma um total aproximado de 1.105.000 km² de extensão continental, abrangendo 15 Estados, e considera que ainda existem 20% de remanescentes florestais (citando os resultados do PROBIO/MMA 2006 – não condizente com os dados do MMA 2007 e IESB 2007).

O GOVERNO DO BRASIL (2013) atribui ao bioma a extensão aproximada de 1.110.182 km², além de descrever a Mata Atlântica como um complexo ambiental que engloba cadeias de montanhas, vales, planaltos e planícies da faixa continental atlântica leste brasileira, além de avançar sobre o Planalto Meridional até o Rio Grande do Sul, ocupando totalmente o Espírito Santo, o Rio de Janeiro e Santa Catarina, 98% do Paraná e áreas de mais 11 Unidades da Federação, totalizando 16 Unidades da Federação.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007) requisitou em 2004 a seleção de projetos que realizassem o mapeamento da cobertura vegetal dos biomas segundo o recorte de biomas estabelecido no Mapa de Biomas do Brasil (IBGE, 2004, assumindo o valor para área de 1.110.182 km²), por meio do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO. Este, em conjunto com o IBGE, estabeleceu critérios para os relatórios, incluindo padrões técnicos de mapeamento e legenda para todos os biomas, dentre eles: a unidade mínima de mapeamento (UMM) de 40 a 100 ha, considerada a escala final 1:250.000; dados digitais para verificação compatíveis, no mínimo, com a escala 1:100.000; acurácia de classificação (acurácia temática) com limiar mínimo de 85% de acerto; arquivos *shapefile* referentes aos produtos entregues com consistência topológica e; classificação de tipologias de vegetação segundo o manual técnico de vegetação do IBGE. O total encontrado de cobertura vegetal nativa para o bioma (MMA, 2007; IESB 2007) foi de 26,97%. É importante ressaltar também que, por determinação do MMA, áreas em que houvesse predomínio de vegetação nativa, mesmo com alterações antrópicas, ou ainda a vegetação secundária em estágio avançado de desenvolvimento deveriam ser contabilizadas e mapeadas como vegetação nativa. Por outro lado, áreas onde houve conversão em pastagens plantadas, cultivos agrícolas, reflorestamentos, mineração, urbanização e outros usos semelhantes, em que a vegetação nativa deixasse de ser predominante, contariam como áreas antrópicas.

A Fundação SOS Mata Atlântica publica periodicamente o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica (2009, 2011, 2014) em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e considera neste documento as dimensões propostas pela legislação vigente, de 1.315.460 km², como a área do Bioma Mata Atlântica, abrangendo 17 estados (PE, PI, CE, PB, RN, AL, SE, BA, ES, GO, MS, MG, RJ, SP, PR, SC e RS). Com relação aos remanescentes florestais existentes, baseados nas quatro do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, a área original está

reduzida a 7,91%, ou seja, 102.012 km² (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2009). Este número totaliza os fragmentos acima de 100 hectares, ou 1km², desconsiderando a área do Bioma Mata Atlântica do estado do Piauí, que até o momento não foi mapeado e os trabalhos estão em curso pela SOS Mata Atlântica e o INPE.

Os institutos WWF-Brasil e RBMA (2011) indicam que a área ocupada originalmente por este bioma, antes do descobrimento, ocupava aproximadamente 15% do território brasileiro, área equivalente a 1.315.460 km², de acordo com a legislação vigente. Sua extensão abrange dimensões de aproximadamente de 3.500 km no sentido norte-sul e 2.500 km no sentido Leste-Oeste, assim como uma variação altitudinal desde o nível do mar até os 2.890 m do Pico da Bandeira. Politicamente, abrange completamente ou parcialmente 17 dos atuais estados brasileiros: Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Sergipe.

Para DI BITETTI (2003) a Mata Atlântica se estende desde as latitudes tropicais dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, na costa Nordeste do Brasil até as latitudes subtropicais com clima estacional do estado do Rio Grande do Sul. Estende-se do Oceano Atlântico para o interior, em direção oeste, passando pelas montanhas costeiras do Brasil até a bacia do Rio Paraná, no Leste do Paraguai e na *Provincia de Misiones*, na Argentina, abrangendo 1.713.535 km² de cobertura florestal original.

Como pode ser visto, a diferença entre os limites da extensão do bioma fica evidente quando se comparam os valores considerados pela bibliografia citada. Um dos fatores que gerou esse dilema é proveniente da própria legislação sobre o tema. A lei 11.428/2006 e o Decreto 6.660/2008 atribuem as delimitações do bioma ao Mapa de Biomas do IBGE, e este por sua vez não apresenta valores de extensão das fitofisionomias definidos no documento. Entretanto, as fitofisionomias consideradas pela publicação do IBGE (2004) não são as mesmas que estes documentos consideram como Mata Atlântica. De acordo com a Lei nº 11.428/06 e seu Mapa da Área de Aplicação (IBGE, 2012b), integram a Mata Atlântica as disjunções vegetais conhecidas como Encraves Florestais e Brejos Interioranos do Nordeste, totalizando assim 1.315.460 km², em 17 estados. Deste modo, os limites estabelecidos pela Lei 11.428/2006 não refletem as extensões biogeográficas deste bioma, mas incluem outras áreas de vegetação de similar importância ambiental, e, portanto, foram incluídas na abrangência desta lei como uma medida conservacionista, visando sua maior proteção.

A Fundação SOS Mata Atlântica (SOSMA, 2009) fez uma comparação relacionada à alteração da extensão de aplicação da nova lei. Com base no Mapa da Área da Aplicação da Lei nº 11.428 de 2006, publicado no Diário Oficial da União de 24 de novembro de 2008, e o antigo Decreto 750/93, alguns estados apresentaram mudanças significativas nas suas áreas inseridas neste bioma, conforme visto na Figura 3.

Segundo o próprio MMA (2007), os resultados apresentados em seu estudo diferem daqueles encontrados Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, sendo significativamente maiores, pois se baseiam de premissas distintas. Em primeiro lugar, há diferenças quanto aos limites do bioma adotados nos dois trabalhos (Mapa dos Biomas do Brasil - IBGE, 2004, versus limites domínio da Mata Atlântica, extraído do Mapa de Vegetação do IBGE, 1993, ambas as delimitações anteriores a Lei 11.428/2006). Segundo, as escalas de mapeamento são de ordem diferente (mesodetalhe de 1:250.000 e macrodetalhe de 1:50.000). Terceiro, o trabalho do MMA (2007) incluiu fitofisionomias não florestais e todos os tipos de formações pioneiras, inclusive comunidades aluviais e os cordões arenosos. Quarto, dentre as formações florestais abordadas se considerou as florestas ombrófilas densa, aberta e mista e as florestas estacionais decíduais e semidecíduais, mas diferentemente do Atlas, ainda se incluiu as savanas florestadas, savanas-estépicas florestadas e todas as áreas de tensão ecológica. Por último, os totais obtidos incluem as áreas de vegetação secundária em estágio mais avançado, enquanto que a Fundação SOS Mata Atlântica só considera os remanescentes bem conservados e maiores que 100 ha.

O trabalho de RIBEIRO *et al.* (2009) também realizou uma extensa revisão dos valores encontrados na literatura, e considerou valores da extensão deste bioma a partir de uma combinação de diversos documentos, tanto do Decreto 750/93, da Lei 11.428/2006 e das sub-regiões biogeográficas de DA SILVA & CASTELETTI (2003). O total aceito é de 1.481.946,38 km² com 11.73% de remanescentes distribuídos em 245,173 fragmentos florestais, estes últimos em grande maioria (83.4%) com dimensões menores de 50 ha e grande influência da matriz nos processos ecológicos internos, ou seja, elevado efeito de borda.

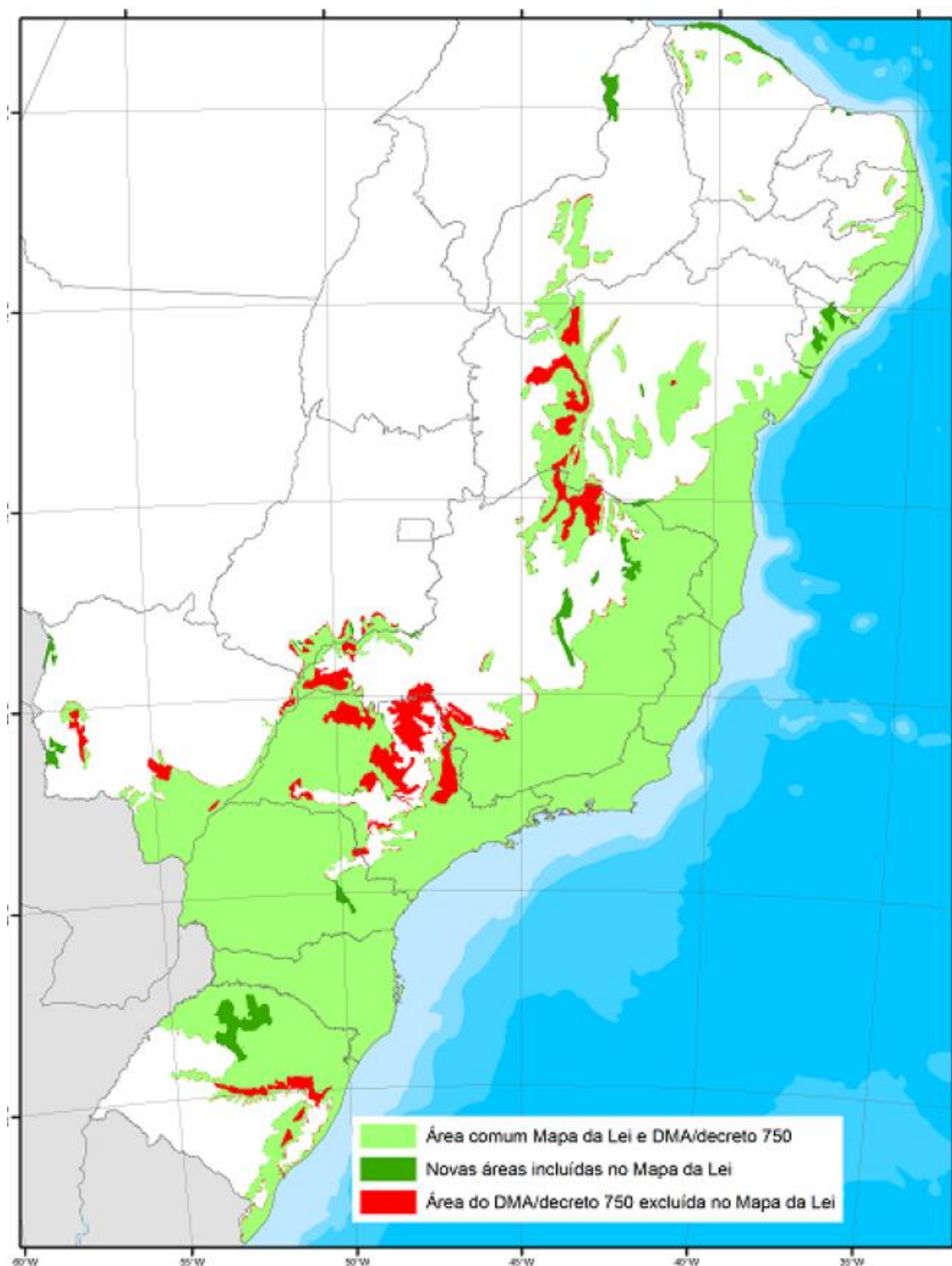


Figura 3: Comparação entre a delimitação do Bioma Mata Atlântica segundo o Decreto 750/93 e a Lei 11.428/2006. Retirado de Fundação SOS Mata Atlântica (SOSMA, 2009).

Em relação às outras variações de tamanho para o bioma não se encontrou razões aparentes, principalmente para as diferentes considerações sobre o limite estabelecido pelo IBGE (2004), em especial as alegadas pelo documento do MMA/IBAMA (2012). Essas variações encontram-se condensadas na Tabela 1.

Tabela 1: Comparação das áreas de vegetação consideradas entre estudos do bioma Mata Atlântica.

Documento	Extensão do Bioma Mata Atlântica considerada	Área Florestal Remanescente
MMA/IBAMA 2012	1.103.961 km ² (Decreto 750/93) e 1.296.446 km ² (Lei 11.428/2006)	22,25% (Decreto 750/93)
GOMES (2009)	1.105.000 km ²	20% de remanescentes florestais.
IBGE (2004)	1.110.182 km ²	-
MMA (2007)	1.110.182 km ² (IBGE, 2004)	26,97%
IESB (2007)	1.110.182 km ² (IBGE, 2004)	26,97%
IBGE (2009)	1.315.460 km ² (Lei 11.428/2006)	-
SOSMA (2009)	1.315.460 km ² (Lei 11.428/2006)	7,91%
RIBEIRO (2009)	1.481.946,38 km ²	11.73%

2.4. Fitofisionomias Existentes na Mata Atlântica

A definição das fitofisionomias pertencentes ao Bioma Mata Atlântica sempre esteve atrelada às publicações do IBGE, especialmente ao Mapa de Delimitação de Biomas. Com a revogação do Decreto 750/93 pela Lei 11.428 ocorreu uma ligeira alteração no tocante à sua composição fitogeográfica como vimos anteriormente, de modo que, em 2009, o IBGE publicou um novo documento, o Mapa da Lei 11.428/2009, baseado em suas publicações anteriores do Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE 2004) e Mapa de Biomas do Brasil - primeira aproximação (IBGE, 2004). Este novo documento, além de conter a legislação que o gerou, também cita as Resoluções CONAMA para cada estado total ou parcialmente inserido neste bioma, as quais descrevem os estágios sucessionais específicos da Mata Atlântica para cada local.

Aqui se faz uma observação quanto à fitofisionomias consideradas nestes documentos. As tipologias de vegetação às quais se aplica a lei 11.428/2006 são aquelas que ocorrem integralmente no bioma Mata Atlântica, bem como as disjunções vegetais existentes no nordeste brasileiro ou em outras regiões, quando abrangidas em resolução do CONAMA específicas para cada estado. Ou seja, este aparato legal protege fitofisionomias encontradas na Mata Atlântica em áreas dentro da abrangência de outros biomas, não sendo restringida por limites territoriais. Não obstante, o texto desta lei não inclui em sua proteção as fitofisionomias Savana (cerrado), Savana-Estépica e Estepe, as quais foram complementadas pelo decreto nº 6.660/2008, ampliando a abrangência da lei 11.428/2006 para estas formações, para as áreas de formações pioneiras, conhecidas como manguezais, restingas, campos salinos e áreas aluviais, os refúgios vegetacionais, as áreas de tensão ecológica, os brejos interioranos e encraves florestais, além da vegetação das ilhas costeiras e oceânicas e outras disjunções.

Por fim, segundo o Mapa da Lei 11.428/2009 (IBGE, 2012b), são as seguintes formações: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual; bem como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste. Serão apresentadas agora as características bioclimáticas de cada uma das formações vegetacionais citadas segundo este documento (IBGE, 2012b).

Floresta Ombrófila Densa

Caracterizada pela presença de árvores de grande e médio porte, além de lianas e epífitas em abundância. Estende-se pela costa litorânea desde o nordeste até o extremo sul. Sua ocorrência está ligada ao clima tropical quente e úmido, sem período seco, com chuvas bem distribuídas durante o ano (excepcionalmente com até 60 dias de umidade escassa) e temperaturas médias variando entre 22 e 25°C.

Floresta Ombrófila Aberta

Composta por árvores mais espaçadas e com estrato arbustivo pouco denso. Ocupa áreas com gradientes climáticos variando entre dois a quatro meses secos, identificados por meio da curva ombrotérmica, e temperaturas médias entre 24 e 25° C. Suas formações apresentam quatro faciações florísticas, resultantes do agrupamento de espécies de palmeiras, cipós, bambus ou sororocas, que alteram a fisionomia da floresta de densa para aberta.

Floresta Ombrófila Mista

Caracterizada por uma rica mistura florística que comporta gêneros Australásicos (*Drymis*, *Araucaria*) e Afro-Asiáticos (*Podocarpus*), com fisionomia fortemente marcada pela predominância da *Araucaria angustifolia* (pinheiro) no estrato superior. Sua área de ocorrência coincide com o clima úmido sem período seco, com temperaturas médias anuais em torno de 18° C, mas com três a seis meses em que as temperaturas se mantêm abaixo dos 15°C. Seus ambientes predominam no Planalto Meridional Brasileiro, em terrenos acima de 500-600 metros de altitude, apresentando disjunções em pontos mais elevados das serras do Mar e da Mantiqueira.

Floresta Estacional Semidecidual

É condicionada por dupla estacionalidade climática. Na região tropical é definida por dois períodos pluviométricos bem marcados, um chuvoso e outro seco, com temperaturas médias anuais em torno de 21°C; e na região subtropical, por um curto período de seca acompanhado de acentuada queda da temperatura, com as médias mensais abaixo de 15°C. Esta estacionalidade atinge os elementos arbóreos dominantes, induzindo-os ao repouso fisiológico, determinando uma porcentagem de árvores caducifólias entre 20 e 50% do conjunto florestal. Sua dispersão irregular, entre as formações ombrófilas, a leste, e as formações campestres, acompanha a diagonal seca direcionada de nordeste a sudoeste e caracteriza-se por clima estacional menos chuvoso, ou seja, marcado por alternância de períodos frio/seco e quente/úmido.

Floresta Estacional Decidual

É também condicionada por dupla estacionalidade climática, porém mais rigorosa, determinada por um período chuvoso seguido de um longo período seco, condicionado na região tropical por mais de sete meses de estiagem, e na região subtropical por frio prolongado por mais de cinco meses com temperaturas médias inferiores a 15° C. Ocorre também como disjunções em climas variados sobre litologia calcária ou solos pedregosos. Tais condições determinam um estrato predominantemente caducifólio, com mais de 50% das árvores do conjunto florestal perdendo as folhas na estação desfavorável.

Savana

A vegetação de Savana (Cerrado) ocorre em variados climas, tanto os estacionais tropicais com período seco entre três a sete meses, como os ombrófilos sem período seco. Sua distribuição está relacionada a determinados tipos de solos, na maioria profundos, com alto teor de alumínio e de baixa fertilidade natural, arenosos lixiviados e mesmo pedregosos. Em geral apresenta dois estratos distintos: um arbóreo lenhoso, formado por árvores de pequeno a médio portes, troncos e galhos tortuosos, raízes profundas e folhas coriáceas brilhantes ou revestidas por densa camada de pelos; o outro estrato é gramíneo-lenhoso, composto predominantemente por plantas herbáceas e lenhosas de pequeno porte. Apresenta assim uma variabilidade estrutural alta, com grandes diferenças em porte e densidade, influenciadas inclusive pela intensidade da ação antrópica. Mesmo que a Região Centro-Oeste seja considerada como a área nuclear da Savana, esse tipo

vegetacional ocorre também em todas as demais regiões do país, ocupando desde áreas extensas até pequenas disjunções.

Savana-Estépica

Constitui uma tipologia vegetal estacional decidual, tipicamente campestre, em geral com espécies lenhosas espinhosas, entremeadas de plantas suculentas, sobretudo cactáceas, que crescem sobre solos geralmente rasos e quase sempre pedregosos. As árvores são baixas, raquíticas, com troncos finos e esgalhamento profuso. Muitas espécies são microfoliadas e outras são providas de acúleos ou espinhos; em sua maioria, são espécies providas de adaptações fisiológicas à escassez de água. No Bioma Mata Atlântica ocorrem duas disjunções de Savana Estépica: uma no nordeste de Minas Gerais e a outra em Cabo Frio, litoral norte do estado do Rio de Janeiro.

Estepe

Ocorre na área subtropical brasileira onde as plantas são submetidas a uma dupla condição de estacionalidade, cujas causas são o frio e a seca. A adoção do termo estepe para os campos do Brasil meridional baseia-se na fisionomia da vegetação, homóloga à estepe da Zona Holártica, embora com florística diversa daquela. Sua área nuclear é a Campanha Gaúcha, caracterizada por uma vegetação essencialmente campestre em que predominam as gramíneas (Poaceae), com a presença de espécies lenhosas decíduais espinhosas. Ocorre também no Planalto Meridional (Campos Gerais), onde a *Araucaria angustifolia* nas florestas de galeria oferece a diferenciação fisionômica mais marcante, já que a composição florística é bastante semelhante.

Formações Pioneiras

Constituem os complexos vegetacionais edáficos de primeira ocupação (pioneiras), que colonizam terrenos pedologicamente instáveis, relacionados aos processos de acumulação fluvial, lacustre, marinha, fluviomarinha e eólica. Englobam a vegetação da restinga, dos manguezais, dos campos salinos e das comunidades ribeirinhas aluviais e lacustres.

Refúgio Vegetacional

Comunidade vegetal que difere e se destaca do contexto da vegetação clímax regional, apresentando particularidades florísticas, fisionômicas e ecológicas. Em geral

constitui uma comunidade relictual que persiste em situações muito especiais, como é o caso daquelas situadas em altitudes acima de 1.800 metros.

Áreas de Tensão Ecológica

Constituem os contatos entre tipos de vegetação que podem ocorrer na forma de Ecótono, quando a transição se dá por uma mistura florística, envolvendo tipologias com estruturas fisionômicas semelhantes ou claramente distintas; ou na forma de encrave quando a distinção das tipologias vegetacionais, ou mosaicos entre distintas regiões ecológicas, reflete uma transição edáfica e resguarda sua identidade ecológica. No caso dos encaves é um artifício cartográfico usado quando a escala de mapeamento não permite separar os tipos de vegetação presentes na área, indicando, porém, sua ocorrência. Os seguintes contatos vegetacionais ocorrem no Bioma Mata Atlântica: Floresta Ombrófila/Floresta Ombrófila Mista; Floresta Estacional/Floresta Ombrófila Mista; Savana/Floresta Ombrófila; Savana/Floresta Ombrófila Mista; Savana/Floresta Estacional; Savana Estépica/Floresta Estacional; Estepe/Floresta Ombrófila Mista; Estepe/Floresta Estacional; Savana/Savana Estépica/Floresta Estacional.

Campos de Altitude

Correspondem à vegetação com estrutura herbácea ou herbácea/arbustiva, caracterizada por comunidades florísticas próprias, que ocorre sob clima tropical, subtropical ou temperado, geralmente nas serras de altitudes elevadas, nos planaltos e nos Refúgios Vegetacionais, bem como a outras pequenas ocorrências de vegetação campestre. Os Campos de Altitude estão situados nos ambientes montano e alto-montano. O montano corresponde às faixas de altitude: de 600 a 2.000m nas latitudes entre 5° N e 16° S; de 500 a 1.500m nas latitudes entre 16° S e 24° S; e de 400 a 1.000m nas latitudes acima de 24° S. O alto-montano ocorre nas altitudes acima dos limites máximos considerados para o ambiente montano.

2.5. Legislações referentes à Mata Atlântica

Devido à importância da Mata Atlântica no contexto ambiental, social e econômico nacional, em conjunto com a sua delicada situação atual beirando a extinção, foram criadas legislações que de forma indireta ou especificamente visam à proteção e a gestão adequada deste bioma.

Logicamente, quando se associa florestas e legislação, a primeira referência brasileira identificada é o Código Florestal Brasileiro. O primeiro Código Florestal nacional, atribuído ao Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro 1934, é anterior aos conceitos de biomas, e buscava minimizar os danos à vegetação brasileira, tanto às florestas quanto demais formações vegetais. As classificações das tipologias florestais se enquadravam nas seguintes classes: protectoras, remanescentes, modelo, e de rendimento. Como pode ser visto, no início do século passado já existia uma preocupação ambiental em voga no país, mesmo que ainda incipiente e com pouca força política. Tal constatação pode ser exemplificada por DEAN (1996), que elenca como principal defeito deste código o fato do mesmo nunca ter sido cumprido, tanto devido à falta de fundos quanto à corrupção da fiscalização voluntária. Não obstante, o código penal da época estava sendo reestruturado, e acabou por reduzir os crimes florestais a meras contravenções. Para ilustrar o cenário desfavorável às florestas nacionais, um dos Ministros da Agricultura do governo de João Goulart (1961-1964) foi contra a restrição imposta pelo governo aos direitos sobre tipos florestais, sendo a favor do corte e uso indiscriminado de qualquer vegetação. Tal situação se manteve até o Golpe Militar de 64, quando os militares devolveram as terras públicas ao governo federal, unindo a ideia de propriedade de terra e a conservação e bom aproveitamento da mesma.

DEAN (1996) ainda continua, mostrando que os interesses dos militares foram rapidamente ratificados com a promulgação da Lei Nº 4.771, de 15 de setembro 1965, o “novo” código florestal. Apesar de proteger o ambiente melhor que seu predecessor, suas considerações não eram somente ambientais, mas também desenvolvimentistas, com objetivos que, por exemplo, visavam garantir matéria-prima nacional para indústrias de celulose e outros setores, além de reserva energética para as térmicas. Além disso, a lei entrou em vigor apresentando diversas brechas, como a possibilidade de se revender a área de reserva legal a outro proprietário, e este ter permissão para desmatar esta área até o percentual permitido, podendo replicar o processo. Durante seus 48 anos de vigência, inúmeras inclusões foram realizadas, buscando melhorias na sua redação e adequação à realidade contemporânea.

Recentemente foi promulgado o atual Código Florestal, mediante a Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que busca sanar estes problemas e atender exigências de ambientalistas e ruralistas. Muito da estrutura anterior foi mantida, mas se buscou harmonizar as medidas de proteção e uso sustentável com o desenvolvimento econômico,

incluindo novos instrumentos de gestão que aprimoram as ações de interesse social e utilidade pública, assim como dar celeridade aos processos de regularização ambiental das propriedades. Infelizmente, o consenso entre as duas bancadas de opiniões frequentemente conflitantes é, no mínimo, complexo, e o resultado no presente momento já inclui diversos vetos e a Lei Nº 12.727, de 17 de outubro de 2012, que altera e complementa o novo código.

Especificamente sobre este bioma, a Constituição Federal de 1988 insere, em seu artigo 225, que a Mata Atlântica é considerada um Patrimônio Nacional. Buscando fornecer uma maior proteção, o governo sancionou o Decreto nº 99.547, de 25 de setembro de 1990, que dispõe sobre a proibição do corte e exploração da vegetação nativa deste bioma, de maneira sucinta e objetiva. A falta de flexibilidade em conjunto com a afirmação de Lima (1997), que aponta as graves falhas de não delimitar a área a ser preservada nem definir parâmetros para sua correta implementação, foram a força-motriz que levou à sua revogação três anos depois. LIMA (1997) ainda questiona a constitucionalidade do mesmo, uma vez que a Constituição Federal de 1988 permite a utilização da Mata Atlântica.

Neste período, o CONAMA aprovou em 1992 uma proposta de regulamentação do dispositivo constitucional, baseado em diversas sugestões da sociedade civil para alteração do Decreto 99.547/90, a qual definia a área de abrangência deste bioma, além de incluir em seu texto a proteção dos estágios sucessionais da Mata Atlântica, assim como os critérios, instrumentos e procedimentos para o uso racional e participação da sociedade. Esta proposta deu origem ao Decreto nº 750 (LIMA, 1997).

O Decreto nº 750, de 10 de fevereiro de 1993 detalhou mais profundamente o tema e incluiu a flexibilização do desmatamento em diversos casos, além de atribuir competências ao IBAMA de autorizar ou não a supressão da vegetação. Neste decreto se encontra a primeira definição em lei sobre as formações florestais que compunham o domínio Mata Atlântica, já atribuindo sua delimitação espacial ao Mapa de Vegetação do Brasil, elaborado pelo IBGE. As formações elencadas na época são as seguintes: Floresta Ombrófila Densa Atlântica, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, manguezais, restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste. Lima (1997) ressaltou que, apesar de bem elaborado, a maior dificuldade de sua implementação foi a ausência de regulamentação, diretrizes e critérios para a exploração deste bioma por parte

dos estados, e se o faziam, da carência de órgãos ambientais preparados para lidar com as especificidades de cada projeto, com o volume de informações necessárias para análise do projeto e com a fiscalização adequada.

Atualmente, a legislação que se encontra em vigor sobre a Mata Atlântica é a Lei Nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, regulada pelo Decreto 6.660, de 21 de novembro de 2008. Suas leituras mostram as disposições sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, as formações florestais que o compõem, definições de termos utilizados, regras para supressão de vegetação, além de reafirmar a responsabilidade sobre a delimitação destas distribuições ao Mapa de Biomas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). VARJABEDIAN (2010) categoriza enfaticamente esse novo conjunto Decreto/Lei como um retrocesso perante o Decreto Federal n.750/93. Ele afirma que estes novos instrumentos legais apresentam flexibilizações exacerbadas, que não protegem adequadamente este bioma em risco de extinção, principalmente relacionado ao estágio médio de regeneração. Como exemplo, alguns artigos da Lei nº.11.428/06 (com destaque aos 30º e 31º, sobre a supressão de vegetação secundária em estágio médio e avançado de regeneração em áreas urbanas) abrirem possibilidades de novos desmatamentos sancionados pelos órgãos ambientais, enquanto que o Decreto nº 6.660/08 permite a exploração de produtos florestais neste bioma com variados níveis de intensidade assim como de controle, incluindo a falta de, por parte dos órgãos ambientais competentes.

Existem também em vigor resoluções acessórias, que visam esclarecer detalhes técnicos como as definições de sucessão florestal da Mata Atlântica para os diversos estados, dispostas pelo CONAMA.

3. Relações Edafoclimáticas

As plantas apresentam relações de troca com os grandes compartimentos do ambiente, o solo, o clima e o relevo, e este sistema de interações os define mutualmente. RAVEN *et al.* (2001) ressalta uma informação que muitas vezes é negligenciada: todos os seres vivos precisam regular suas atividades de acordo com o mundo ao seu redor, de modo que os vegetais também apresentam respostas às variações ambientais de modo semelhante aos animais. Enquanto estes últimos (geralmente) apresentam mobilidade e podem buscar condições externas mais agradáveis, as plantas se tornam imóveis com sua primeira raiz, dependendo da sua capacidade de tolerar uma ampla variação nos condicionantes ecológicos para sobreviver. Isto é comprovado por diversos comportamentos observados na natureza, como a detecção da mudança das estações e consequente condicionamento de seu ciclo reprodutivo de modo a proteger seus embriões do rigor do inverno, o tropismo⁹ de raízes pelo solo e água enquanto que o caule se desenvolve na direção da luz, ou ainda a completa alteração morfológica entre indivíduos geneticamente iguais expostos a diferentes estímulos durante seu desenvolvimento.

JENSEN (2009) apresenta o processo de obtenção de alimento pelas plantas, altamente dependente do ambiente. A fotossíntese é realizada basicamente com três grandes fatores externos:

- Dióxido de Carbono (CO_2)
- Água (H_2O)
- Irradiância (E_λ) medida em W/m^2

O dióxido de carbono vem da atmosfera (ar), a água é fornecida pelo solo através da absorção radicular, e a duração e intensidade da luz solar proveem a irradiância que dá a energia para este processo.

Cada espécie apresenta um intervalo de condições ambientais que pode tolerar. Este espaço multidimensional, ou nicho¹⁰, é determinado por uma combinação única de intervalos nos eixos que o compõem, cada um deste representando variáveis ambientais distintas que interferem no desenvolvimento do ser vivo considerado, suas tolerâncias e

⁹ Tropismo é uma resposta de crescimento envolvendo a curvatura da planta a favor (tropismo positivo) ou na direção contrária (tropismo negativo) de um estímulo externo. RAVEN *et al.*, 2001.

¹⁰POST (2013) apresenta uma revisão sobre diversas visões deste conceito.

necessidades (HUTCHINSON, 1957). RICKLEFS (2003) desenvolve o tema, e afirma que o intervalo de condições e recursos dentro do qual indivíduos de uma espécie consegue se desenvolver e reproduzir é o seu nicho fundamental. Este, no entanto, só existe dentro de um modelo hipotético, uma vez que na natureza existem catástrofes naturais e a interação de outras espécies, incluindo a competição e parasitismo, gerando restrições a sua distribuição dentro deste espaço para somente as áreas mais favoráveis, podendo inclusive a remover de um ambiente no qual já ocupou. Este seria considerado seu nicho realizado (HUTCHINSON, 1957), derivado de suas adaptações evolutivas e histórico de interação com outras espécies. A maioria dos estudos sobre distribuição biogeográfica que não apresentam um foco sobre a competição interespecífica se baseia, mesmo que não explicitamente, no conceito de nicho fundamental.

As interações entre as plantas e o ambiente são estudadas por diversas ciências, mas principalmente pela Biologia e Agronomia. Esta associação é aprofundada por algumas áreas temáticas interdisciplinares e com alto grau de sobreposição de seus objetos, como a Biogeografia, a Fitogeografia, a Fitossociologia, a Bioclimatologia e a Edafoclimatologia.

A Biogeografia estuda a distribuição dos seres vivos no espaço e através do tempo procurando entender padrões de organização espacial e seus processos precursores em diferentes escalas (CRISCI, 2001; RICKLEFS, 2003), e estuda a biodiversidade natural levando em conta mudanças globais e locais de fatores geológicos, climáticos e físicos desde a criação da vida.

Para o MME (1983), o conceito de Fitogeografia significa simplesmente a distribuição das plantas pela superfície da Terra. Os critérios básicos preferenciais e diferenciais desses territórios essencialmente florísticos são: os táxons ou endemismos de grupos sistemáticos, ausência de certos taxa ou ao contrário, sua abundância em particular, e a relativa riqueza florística em geral. Tanto o MME (1981 e 1983) quanto FIASCHI (2009) realizam uma revisão interessante sobre os estudos biogeográficos de plantas brasileiros.

A Fitossociologia é para RIVAS-MARTINES (2008) a ciência que lida com as comunidades das plantas, suas relações com o meio ambiente e os processos temporários que as modificam. Por meio de métodos estatísticos e indutivos sobre a realidade fitossociológica, tenta-se criar uma tipologia hierárquica universal através das unidades

do sistema sintaxonômico, as Formações Vegetais. Está relacionada ao conceito de *Geosymphitosociology*, ou Fitossociologia da Paisagem Integrada.

A Bioclimatologia é uma ciência ecológica que estuda a relação entre o clima e a distribuição dos seres vivos e suas comunidades pelo planeta, e, segundo RIVAS-MARTÍNEZ (2008), também poderia se chamar de Fitoclimatologia, já que os vegetais representam a maior parte da biomassa terrestre. Tem como objetivo atribuir faixas de valores de temperatura e precipitação nas quais espécies/fitofisionomias de plantas e comunidades vegetais conseguem se estabelecer e/ou representam os seres vivos dominantes, gerando um mapeamento potencial de distribuição fitogeográfica. Esta relação deve ser feita por parâmetros e índices facilmente calculáveis, com seus valores baseados nas cartas de vegetação natural existente.

Para CRONEMBERGER (2001), a bioclimatologia objetiva delimitar a zonalidade geográfica segundo o comportamento espacial de variáveis climáticas e das comunidades vegetais associadas. A classificação é em função do comportamento espacial e temporal de variáveis como temperatura, umidade e precipitação, e a repetição de padrões de características sobre a superfície seu conjunto forma as principais condicionantes à distribuição das espécies sobre a paisagem, definindo assim, limites de ocorrência e taxas de abundância de espécies e de populações biológicas em geral. Gerado o mapa dessas interações, é possível inferir tanto a distribuição espacial de domínios climáticos como de fitofisionomias vegetações potenciais. Não obstante, estes três últimos autores citados esperam que o resultado destes mapeamentos seja uma classificação acurada de bioclimas, fornecendo informações para outras ciências e sua aplicação em programas de conservação da biodiversidade, prognóstico de condições para plantio agrícola ou florestal das espécies economicamente cultiváveis ao clima local, na luta contra a fome e na determinação de cenários globais futuros climáticos e vegetacionais.

Os principais índices bioclimáticos utilizados (MESQUITA, 2005; RIVAS-MARTÍNEZ, 2008) são o Térmico, associados à tolerância a temperatura de cada espécie/fitofisionomia, e incluem as temperaturas médias (no mínimo), mínimas, máximas e período sem geada ou acima de valores específicos de temperatura; e o Pluviométrico/Ombrotérmico/Umidade, relacionado a alterações na fisiologia vegetal pela restrição hídrica, lidando com o balanço hídrico e a extensão dos períodos de seca. Estes autores ainda utilizam o Índice de Continentalidade, que está associado a amplitude diária de temperatura e a sazonalidade das chuvas. Estes autores ainda ressaltam que

qualquer índice bioclimático deve ser fundamentado sobre as relações ecológicas, de modo a poder dar uma correta interpretação de que relação de fatores indica a mudança de um ecossistema para outro.

A Edafoclimatologia se refere a interação entre o solo e o clima, principalmente nos parâmetros de temperatura, umidade e aeração pedológica. Está relacionada principalmente a agronomia e à zonação agrícola, pois determina a aptidão de áreas ao cultivo de espécies avaliadas, relacionando variáveis de importância biológica e de possível medição. A escala de abordagem desta ciência é, em geral, mais detalhada que a bioclimatologia, uma vez que ambas se referem ao clima, que apresenta efeito sobre a qualidade do sítio em extensas regiões, mas as variáveis topográficas e pedológicas explicam melhor o crescimento das árvores em pequenas regiões. (GONÇALVEZ, 1988).

Dentro deste panorama de ciências que estudam as interações das plantas com o meio ambiente, a seguir serão analisados os principais fatores que interferem no desenvolvimento e distribuição das plantas no planeta, tentando exemplificar também algumas metodologias relacionadas.

3.1. Fatores relacionados ao desenvolvimento vegetal

3.1.1. Clima

Quando se pensa em clima, tal termo é sempre associado às condições do tempo, se está um dia encoberto por nuvens, se está quente ou frio, a previsão de chuva. Entretanto, existe uma diferença marcante entre tempo (meteorológico) e clima, mesmo com suas definições intimamente interligadas. Tempo é o que vemos acontecer na atmosfera, uma descrição de um momento. O Clima pode ser entendido como um conjunto de padrões de tempo que se repetem em uma escala temporal, uma média do tempo, representando um padrão recorrente de cada local, permitindo que se façam previsões com dias, semanas e até meses de antecedência. Para AHRENS (2012), clima é o acúmulo de eventos meteorológicos diários e sazonais em um longo período de tempo.

Pode se dizer que as condições climáticas são os fatores de larga escala que preponderantemente determinam a cobertura vegetal em uma região. Os padrões observados de suas componentes impõem os principais limitantes à distribuição das fitofisionomias, além de influenciarem na pedogênese e na geomorfologia. Aqui veremos como seus componentes atuam na dinâmica fisiológica e morfológica das plantas.

Precipitação e umidade

Sempre que observamos um evento de precipitação, isto quer dizer que o vapor d'água se condensou para formar gotas de água líquida, uma chuva, ou que houve a formação de gelo diretamente do vapor ou por congelamento por gotas de água, a queda de granizo ou neve. A frequência e intensidade da pluviosidade interferem diretamente nas condições climáticas de uma região: alteram o fluxo dos rios, a umidade do solo, as espécies presentes de flora e fauna, os hábitos diários e sazonais das populações existentes. Não obstante, o regime de chuvas observado em certo local pode fortemente influenciar o tempo em outras regiões. As chuvas são o resultado final de uma série de eventos com escalas de tempo e espaço bastante diversas, de forma que as causas de uma determinada chuva podem ser uma mistura, incluindo fatores tanto locais como remotos. Estes eventos de precipitação estão diretamente atrelados aos movimentos da água na atmosfera e na quantidade de umidade presente em cada local.

A chuva, ao atingir a superfície do solo nele se infiltra, podendo ocorrer escoamento de parte da água sobre a superfície do solo. Esse escoamento superficial ou *runoff* pode ser maior ou menor, dependendo da intensidade da chuva, da declividade e das características físicas do solo.

O Brasil possui diferentes regimes de precipitação, em razão de sua vasta extensão territorial, desde a região equatorial até latitudes subtropicais, e de sua complexidade topográfica. De norte a sul encontra-se uma grande variedade de climas com distintas características regionais, as quais também acarretam em uma multiplicidade de ecossistemas possíveis (CAVALCANTI *et al*, 2009). Para que se possam observar estas diferenças, a Figura 4 ilustra as médias de precipitação anual para o Brasil.

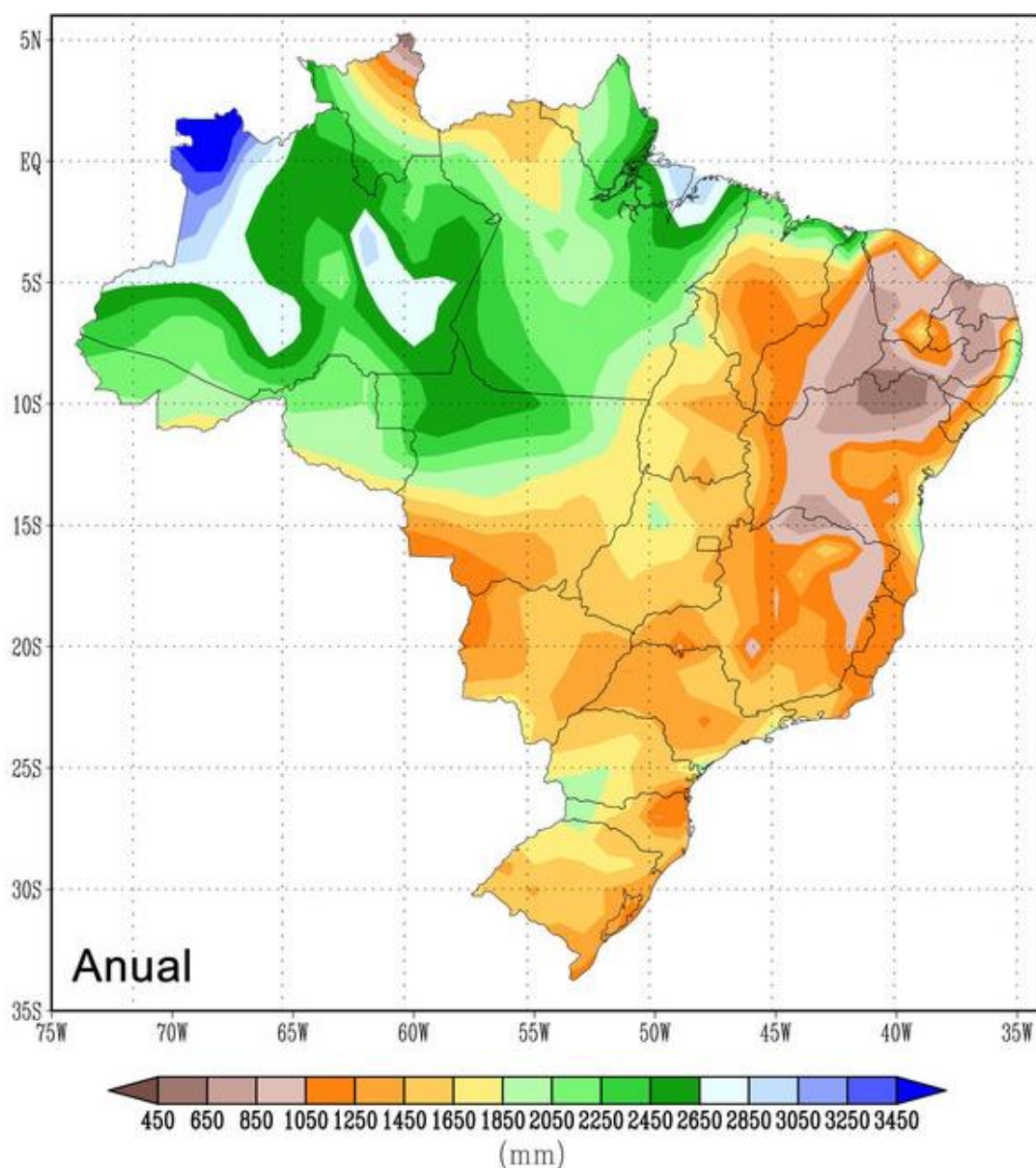


Figura 4: Mapa de precipitação anual média (mm) entre os anos de 1961-1990 sobre o território brasileiro. INMET 2012.

Para se determinar a quantidade de precipitação de uma região é necessário quantificá-la, seja ela na forma líquida ou sólida (neve), e este processo é chamado de pluviometria, a qual utiliza o instrumento chamado Pluviômetro (ou Udômetros). Estes valores são comumente expressos em termos de espessuras de camada de água que se forma sobre uma superfície horizontal, plana e impermeável de 1m^2 . Segundo VAREJÃO-SILVA (2006), esta prática é feita por causa das relações matemáticas, que facilitam sua mensuração: 1 litro por m^2 equivale a 1 decímetro^3 por 100 decímetros^2 , o que equivale a 1mm de chuva; 1mm de chuva equivale a 10^4 litros por hectare. Também

são medidos o tempo de duração (início e término da chuva) e sua intensidade, que é a quantidade de chuva por unidade de tempo (mm/h).

A umidade faz parte do ciclo hidrológico, marcado pelo intercâmbio entre o meio aéreo e a superfície. Quando a água existente nos corpos hídricos muda de estado físico, de água para vapor, ou sublima das superfícies congeladas, entra no meio aéreo. Durante esta transição, as moléculas de água acabam por levar uma grande quantidade de energia térmica, o calor latente usado na mudança de fase. O caminho inverso deste ciclo é facilmente verificado por diversos acontecimentos do cotidiano, como a precipitação, tanto de água em forma líquida como sólida, a condensação sobre superfícies, como o orvalho. Por sua vez, voltando ao estado líquido ou sólido, mais calor é perdido para o meio ambiente, sendo assim o vapor de água um eficiente transportador de calor, podendo levar grandes quantidades de energia de áreas com maior aquecimento para áreas frias. Além disso, como frisa VAREJÃO-SILVA (2006), a atividade biológica apresenta uma parcela importante nesta passagem, notoriamente pela transpiração vegetal. Toda essa movimentação envolve uma massa de água de aproximadamente 577.000 km³, mas que somente representa 0,0416% do total de água na crosta terrestre (SETTI *et al.*, 2001). Um esquema do ciclo hidrológico global indicando os valores dessas trocas hídricas entre seus compartimentos pode ser visto na Figura 5.

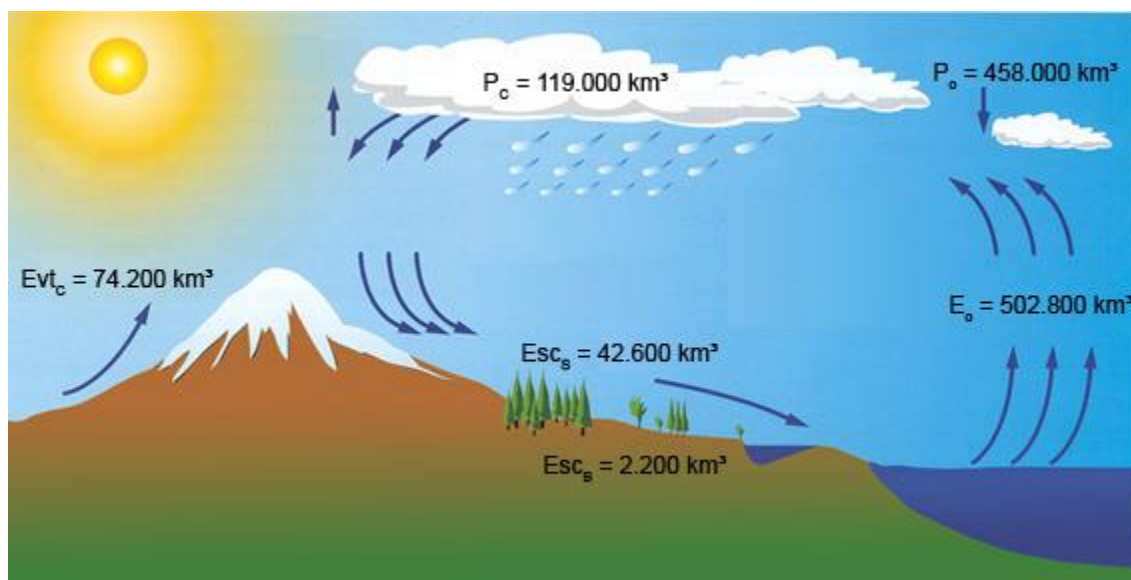


Figura 5: Ciclo hidrológico global. P_c = Precipitação sobre os continentes; P_o = Precipitação sobre os oceanos; E_o = Evaporação dos oceanos; E_{vt_c} = Evapotranspiração no continente; E_{sc_s} = Escoamento superficial; E_{sc_b} = Escoamento basal. Adaptado de SETTI *et al.*, 2001.

A umidade pode ser indicada por diversas metodologias diferentes, cada uma relacionada a um conceito. Para AHRENS (2012), uma das maneiras de se expressá-la é

a comparação do peso (massa) do vapor de água dentro de um volume de ar, de modo a se obter a densidade de vapor de água ou a umidade absoluta (g/m^3). Também poderíamos comparar a massa do vapor de água em relação ao peso total daquele volume de ar (com o vapor), e obter a umidade específica (g/kg). Por último, é possível comparar o peso (massa) de vapor de água com o peso (massa) do ar seco, resultando na razão de mistura (g/kg). A umidade relativa é o meio mais comum de se descrever quanto de vapor de água está na atmosfera, e infelizmente também é o mais enganoso. A umidade relativa é a razão percentual entre a quantidade existente de vapor de água no ar e a quantidade máxima de vapor de água necessária para que este ar esteja saturado, nesta mesma temperatura e pressão. Uma umidade de 50% indica que este ar apresenta a metade do vapor de água para ficar saturado, 100% está saturado, e mais que isso está supersaturado. Para se obter diretamente os valores da umidade relativa, diversos instrumentos podem ser utilizados, como higrômetros, higrógrafos e termohigrógrafos.

A planta é altamente dependente da água. RAVEN *et al.* (2001) explica que através do xilema e do floema, os tecidos vasculares vegetais, ocorre a passagem de água contendo nutrientes orgânicos e inorgânicos dissolvidos desde as raízes até as folhas mais elevadas de sua copa. Da água absorvida pelas raízes, é estimado que em torno de 99% seja perdida pelos tecidos vegetais (principalmente as folhas) para o ar como vapor de água, sendo este fenômeno chamado de Evapotranspiração. Como exemplos de valores, este autor cita que uma planta de milho (*Zea mays*) transpira 206 litros durante sua fase de crescimento, e que uma única árvore em crescimento de uma floresta decídua na Carolina do Norte (EUA) transpira 200 a 400 litros diariamente. Este fenômeno é tão expressivo nas plantas devido a fotossíntese, sua fonte de energia básica, a qual exige uma ampla área exposta a energia luminosa do sol e para realizar trocas gasosas para incorporar o CO_2 atmosférico, acarretando em uma grande superfície de transpiração. A evapotranspiração é a componente mais importante do ciclo hidrológico terrestre, pois a quantidade de umidade envolvida neste processo normalmente supera os outros componentes como a recarga subsuperficial, escoamento superficial e evaporação da umidade do solo (BEST *et al.* 2003). Ela é influenciada pela intensidade e duração dos eventos chuvosos, e depende da disponibilidade de água no solo para a planta (ZHANG *et al.* 1999). A evapotranspiração nas florestas é normalmente superior à da vegetação de menor porte: nas estações úmidas, em função do aumento do transporte de vapor de água

devido à superfície aerodinamicamente mais rugosa de suas copas; e nas secas, devido ao sistema radicular maior e melhor desenvolvido (CALDER, 1998).

A perda de água pode ser extremamente danosa para a planta quando é superior à sua capacidade de reposição. A desidratação retarda o crescimento vegetal de inúmeras espécies, podendo até levar à morte. Sem água, a produção de fotossíntese cai drasticamente devido ao fechamento dos estômatos, privando os vegetais de sua fonte energética e de carbono, e estimulam a produção de ácido abscísico, que inibe o crescimento do caule e estimula ainda mais o fechamento estomatal. A baixa umidade no ar também favorece a transpiração, pois a elevada diferença entre a pressão de vapor externa e interna das folhas resulta em uma maior perda hídrica, levando a diferenças morfológicas entre espécies do interior de matas fechadas, um ambiente com maior umidade e menor incidência solar, e espécies campestres, com menor umidade e abundância de luz. Para minimizar este processo inevitável, diversas adaptações evolutivas foram desenvolvidas, como a cutícula impermeabilizante, a dinâmica de abertura e fechamento de estômatos e a largura das folhas. Ainda assim, são medidas paliativas, e em todo o tempo de existência das plantas ainda não apresentaram uma estrutura que seja favorável tanto para as trocas gasosas quanto para evitar a desidratação, de modo que são consideravelmente sensíveis às alterações na disponibilidade de água no ambiente. (RAVEN *et al*, 2001).

Temperatura

Para AHRENS (2012), os principais fatores que causam as variações na temperatura de um lugar para o outro são chamados de controles de temperatura. Basicamente, podemos dividir em 4 componentes principais:

- Insolação (Latitude)
- Distribuição de terra e água
- Correntes oceânicas
- Elevação

O Sol emite radiação continuamente para o universo, a fonte energética que propiciou a criação da vida na Terra e a sua manutenção. Os raios luminosos que incidem em nosso planeta são responsáveis por infindáveis processos físicos, químicos e biológicos, mas a principal consequência direta é o aquecimento da superfície terrestre.

Esta radiação é emitida em basicamente todos os comprimentos de onda, mas existe uma faixa preferencial de emissões, em torno de 99,9% dessas, chamada de radiação solar, compreendida entre os comprimentos de onda de 0,15 a 4,0 μ . Dentre a radiação que atinge a superfície da Terra, 52% dos feixes de onda se encontram na faixa espectral do infravermelho, 44% na do visível e 4% na do ultravioleta. (VAREJÃO-SILVA, 2006)

Ainda VAREJÃO-SILVA (2006), a energia solar que atinge uma área plana da superfície terrestre durante um intervalo de tempo é chamada de radiação global, composta da radiação direta, proveniente diretamente do sol, e a radiação difusa, resultante do espalhamento da atmosfera, que incide sobre o local após ser desviada por elementos da atmosfera (gases, vapor de água, partículas de poeira, entre outros). A insolação é definida como intervalo de tempo em que o disco solar permanece visível, entre o nascimento e o ocaso do sol, para um observador localizado em um dado ponto da superfície terrestre, supondo-se que o horizonte não esteja obstruído. Para medir esta grandeza qualitativamente, é aferida a duração da luz do dia, e quantitativamente, quando se obtêm a intensidade da radiação solar incidente.

A energia mínima que chega ao topo da atmosfera do planeta a cada segundo é de aproximadamente 1361 W/m² (KOPP & LEAN, 2011). No entanto, esta energia é atenuada até chegar ao nível do solo, e como o planeta gira, ocorre uma distribuição deste total por toda a superfície, chegando a um quarto deste valor, de aproximadamente 342 W/m² (CAVALCANTI, 2009). Ainda assim, existe uma grande variação da quantidade de energia entre cada local da Terra. Devido à inclinação do eixo de rotação da Terra com relação ao plano da órbita, os raios solares incidem, ao meio dia, muito próximos da vertical nas regiões tropicais, e quase tangentes nas proximidades dos polos, espalhando a energia proveniente do sol por áreas de tamanhos distintos, e consequentemente um aquecimento maior ou menor de acordo com o ângulo de incidência α , como a Figura 6 e a Figura 7 demonstram.

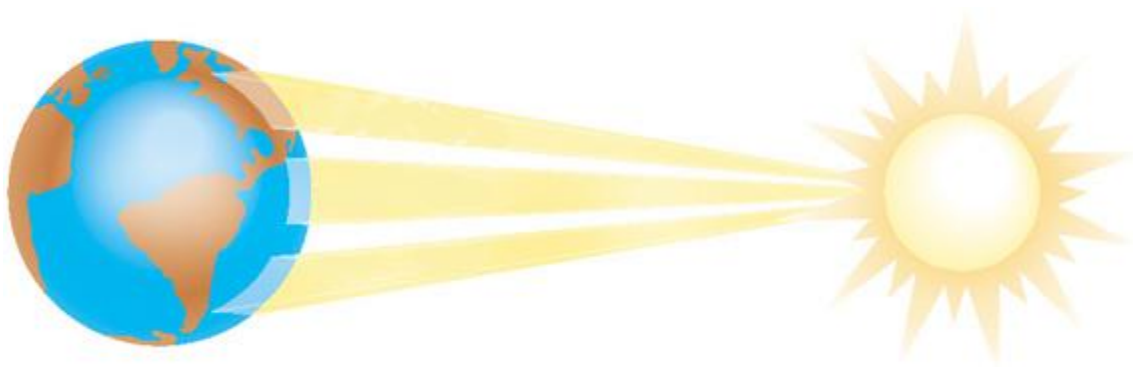


Figura 6: Incidência dos raios solares sobre a superfície da Terra. Adaptado de HOWSTUFFWORKS, 2012.

No hemisfério de inverno ocorre a noite polar durante vários meses, enquanto o hemisfério de verão o polo fica iluminado, porém com os raios bastante inclinados, de modo que ambos os fatores, a duração da luz do dia e a inclinação dos raios, são dependentes da latitude. A Figura 8 mostra, em média, a duração da insolação nas diversas latitudes.

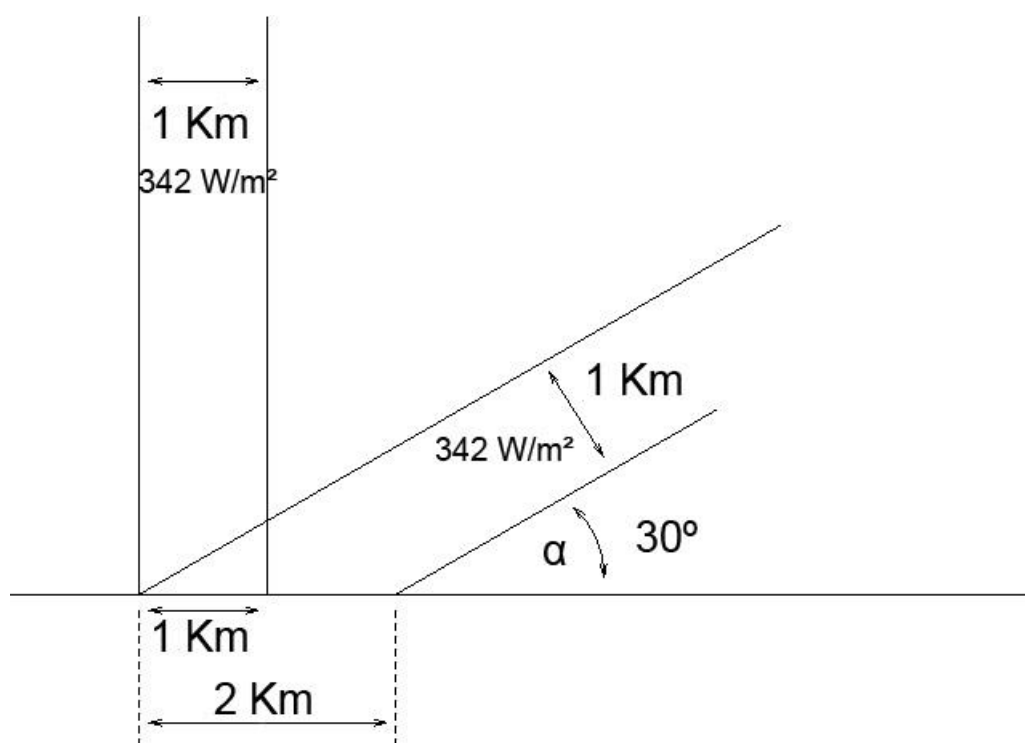


Figura 7: Inclinação dos raios solares e a distribuição de energia. Como a energia que chega ao planeta é aproximadamente constante, a inclinação da incidência dos raios solares será fundamental para determinar a intensidade que estes atingem uma superfície. Com uma inclinação de 90° , ou seja, perpendicular, a intensidade é igual a incidente, de 342 W/m^2 . Já quando a iluminação se dá a um ângulo α de 30° , a energia é multiplicada pelo seno deste mesmo ângulo, $\frac{1}{2}$, significando que uma área duas vezes maior está recebendo a mesma energia

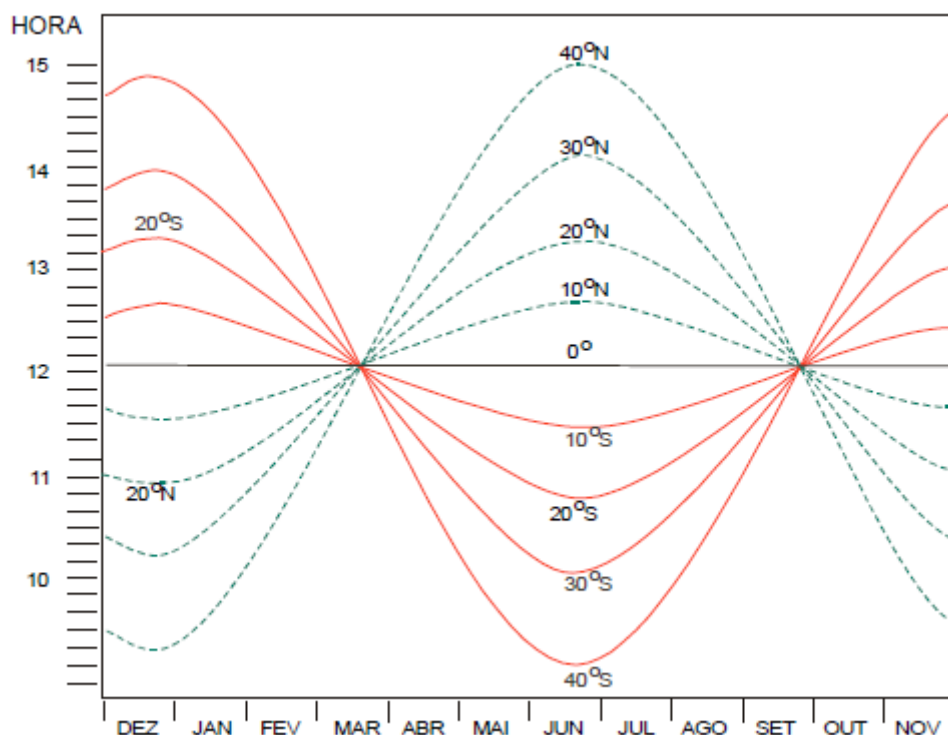


Figura 8: Variação do Fotoperíodo com a latitude. VAREJÃO-SILVA, 2006.

Um fator que interfere com a quantidade de raios solares que atinge o solo, e, conseqüentemente, a energia que pode ser mensurada e aproveitada na superfície, são as nuvens. As nuvens são aglomerados de água em estado líquido ou sólido, possíveis de visualização a olho nu, podendo conter também outras partículas em suspensão. A luz do sol pode ser refletida quando incide sobre as nuvens, sendo desviada pelas partículas de volta para o espaço. O percentual desta radiação refletida é dependente de alguns fatores, como a densidade e composição das partículas existentes e a espessura da nuvem. O aparelho utilizado para se medir a insolação é chamado de heliógrafos.

Em relação à distribuição da água, é possível verificar que esta apresenta uma grande importância para a determinação da temperatura do ar devido às diferenças nas suas propriedades de aquecimento e resfriamento quando comparada com o solo. Quando a energia solar é absorvida pelo solo, somente uma fina camada superior é aquecida. Já em um meio aquoso, a maior mobilidade das moléculas permite que esta energia seja dispersa por movimentos de troca de massa com camadas muito mais profundas, sem contar que parte das calorias ainda é aproveitada para realizar a mudança de estado físico da água, precisando de aproximadamente 2500 joules para evaporar 1 grama de água, sem, no entanto, elevar sua temperatura (CAVALCANTI *et al*, 2009). Esta energia para alterar o estado físico é chamada de calor latente. A quantidade de energia para elevar a

sua temperatura em um grau Celsius é chamado calor específico da água, que, no caso da água, é elevado (variando em torno de 4,2 joules por grama na faixa do estado líquido), e atua como outro fator regulatório da temperatura. Esta propriedade leva a uma necessidade energética muito superior das massas hídricas para exibir a mesma variação térmica do solo, de modo que áreas costeiras sofrem uma menor amplitude térmica do que o interior do continente.

A altitude atua de modo semelhante aos efeitos da latitude. Duas localidades que apresentem condições ambientais semelhantes (latitude, longitude, maritimidade, ventos, cobertura vegetal), mas apresentam uma grande diferença entre suas altitudes, devem apresentar curvas anuais de temperatura de formatos similares, somente desviando um valor aproximadamente constante na ordenada (temperatura) em cada ponto (VAREJÃO-SILVA, 2006). Esta queda constante na temperatura média apresenta uma relação aproximada de $-6,5^{\circ}\text{C}$ a cada 1000 metros acima do nível do mar, dentro da troposfera, sendo que em outros estratos da atmosfera existem outros fatores regulatórios da temperatura. (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Algo que se pode observar nas plantas relacionado a esses fatores é a existência de ciclos diários, como abertura de flores pela manhã e fechamento a noite, a rotação das folhas para posições diferentes de dia e de noite, entre outros, e são chamados por RAVEN *et al.* (2001) de ritmos circadianos. Essas alterações são sincronizadas a partir de variações de claro-escuro percebidas pelos fitocromos e ciclos de temperatura, determinados pelo ambiente externo.

Não obstante, existem ciclos maiores que acompanham as alterações das estações do ano, sincronizados pela duração do comprimento do dia, ou fotoperiodismo. Estes ciclos determinam a floração das espécies baseados em períodos com dias com menos ou mais horas de luz, podendo um único episódio de luz mais elevado desencadear este evento (demonstrando uma elevada sensibilidade), e ainda a temperatura pode influenciar na quantidade de tempo necessário. Como exemplo, RAVEN *et al.* (2001) relata o comportamento do meimendo, que a $22,5^{\circ}\text{C}$ floresce quando exposto a 10 horas e 20 minutos de luz, mas não com 10 horas exatas, ou ainda que a $28,5^{\circ}\text{C}$ requer 11,5 horas de luz, mas a $15,5^{\circ}\text{C}$ somente 8,5 horas. Também estão relacionados a variação da temperatura em conjunto com a duração do dia os processos de aclimação e resistência ao frio, os quais induzem a dormência nas gemas das plantas, impedindo o seu crescimento durante o inverno, evitando assim condições adversas.

Ainda o autor explica que a temperatura atua nas plantas aumentando ou diminuindo seu metabolismo celular, como de qualquer ser vivo, mas sua variação pode acarretar em sinais ainda mais relevantes para sua fisionomia. A combinação de períodos de frio e calor serve como fator de quebra de dormência de diversas sementes, indicando a época adequada para a germinação. Temperaturas elevadas também causam a diminuição dos processos fisiológicos. Na faixa de temperatura entre 10° a 25°C, a mudança de temperatura não apresenta efeitos sensíveis nos estômatos, mas quando se elevam acima de 30°-35° podem ser responsáveis pelo fechamento estomatal, pois induzem ao aumento de CO₂ nas folhas. Deste modo, plantas em climas quentes evitam a transpiração excessiva, e por volta de meio-dia este evento ocorre, aproximadamente quando a perda de água foliar excede a sua absorção. Não obstante, a cada aumento de 10°C a taxa de evaporação da água dobra de velocidade, e como a passagem do estado líquido para o vapor sequestra calor da superfície foliar, esta última não apresenta um incremento de temperatura tão rápido como o ar.

Circulação Atmosférica

Como pudemos verificar na parte sobre temperatura, ocorre um aquecimento diferenciado entre lugares distintos, dependendo de vários fatores, como latitude, presença de água, cobertura de nuvens, entre outros. A atmosfera como um todo é considerada como um sistema fechado para matéria, enquanto que, energeticamente, o sol atua como uma fonte externa. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, diferenças entre sistemas em contato tendem a igualar-se, incluindo as diferenças de pressão, densidade e, particularmente, as diferenças de temperatura. Em vista disso, a atmosfera constantemente busca alcançar uma temperatura uniforme, mesmo recebendo energia térmica desigualmente, sendo notável que as regiões tropicais têm excesso de energia, ao passo que as regiões polares têm déficit de energia

Esta colcha de retalhos térmico/energética cria variações horizontais na pressão do ar sobre todo o planeta, apresentando efeitos sensíveis, principalmente sobre os fluidos, que se encarregam de redistribuir o calor das regiões com excesso por meio dos movimentos horizontais e de movimentos verticais. Os movimentos do ar, que definem a circulação atmosférica, são chamados de ventos, ao passo que os movimentos da água nos oceanos definem as correntes marítimas. Cavalcanti *et al.* (2009) explica que o excesso de energia nas regiões equatoriais faz o ar aquecido se elevar, o qual desce nos

subtropicais, a aproximadamente 30° de latitude norte e sul, por meio de uma célula de circulação, denominada célula de Hadley. Nessas regiões onde o ar desce, definem-se os sistemas de alta pressão subtropical. Este padrão de circulação é repetido em outras latitudes, sendo nas médias chamada de Célula de Ferrell, e nos polos de Célula Polar. (CAVALCANTI *et al*, 2009).

Para iniciar um movimento de uma massa de ar, acelerar, desacelerar ou até mudar sua direção é necessária uma força externa, e esta mudança de estado respeita a fórmula $F=ma$, as duas principais leis de movimento de Newton. No caso das massas de ar, existem diversas forças atuando que podem alterar o seu deslocamento horizontal, sendo que as principais são:

- O Gradiente de Pressão
- Força de Coriolis
- Força Centrípeta
- Fricção

Quando existe uma variação horizontal de temperatura, existe uma correspondente variação na pressão, estabelecendo uma força, chamada de gradiente de pressão. Esta variação em cada local de pressão interfere nas características físico-químicas do ar, incluindo sua massa específica e a quantidade de vapor de água presente. Tais variações causam o encolhimento ou expansão de massas de ar, e o acomodamento das mesmas causam movimentos tanto laterais como horizontais (gradiente de densidade).

Mas não somente as variações de temperatura regem os ventos. A força de Coriolis, decorrente da rotação da Terra, inclina o caminho das massas de ar para a direita no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul. Não obstante, ainda existe o atrito com a superfície, o que causa uma diminuição da velocidade da movimentação de acordo com as feições geográficas por cada local que o ar se desloca. Por último, pode-se ainda atribuir mais uma influência nesta movimentação do ar, a força centrípeta, que é uma resultante do balanço da força de Coriolis com o gradiente de pressão, que acaba por forçar o movimento de ar no hemisfério sul no sentido horário em torno de centros de baixa pressão, e anti-horário em torno de lugares de alta pressão. A resultante da interação entre essas forças é que rege os principais deslocamentos horizontais de ar no planeta. (AHRENS, 2012). O anemógrafo universal é o aparelho que consegue registrar a direção,

a velocidade instantânea e média do vento, enquanto que a pressão é aferida pelo barômetro convencional. (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A circulação atmosférica e os ventos afetam a vegetação de diferentes formas. Esta movimentação das massas de ar resulta na redistribuição da umidade no globo, principalmente quando encontra um obstáculo físico ou térmico, e estão relacionados aos padrões de chuva que reestabelecem a umidade dos solos, um dos principais condicionantes da cobertura vegetal.

Não obstante, estes fatores também interferem na taxa de evapotranspiração das plantas. ALLEN (1998) explica que o processo de remoção da umidade está diretamente relacionado aos ventos. O ar próximo a uma superfície que apresenta água em processo de vaporização gradativamente se torna mais saturado com vapor de água, a qual vai diminuir o processo de evapotranspiração, a não ser que ocorra uma turbulência atmosférica local, ou seja, que o vento troque o ar saturado por um mais seco. Este efeito é mais pronunciado em ambientes com clima quente e seco, pois o ar presente tem um elevado potencial de armazenar água, e o vento remove a zona mais saturada em torno das folhas. Em áreas com maior umidade, e o vento só troca o ar saturado por outro ligeiramente menos saturado, de modo que naturalmente a evapotranspiração apresenta taxas inferiores. A Figura 9 ilustra este comportamento.

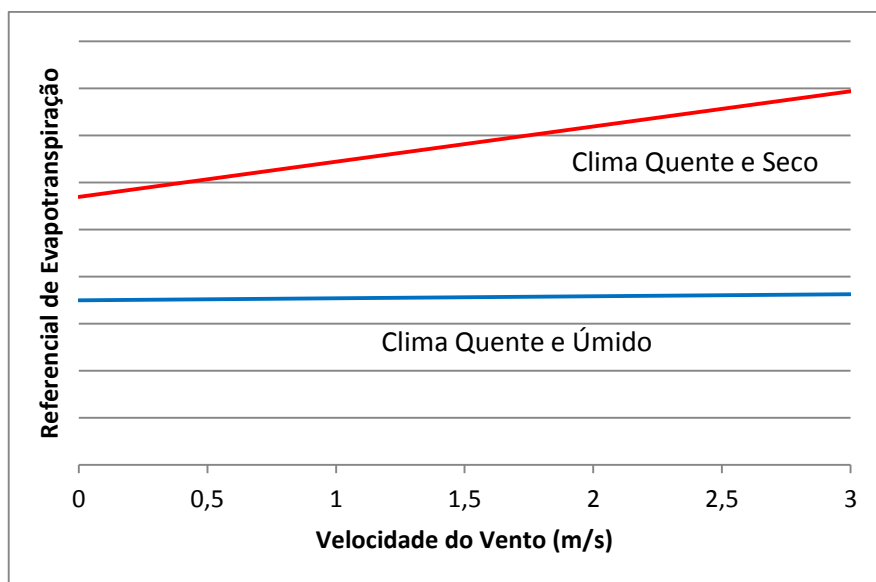


Figura 9: Efeito da velocidade do vento na evapotranspiração em climas quentes e secos comparados a quentes e úmidos. Adaptado de ALLEN, 1998

A interferência da vegetação no clima

Como afirmado anteriormente, a vegetação também influencia no clima. Florestas em seu clímax regulam a temperatura dos rios, e quando agrupadas em composições de grande porte (como a Floresta Amazônica) apresentam grande capacidade evapotranspirativa, de modo que aumentam a umidade atmosférica e, conseqüentemente, as precipitações e vazões locais, além de favorecer menores amplitudes térmicas. ZHANG *et al.* (1999) também relata que a vegetação apresenta um modelo que correlaciona a evapotranspiração anual média, evapotranspiração potencial e capacidade de água disponível para as plantas, exibindo resultados que indicam uma relação positiva entre evapotranspiração média de longo prazo e a precipitação. Por outro lado, quanto maior a capacidade evapotranspirativa numa bacia, menor será a sua vazão anual da mesma, pois a umidade acaba sendo deslocada com as chuvas. (CALDER, 1998). Esta alegação não é válida para todos os lugares, e uma experiência próxima descreve o contrário.

LIMA (2007) relata a história da Floresta da Tijuca, e as secas causadas pela devastação da vegetação nativa. A vegetação de porte arbóreo influencia na recarga dos mananciais, e como GUERRA (2011) enuncia, os solos cobertos por florestas desenvolvidas apresentam as maiores capacidades de infiltração, processo responsável por grande parte da recarga dos aquíferos no subsolo. A área ocupada pela floresta em questão foi quase totalmente ocupada por plantio do café, plantados sem qualquer preocupação com a manutenção da fertilidade do solo, os quais acabaram por acelerar o processo de esgotamento da terra e o escoamento superficial das chuvas, minimizando a infiltração. Na mesma época notou-se uma severa redução da disponibilidade de água dos mananciais ali presentes, atingindo inclusive o regime de chuvas sobre a Cidade do Rio de Janeiro. A destruição da vegetação em torno dos mananciais da Serra da Carioca foi associada às chuvas menos abundantes e aos grandes déficits no suprimento de água potável que se experimentava na época. A cidade foi atingida por secas severas nos anos de 1824, 1829, 1833 e 1843, entremeadas com algumas estiagens menos graves, sendo que neste último ano o problema periódico da falta d'água atingiu proporções críticas na cidade, instigando o governo a tomar medidas de preservação dos mananciais. Como na região da Floresta da Tijuca se encontravam todas as fontes supridoras de água da cidade, em 1844, o Ministério do Império, que administrava a cidade do Rio de Janeiro, finalmente deu início ao adiado processo de avaliar terras particulares das montanhas

próximas, anunciando entre 1845 e 1848 um programa emergencial de replantio de árvores em terras particulares na Tijuca. As desapropriações só começaram em 1855, com um pequeno número de propriedades estrategicamente localizadas junto aos mananciais e altos cursos dos rios Carioca, Maracanã e Comprido. Em 1861, o major Manuel Archer iniciou o processo de restauração florestal, e no ano de 1873, assina o relatório final estabelecendo o número de 61.852 mudas plantadas em sua gestão. Estima-se que a Floresta da Tijuca foi restabelecida entre 1862 e 1887, com cerca de, 95 mil mudas de plantas, e que a proteção dos mananciais conseguiu regularizar o abastecimento de água da cidade temporariamente, ainda que, com o crescimento da população da cidade, a qual praticamente dobrou em 20 anos (275 mil em 1872 para 522 mil habitantes em 1890), os mananciais do Tinguá passaram a gradativamente fornecer o grosso do abastecimento de água para a cidade.

O estágio de desenvolvimento da vegetação pode alterar a disponibilidade hídrica em determinadas regiões. O consumo de água normalmente é maior na fase de crescimento, quando o metabolismo vegetal é mais vigoroso. Assim, espécies de rápido desenvolvimento, como os eucaliptos, consomem mais água que espécies de crescimento mais lento (ZHANG *et al.*, 1999). No Hemisfério Sul, sobretudo em eucaliptais, observa-se o aumento inicial das vazões anuais dos rios no período entre 1 e 3 anos após o desmatamento, e uma posterior diminuição progressiva que perdura por 15-20 anos com a regeneração da vegetação, sendo que somente depois de 40 a 50 anos, quando as plantas já estão maduras, percebe-se uma recuperação da vazão.

A interceptação da precipitação pela vegetação também pode influenciar nos recursos hídricos de uma região. Entretanto, esta grandeza é difícil de mensurar, por ser uma função do potencial de evaporação, da capacidade de armazenamento de água - fatores dependentes da área ocupada pela copa e das características das folhas - e das características da chuva (intensidade e duração). As árvores interceptam mais que outros tipos de vegetação de menor porte, como gramíneas e grande parte das culturas agrícolas, por possuírem maior rugosidade aerodinâmica e índice de área foliar superior (ZHANG *et al.* 1999). Ainda assim, a interceptação pela vegetação não apresenta um peso elevado no ciclo hidrológico. As florestas tropicais, por exemplo, interceptam em média apenas 13 % da precipitação anual. Por outro lado, a elevada capacidade de infiltração de água nos solos florestais é largamente superada pelo maior potencial evapotranspirativo, que atinge 1.415 mm em média, no caso de florestas tropicais sem déficit hídrico, ainda

apontando que a vegetação apresenta um papel fundamental no ciclo da água e consequente manutenção das precipitações (BRUIJNZEEL, 1990).

3.1.2. Geomorfologia

A geomorfologia é uma ciência que estuda as formas de relevo. A litologia da crosta terrestre, diretamente ligada aos eventos tectônicos, exerce grande influência sobre os fatores morfoclimáticos, que por sua vez condicionam a evolução das formas de relevo e da vegetação. Como resulta da combinação de diferentes componentes da natureza, o relevo é um importante recurso para a delimitação das paisagens, ao mesmo tempo em que quase sempre condiciona a forma de uso e ocupação do solo. É uma ciência autônoma, que une a Geografia com a Geologia, gerando um conhecimento específico, uma especialização sobre um objeto bem definido. Estas informações apresentam uma sistematização para classificar suas estruturas, auxiliando a mente humana a compreender os seus processos geradores pretéritos e atuais (CASSETI, 2005; GUERRA, 2011). CASSETI (2005) ainda complementa que esta análise da superfície da crosta terrestre incorpora o conhecimento do jogo das forças existentes, discriminadas pelas atividades tectogenéticas (endógenas) e mecanismos morfoclimáticos (exógenos), responsáveis pelas formas resultantes.

Os processos endógenos são para GUERRA (2011) todas as atividades que envolvem movimentos ou variações químicas (temperatura – alterações na estrutura cristalina) e físicas (soerguimento e solapamento de massas, variação da pressão) das rochas, no interior da Terra. Tais alterações são induzidas pela energia térmica do interior do planeta, sendo esta gerada pelo decaimento radioativo de isótopos instáveis, reações nucleares, que propiciam a formação dos grandes relevos, como as cordilheiras continentais e oceânicas, assim como seus antagônicos, as fossas. Outros eventos que podemos citar como decorrentes deste excesso de energia físico-química são: o magmatismo, produtor de plútons¹¹; vulcões; terremotos; dobramentos; serras; fraturas; movimento das placas tectônicas; entre outros. Para ROSS (1992) também existem os processos imperceptíveis, que são a resistência ou propensão ao desgaste que a litologia e o arranjo estrutural oferecem aos processos exógenos.

¹¹ Plútons ígneos são grandes massas de rocha magmática cristalizada em profundidade, na crosta, que, quando afloram na superfície, constituem os batólitos (>100km²) ou stocks (<100km²). Diques, lacólitos e facólitos são suas formas geométricas. GUERRA, 2011.

Os processos exógenos referem-se à interação de forças da natureza, envolvendo a atmosfera, hidrosfera e a superfície terrestre, a energia solar, gravidade e também a ação de seres vivos, os quais atuam como modeladores do relevo. Seus principais agentes, que em conjunto são responsáveis pela formação dos solos e bacias sedimentares, são identificados por:

- Intemperismo, que causa o desgaste das superfícies rochosas e origina os sedimentos, causado quimicamente, fisicamente ou biologicamente;
- Erosão, que causa a desagregação do solo e seu transporte, feita pela água da chuva, pelos rios, pelo mar, pelo vento, pela ação do gelo, e mais recentemente, pelo homem. Outro termo relacionado é a denudação, do vernáculo geológico, que indica em um sentido amplo a remoção da superfície de uma região por efeito erosivo e o intemperismo.
- Sedimentação, processo no qual se verifica a deposição dos sedimentos em áreas planas, encostas, depósito de *tálus*¹² rampas de colúvio¹³, depressões, foz dos rios e planícies.

Deve-se lembrar de que tanto os fatores endógenos quanto exógenos são mutáveis no tempo, e que as alterações destes no tempo geológico causa mudanças significativas no relevo terrestre, de modo que a análise geomorfológica de uma determinada área implica obrigatoriamente no estudo das formas e das sucessivas deposições de materiais que ali ocorreram, de modo a se conseguir identificar os diferentes processos morfogenéticos a qual foi submetida.

¹² Material incoerente e heterogêneo que se acumula nas encostas e em seus pés, provenientes de material intemperizado e deslocado pela ação da gravidade. CPRM 2013.

¹³ Conjunto de sedimentos composto de argila, sílica e grãos de quartzo, geralmente recobrendo grandes rochas ou formações argilosas. CPRM 2013.

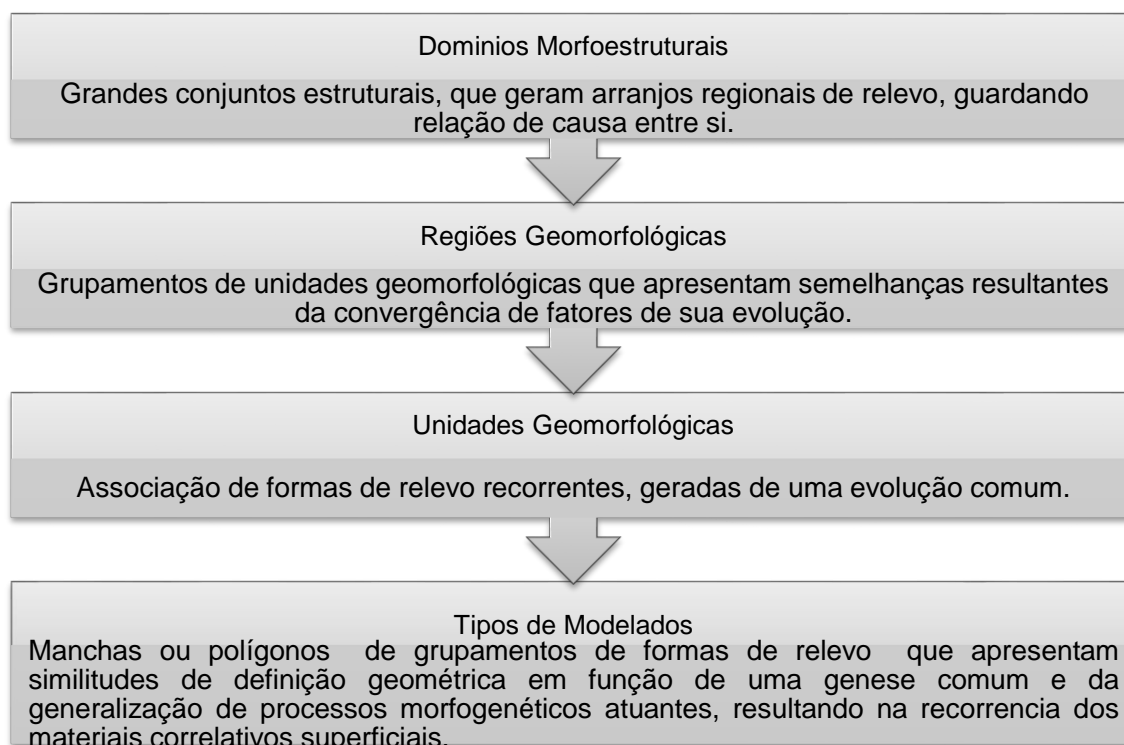


Figura 10: Unidades taxonômicas utilizadas pelo IBGE (2009)

Neste contexto, o presente estudo buscou identificar as metodologias de classificação que tenham sido adotadas pelas entidades nacionais. Dito isto, identificou-se que o IBGE usa a sistemática desenvolvida a partir dos trabalhos do projeto RADAMBRASIL, que evoluíram da proposta de TRICART (1965). Com o progresso do trabalho ao longo dos anos, gerou-se o Manual Técnico de Geomorfologia, que apresenta a estrutura adotada. Segundo o IBGE (2009), ela é baseada no ordenamento dos fatos geomorfológicos de acordo com uma classificação temporal e espacial, sendo os modelados (4º táxon) como unidade básica e seus grupamentos hierarquicamente relacionados, ilustrados pela Figura 10. ROSS (1992) propõe uma classificação semelhante, a qual visa juntar a fundação teórica às técnicas de trabalho, abordando as unidades taxonômicas tempo-espaciais sobre a perspectiva de suas dimensões tridimensionais (idade, gênese e tamanho). Ambas as metodologias consideram parâmetros de natureza estrutural, litológica, pedológica, climática e morfodinâmica, responsáveis pela evolução das formas do relevo, levando em consideração que não é necessariamente o tamanho que classifica os tipos de forma (considerado um avanço sobre a proposta de TRICART, 1965), mas sim o significado morfogenético e as influências esculturais e estruturais no modelado.

Foram propostos 6 níveis (táxons) para representação geomorfológica por Ross (1992), enquanto que o Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (1994 e 2009) apresenta 5 táxons similares. A principal diferença entre estas taxonomias reside na ordem de grandeza, uma vez que o 5^a táxon, voltado a avaliação do relevo, somente pode ser representado com símbolos lineares ou pontos em escalas médias (1:250.000 a 1:50.000), a maior escala usualmente adotada pelo IBGE, enquanto que ROSS (1992) buscou desenhar um modelo para qualquer escala, afirmando que este táxon era viável em grandes escalas (1:25.000 a 1:5000), enquanto que o 6^o pode ser feito por fotos aéreas ou trabalhos de campo, e na época, não era compatível com a resolução das imagens de radar e satélite. CASSETI (2005) ainda afirma a possibilidade de escalas menores de trabalho, como o estudo da micromorfologia de materiais na estrutura superficial, ou ainda considerações sob a ótica da teoria dos fractais, que adota a repetitividade do padrão geométrico nas diversas escalas de grandeza espacial.

Entendendo os conceitos geomorfológicos podemos identificar como as formas de relevo podem interferir no estabelecimento da vegetação em uma dada região. Como o MME (1983) afirma, o tipo de relevo condiciona os fatores do clima à medida que muda a direção dos ventos, orientando sua subida ou descida, resfriamento ou aquecimento, o qual está atrelado à retenção ou perda de umidade, como apresentado na parte sobre circulação atmosférica. A presença de uma barreira física aos ventos e sua consequente ultrapassagem leva a ocorrência da chamada chuva orográfica, algo verificável em diversas áreas montanhosas do mundo, nas quais a face voltada para a direção predominante dos ventos tem uma concentração de fitofisionomias com características tendendo a ombrofilia. RAVEN *et al.* (2001) denomina o ressecamento do lado da vertente seca como “sombra de chuva”.

A temperatura local depende da altitude, e apresenta efeitos sobre a distribuição da vegetação semelhantes à variação da latitude. RAVEN *et al.* (2001) faz uma correspondência aproximada entre os sistemas de coordenada dessas grandezas, onde o aumento de 100 metros na altitude é se aproxima a 1° de latitude, em relação à temperatura média. Isto significa que podemos encontrar estacionalidade causada por seca fisiológica e adaptações morfofisiológicas voltadas a tolerância de neve e frio intenso mesmo em plantas dentro da faixa tropical, contanto que as procuremos em altitudes compatíveis. A Figura 11 ilustra esta relação.

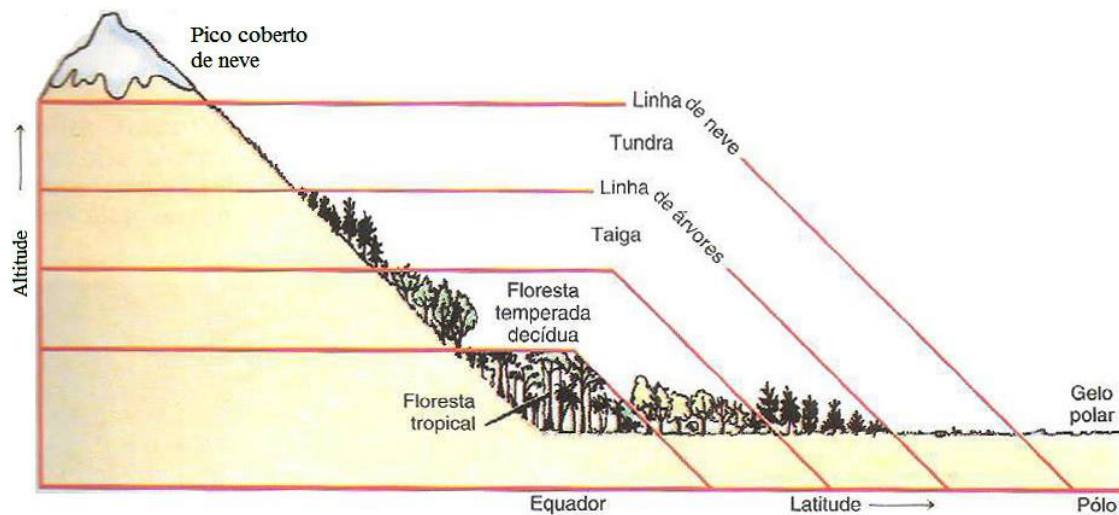


Figura 11: Relação sucessional de dominância vegetal entre a altitude e a latitude. RAVEN et al, 2001. Modificada.

O mesmo autor faz ressalvas, pois esta comparação desses habitats não é perfeita. Maiores altitudes também estão associadas a uma menor pressão atmosférica e consequente menor absorção da luz solar por particulados, assim como o vapor atmosférico se concentra abaixo dos 2000 m, o que causa noites mais frias e uma radiação solar mais intensa. Não obstante, nas altas latitudes ocorre uma maior variação do fotoperíodo durante o ano, com as estações do ano bem marcadas, e a amplitude térmica anual é maior, enquanto que em altitudes altas de regiões equatoriais e tropicais apresentam pouca variação nas horas de dia anualmente e uma variabilidade térmica menor. Deste modo, existem diferentes pressões seletivas nas faixas similares de temperaturas nos domínios alpinos (altas altitudes) e de altas latitudes, acarretando em uma maior diversidade de habitats possíveis.

Em cadeias montanhosas também podem ser identificadas pronunciadas variações de temperaturas entre vertentes. RAVEN *et al.* (2001) cita a situação de locais no hemisfério norte, onde o lado sudoeste das montanhas é mais quente que as do Norte e do Leste, pois estas últimas recebem luz solar pela manhã, quando existe uma maior nebulosidade, e as do Norte não recebem luz solar direta.

CASSETI (2005) relata que diversos trabalhos têm demonstrado estreita relação entre a disposição do relevo e os solos resultantes. Dentre os resultados relevantes, associou-se que enquanto nas áreas planas predominam os latossolos, portadores de alto desenvolvimento físico, nas áreas movimentadas prevalecem solos caracterizados por horizonte B incipiente ou simplesmente Solos Litólicos (Neossolos). O caráter edáfico,

sobretudo nos solos autóctones, pode estar relacionado à estrutura subjacente, a exemplo dos Latossolos Vermelho-Escuros ou Roxos, geralmente associados a rochas básicas ou ultrabásicas, enquanto os Latossolos Vermelho-Amarelos quase sempre se associam às rochas ácidas (menor teor de ferro).

Formas de relevo aliadas à litologia indicam ainda a capacidade local de retenção de água pelo solo, através da maior ou menor capacidade de absorção e pela profundidade do lençol freático. O trabalho do MME (1983) identificou que no relevo dissecado há uma maior incidência de nascentes e uma maior rede de cursos de água sempre perenes, a qual mantém a umidade nos flúvios mesmo em face de longos períodos secos, propiciando uma vegetação mais exuberante.

Outros autores nacionais corroboram as associações entre a vegetação e a geomorfologia. No trabalho de CORRADINI *et al.* (2008), este buscou avaliar o controle que a geomorfologia, especificamente o relevo, exerce sobre a distribuição da vegetação em ilhas do alto curso do rio Paraná. A conclusão apresentou que a ocupação da ilha pela vegetação foi determinada com as características físicas de cada unidade geomorfológica, onde as formas de relevo e os processos geomorfológicos atuantes permitiram prever o comportamento florístico ao longo das transecções, assim como a ausência, distribuição, frequência, permanência e crescimento das espécies de flora.

ARAÚJO *et al.* (2006) buscou correlacionar as estruturas geomorfológicas e vegetacionais do Parque Estadual Morro do Chapéu por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e verificou que de acordo com a localização geomorfológica em que as espécies de planta se encontravam ocorreu uma adaptação da sua estrutura física, influenciando na variação do porte (arbóreo e herbáceo) e na densidade vegetal das espécies.

LACERDA *et al.* (2005) analisou as correlações entre solos, geomorfologia, geologia e vegetação nativa do DF, de modo a detalhar o mapa de solos existente por meio de um modelo, e avaliar as classes de vegetação nativa associadas às diferentes classes de solo via o software ENVI 3.5. Dentre seus resultados, constatou-se que a modelagem geomorfopedológica utilizada apresentou boa representatividade da distribuição de solos, e que a vegetação nativa apresentou correlações identificáveis, como: desenvolvimento de floresta a partir de solos com horizontes B texturais formados a partir de sequências deposicionais argilocarbonatadas e lentes de calcário do Grupo

Canastra, no domínio da superfície geomorfológica; de Cerradão em áreas ocupadas por Latossolos Vermelhos, correlacionados às sequências deposicionais pelíticas do Grupo Paranoá e, secundariamente, Canastra; de Cerrado-Campo a partir de Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolos Quartzarênicos desenvolvidos sobre sequências deposicionais psamíticas do Grupo Paranoá. Tais associações foram fundamentadas no potencial de fertilidade natural e estruturação física dos solos, que condicionam o desenvolvimento de vegetação nativa de portes diferentes.

3.1.3. Solos

A ciência do Solo ou Pedologia, ramo do conhecimento relativamente recente, afirma desde seus primórdios que o solo não é um simples amontoado de materiais não consolidados, em diferentes estádios de alteração, mas sim o resultado de uma complexa interação de inúmeros fatores genéticos: clima, organismos e topografia, que ocorrem em cima de um material de origem por determinado tempo. Ainda assim, o que basicamente define solo é a sua capacidade de desenvolver a vida vegetal.

Os processos litogênicos, ou seja, a formação das rochas pelo resfriamento, alteração e sedimentação de minerais, são as bases do solo. O intemperismo físico-químico degrada e altera essas formações por meio de chuvas, degelo, estresse térmico, vento e corrosão, e com a incorporação da matéria orgânica proveniente da interação com a parte biológica (fungos, bactérias, plantas, protozoários, animais), o solo é criado.

Algo que se deve notar é que o conceito de solo aborda não somente a camada na qual a vida se desenvolve, mas todas as suas partes acima do material de origem que o gerou, suas camadas e horizontes genéticos. A EMBRAPA (2009) define que o solo é uma constituição de partes sólidas, líquidas e gasosas, mescladas tridimensionalmente, formados por materiais minerais e orgânicos. Não obstante, deve-se lembrar de que ele não é homogêneo, e se analisado, são verificáveis segmentações geralmente paralelas, as quais são chamadas de horizontes ou camadas. Estas segmentações são observadas desde a superfície, se distinguindo do material de origem inicial por meio de uma série de transformações: adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria. Cada horizonte apresenta propriedades geradas por processos pedogênicos, conferindo assim distintos conjuntos de características e de inter-relacionamento com outros horizontes componentes do perfil de solo.

As dimensões espaciais que o solo ocupa são definidas por diversos fatores. Seu limite superior é a atmosfera, onde o clima tem sua maior atuação. Para o MME (1981), as condições climáticas são um dos principais fatores de formação do solo, uma vez que influenciam diretamente no tipo e velocidade do intemperismo das rochas e outros materiais geradores, assim como no transporte de sedimentos (ventos, chuva, gelo). Seus limites laterais são os contatos com corpos d'água superficiais, rochas, gelo, áreas com coberturas de materiais detríticos inconsolidados, aterros ou com terrenos sob espelhos d'água permanentes. A profundidade do solo é complicada de ser definida, uma vez que apresenta uma variação gradual entre a superfície até o limite inferior, as rochas duras ou materiais saprolíticos, as quais não apresentam desenvolvimento de atividades biológicas. Esta diferença pode, no entanto, ser percebida quimicamente quando identificado um nítido decréscimo de constituintes orgânicos, de alteração e decomposição dos constituintes minerais, apresentando características muito mais próximas ao substrato rochoso ou ao material de origem não consolidado. (EMBRAPA, 2009).

Para a identificação do tipo de solo que uma determinada área apresenta diversas características devem ser observadas, incluindo os tamanhos de seus horizontes. A EMBRAPA (2009) desenvolveu o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, incluindo diversos atributos diagnósticos e atributos auxiliares, como a atividade da fração argila, a saturação por bases, o caráter alumínico, a cerosidade, entre outros, os quais, por si só, não diferenciam classes de solos, mas são características importantes que auxiliam na definição das mesmas.

Além disso, alguns outros aspectos devem ser observados, como a existência de atividade biológica, as classes de reação do solo, sua profundidade, a presença de raízes e sua porosidade. Esta última merece uma explicação mais aprofundada, pois em conjunto com a sua textura acabam por influenciar diretamente a vida vegetal.

As partículas que formam o solo apresentam uma variada gama de tamanho, não necessariamente dependendo de sua composição química. Como apresentam diversos formatos e agregações, essas partículas permitem a criação de espaços vazios no solo, que são preenchidos por água e ar em diferentes proporções. A média do volume de poros é em torno de 50% do volume de solo (RAVEN *et al*, 2001). Quando a água ocupa aproximadamente 100% dos poros, é dito que este solo está saturado. A Porosidade pode ser calculada via a fórmula:

Equação 1: Porosidade

$$Pt = \frac{Vt - Vs}{Vt}$$

Sendo:

- Pt = Porosidade Total
- Vt = Volume total da amostra do solo
- Vs = Volume total dos sólidos da amostra

Este volume depende também da história do solo, de seus componentes e da atividade biológica existente. É necessário a existência de ar para manutenção da vida biológica, incluindo para respiração das raízes, assim como uma quantidade de água para o funcionamento vegetal, de modo que a porosidade influencia na produtividade vegetal. A classificação do diâmetro das partículas, segundo LEPSCH (2002) apresenta as seguintes frações:

- Calhaus ou pedras – 200 a 20 mm
- Cascalho – 20 a 2 mm
- Areia – 2 a 0,05 (ainda podendo ser subdividida em grossa e fina)
- Silte – 0,05 a 0,002 mm
- Argila – menor que 0,002 mm

A proporção das partículas de cada tamanho que o compõem acaba por lhe atribuir texturas diferentes, classificadas com base em um triângulo textural (*ver* IBGE, 2007). As partículas grosseiras apresentam características melhores para a drenagem, enquanto que as finas retêm mais nutrientes e água, sendo os solos de textura média os mais indicados para a agricultura (RAVEN *et al*, 2001).

Como vimos anteriormente, a precipitação é a via fornecedora de água para o solo. A água que infiltra no solo após um episódio de chuva depende principalmente de sua intensidade, da cobertura vegetal, declividade do terreno e suas características físicas, como a porosidade. Esta última também influencia diretamente na quantidade de água que o solo consegue manter nas suas camadas superando a força da gravidade. Quando grandes e numerosos, a velocidade de escoamento é maior, sobrando pouca umidade nos horizontes A e B que poderia ser utilizada pelas plantas. Solos argilosos apresentam poros

pequenos, e por efeito da capilaridade¹⁴ tendem a manter mais umidade, assim como suas partículas apresentam uma maior atração eletrostática¹⁵ pela água, chegando a valores seis vezes superiores do que solos arenosos. A quantidade (ou porcentagem) máxima de água que um solo pode segurar contra a ação da gravidade é denominada Capacidade de Campo (CC). (RAVEN *et al*, 2001).

A conjunção das características de cada solo (condutividade hidráulica, gradientes hidráulicos, relação entre a umidade e a tensão de água no solo, entre outros), das espécies de plantas que o recobrem (densidade, taxa de crescimento, profundidade e fisiologia das raízes; área foliar) e da atmosfera (vento, déficit de saturação, radiação disponível, entre outros) determina a Capacidade de Água Disponível (CAD), atrelada à habilidade do sistema radicular da vegetação de utilizar a água armazenada no solo, considerando a demanda evaporativa do dossel nas condições meteorológicas locais. Em estudos abrangendo espécies, esta CAD ainda varia segundo o estágio de desenvolvimento da planta, inserindo mais fatores neste cálculo. Mesmo assim, a CAD (resultante da fórmula CC – Ponto de Murcha Permanente) acaba sendo amplamente utilizada, uma vez que pode ser determinada de maneira relativamente simples nos trabalhos pedológicos.

Em relação às plantas, os solos representam três funções determinantes para a vida vegetal: o suporte, a absorção de inúmeros elementos essenciais e o fornecimento de água. Não obstante, é nele que se encontram bactérias e fungos responsáveis pela decomposição de restos orgânicos, aqueles que mantêm a ciclagem de nutrientes funcionando, assim como o mutualismo das raízes com algumas espécies que são responsáveis pela nitrificação do nitrogênio (N₂) atmosférico em compostos que possam ser mais facilmente metabolizados. A compreensão da origem dos solos, suas propriedades químicas e físicas e como estes influenciam no desenvolvimento vegetal é fundamental para a produção agrícola humana.

¹⁴ A tensão superficial resulta da existência de forças de atração de curto alcance entre as moléculas do líquido chamadas forças moleculares de London-Van der Waals de coesão, forças moleculares de coesão ou simplesmente forças de coesão, e aquelas moléculas que se encontram na interface curva líquido-meio externo apresentam uma resultante não-nula, relacionadas à adesão a superfície ou de coesão do líquido. LIBARDI, 2013.

¹⁵ A superfície dos minerais de argila é coberta com átomos de oxigênio e grupos oxidrilas negativamente carregados devido à substituição isomorfa de cátions, os quais também atraem cátions livres. Desse modo, cria-se ao redor das partículas um campo elétrico, e como as moléculas da água apresentam uma natureza dipolar, elas experimentam uma força na direção da superfície da partícula, somadas às forças de London-Van der Waals já existentes. LIBARDI, 2013.

Como RAVEN *et al.* (2001) relata, a nutrição vegetal é simples, envolvendo a distribuição dos materiais por toda a extensão da planta, e posteriormente sintetizando os próprios aminoácidos e vitaminas a partir dos compostos inorgânicos brutos. Apesar de se encontrar mais de 60 elementos químicos na vegetação, somente 17 foram considerados essenciais, ou seja, na sua falta as plantas apresentam defeitos de formação, alterações metabólicas e problemas de reprodução, sendo estes o Carbono, o Hidrogênio, o Oxigênio, o Potássio, o Cálcio, o Magnésio, o Nitrogênio, o Fósforo, o Enxofre, o Ferro, o Manganês, o Zinco, o Cobre, o Cloro, o Boro, o Molibdênio e por diversos autores, o Níquel. Eles são elencados em micro e macronutrientes, estes últimos àqueles utilizados em ao menos 1g/kg de matéria seca. Basicamente, fora o Carbono, todos são provenientes direta ou indiretamente do solo, absorvidos pelas raízes. Mas efetivamente, até que profundidade atingem as raízes na busca de água e nutrientes?

CANADELL *et al.* (1996) compilou um trabalho sobre a profundidade máxima média de raízes por bioma. Seus resultados encontraram os seguintes valores: Floresta Boreal $2,0 \pm 0,3$ m; Culturas $9,5 \pm 2,4$ m; Desertos $5,2 \pm 0,8$ m; Arbustos e Florestas Esclerófilos $3,9 \pm 0,4$ m; Florestas Temperadas de Coníferas $2,9 \pm 0,2$ m; Floresta Tropical Decídua $7,3 \pm 2,8$ m; Floresta Tropical Sempreverde $15,0 \pm 5,4$ m; Campos e Savanas Tropicais $7,3 \pm 2,8$ m; Tundra $0,5 \pm 0,1$ m. Quando agrupados em tipos vegetais funcionais, os valores mundiais foram os seguintes: Árvores $7,0 \pm 1,2$ m; Arbustos $5,1 \pm 0,8$ m; e Plantas Herbáceas $2,6 \pm 0,1$ m. Não obstante, os casos extremos foram mencionados, com algumas espécies de tundra alcançando somente 0,3m, enquanto que a espécie *Boscia albitrunca* consegue atingir profundidades de 68m.

JACKSON *et al.* (1996) realizou uma extensa revisão sobre a profundidade média que as raízes penetram nos solos nos principais biomas terrestres. Estes autores ressaltam que a literatura consultada atribui profundidades de solo arbitrárias em diversos cálculos que envolvam solo e vegetação. Este trabalho buscou contribuir com uma base de informações que auxiliassem outras pesquisas que analisassem a influência das raízes nos fluxos entre os solos, as plantas e a atmosfera, principalmente nas que abordam a modelagem de biomas, processos de balanços hídricos com vegetação e ciclagem de nutrientes. Também indicaram que esses dados podem ser utilizados para basear Modelos de Circulação Global (MCG) ou de Mudanças Climáticas, os quais quantificam a relação entre clima e vegetação e permitem sua flutuação geográfica e se afetam mutuamente. Como exemplo de estudos potenciais, ponderam como a distribuição de carbono no solo

e a circulação de água seriam afetadas com a alteração de áreas florestadas para pastagens, ou campos para vegetação arbustiva. Dentro deste panorama, e após analisarem 250 estudos sobre raízes nos 11 biomas globais considerados, consolidaram a Tabela 2 e a Tabela 3, que descrevem a profundidade média da biomassa das raízes por bioma e por grupo funcional vegetal, assim como sua densidade de biomassa e proporção raiz/parte aérea.

Eles utilizaram um modelo de distribuição vertical de raízes baseados na equação assintótica $Y = 1 - \beta^d$, onde d é a profundidade, Y a fração acumulada das raízes desde superfície até a profundidade d . β é o índice ou coeficiente profundidade, e seus valores elevados (próximos de 0,98) indicam uma proporção maior de raízes profundas, enquanto que baixos (próximos a 0,92) indicam uma maior concentração radicular próxima a superfície.

Tabela 2: Quantidade da biomassa de raízes para diferentes profundidades de solo, densidade de biomassa e proporção raiz/parte aérea, discriminados por bioma. Retirada de JACKSON *et al.*, 1996. Modificada.

Bioma	β	% das raízes a profundidade de 10 cm	% das raízes a profundidade de 30 cm	Densidade de Biomassa das raízes (Kg/m ²)	Razão raiz/parte aérea
Floresta Boreal	0,943	xx	83%	2,90	0,32
Culturas	0,961	xx	70%	0,15	0,10
Deserto (Frio/Quente)	0,975	10%	53%	1,2/0,4	4,5/0,70
Arbustos Esclerófilos	0,964	xx	67%	4,80	1,20
Floresta Temperada de Coníferas	0,976	xx	52%	4,40	0,18
Floresta Temperada Decídua	0,966	xx	65%	4,20	0,23
Campos Temperados	0,943	xx	83%	1,40	3,70
Floresta Tropical Decídua	0,961	xx	70%	4,10	0,34
Floresta Tropical Sempreverde	0,962	xx	69%	4,90	0,19
Campos Savanísticos Tropicais	0,972	xx	57%	1,40	0,70
Tundra	0,914	60%	93%	1,20	6,60

Tabela 3: Percentual da biomassa das raízes para diferentes profundidades, separadas por grupos funcionais vegetais. Dados provenientes de JACKSON *et al.*, 1996.

Grupos funcionais vegetais	β	% das raízes a prof. de 10 cm	% das raízes a prof. de 20 cm	% das raízes a prof. de 30 cm	% das raízes a prof. de 40 cm	% das raízes a prof. de 50 cm
Gramas	0,952	44%	xx	75%	xx	xx
Arbustos	0,978	21%	xx	47%	xx	xx
Florestas	0,97	26%	xx	60%	xx	78%
Plantas lenhosas	0,975	xx	40%	xx	xx	xx
Média Global (exceto Tundra)	0,966	30%	50%	xx	75%	xx

Estudos específicos sobre a profundidade da biomassa radicular fina no bioma Mata atlântica também foram encontrados. GARAY *et al.* (2008) estudou a distribuição das raízes finas em até 12 cm de profundidade e seu relacionamento com os impactos de trilhas em fragmentos de Mata Atlântica. Seus resultados indicaram que as raízes finas dentro deste intervalo de profundidade estão distribuídas em um gradiente progressivo na direção do subsolo, sendo que na camada holorgânica, formada por restos foliares e matéria orgânica amorfa acima do solo, e no horizonte hemiorgânico de 2 cm de profundidade, encerram de 20 a 40% das mesmas, enquanto que 60-80% no resto da profundidade de corte (12 cm). Em suas considerações, os autores ressaltam a escassa informação sobre as raízes de florestas tropicais, tanto finas como grossas, assim como a importância desta biomassa no ciclo do carbono. DINIZ (2010) analisou a formação de raízes finas em estágios iniciais, médio e avançado de Florestas Secundárias no município de Pinheiral, RJ. Seus resultados indicaram que a formação das raízes finas é em geral superior nos primeiros 10 cm, principalmente na época seca. Ainda assim, na profundidade de 20-30 cm existe uma quantidade de raízes finas próxima a 50% da profundidade inicial. Nota-se que não foram abordadas as raízes grossas nos estudos citados, as quais devem atingir profundidades maiores.

Esta atividade radicular nos horizontes pedológicos também surte efeitos nas características físico-químicas do substrato. Solos sob florestas normalmente apresentam uma porosidade significativa, especialmente a macroporosidade, proporcionada por raízes mortas e cavidades de animais que se abrigam entre suas raízes. Estes facilitam a infiltração e a recarga da água, de modo que a capacidade de infiltração normalmente é muito mais expressiva nestas áreas do que em pastagens e culturas agrícolas. A capacidade de infiltração é proporcional a quanto o solo está seco, devido à ação das forças capilares, e diminui progressivamente com o umedecimento. Solos sob floresta mostram-se em média menos umedecidos em face do maior potencial de transpiração das árvores de grande porte. Consequentemente, a taxa média de infiltração tende a ser maior nas florestas, pelo efeito combinado de maior permeabilidade e menor umidade antecedente (BEST, *et al.* 2003).

RAVEN *et al.* (2001) também alega que plantas conseguem redistribuir a água no solo, pois suas raízes absorvem água de maiores profundidades, e quando a parte superior do solo se encontra desidratada, o fenômeno da Ascensão Hídrica lhe transfere parte da umidade das raízes mais superficiais, guiados pelo gradiente de potencial hídrico. Apesar

de passivo, este fenômeno melhora a condição da planta e das suas vizinhas, principalmente nas épocas de pouca precipitação, e os valores na literatura indicam transferência de 150 a 230 litros por noite para um bordo de 12 m.

GUERRA (2011) ressalta o papel da cobertura vegetal na estabilização e manutenção de solos. Em áreas com elevada densidade de cobertura, o *runnoff* superficial e a erosão são baixas, principalmente na presença de serapilheira, a qual amortece o impacto das gotas de chuva. A cargo de comparação, encostas desmatadas apresentavam taxas de infiltração entre 60 e 174 mm/h, enquanto que as vegetadas, para o mesmo tipo de solo, apresentavam valores entre 138 e 894 mm/h. Não obstante, a produção de matéria orgânica atua positivamente na agregação das partículas do solo, aumentando sua estabilidade, e os movimentos de massa pouco profundos também são mais raros sob florestas bem formadas, devido à ancoragem exercida pela estrutura tridimensional das raízes (BRUIJNZEEL, 1990).

As plantas também atuam na contenção do volume do escoamento superficial, controlando a erosão e, conseqüentemente, a produção de carga sólida nos rios. A concentração de elementos químicos dissolvidos nas águas dos rios de bacias totalmente florestadas é normalmente baixa, especialmente na fase inicial de sucessão vegetal, quando a perda de elementos químicos por lixiviação é mínima, devido à grande adsorção dos mesmos pelas raízes. VITAL *et al.* (1999) observaram um ligeiro aumento da turbidez e condutividade (pequeno aumento nos nitratos, potássio, cálcio, magnésio e ferro) da água de rio até um ano após o corte de uma plantação de eucaliptos. Porém, com o replantio ou regeneração, a concentração química tende a cair novamente. Outro exemplo de filtragem química de nutrientes por plantas é feito pelas matas ciliares, altamente eficientes na desnitrificação de águas dos fluxos subterrâneos e subsuperficiais que descem encostas abaixo ou margeando os recursos hídricos de regiões altamente degradadas. Em conjunto com as macrófitas aquáticas, elas realizam uma função ecossistêmica de depuração fundamental (ANGIER *et al.*, 2005).

3.2. Técnicas de sensoriamento remoto e SIG para análises edafoclimáticas

O Sensoriamento Remoto é uma técnica que tem por objetivo estudar objetos sem toca-los. Como esta definição é muito abrangente, JENSEN (2005) ressalta que ela acaba incluindo outras tecnologias que fogem do escopo idealizado, como aparelhos de raios-

X, microscopia eletrônica ou os telescópios dos observatórios terrestres. Deste modo, com algumas restrições, podemos delimitar sua aplicação ao estudo de objetos ou regiões na superfície da Terra por meio de câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares ou matriciais localizados em plataformas em satélites na atmosfera, aviões, helicópteros ou outros Veículos Aéreos Não-Tripulados (UAVs), adquiridas por meio visual ou processamento digital de imagens. Os objetos podem ser a vegetação, culturas agrícolas, solos, formações rochosas, corpos de água, além de outros, são, em seu conjunto, genericamente denominados de alvos. Estas informações de interesse são obtidas basicamente através do estudo da interação da radiação eletromagnética emitida por fontes naturais (Sol) ou artificiais (Radar) com estes alvos, os quais absorvem, transmitem, refletem e emitem seletivamente esta radiação, de modo que é através destas características que se pode discriminar espectralmente alvos distintos, cada um com a sua assinatura espectral única (quando os sensores apresentam sensibilidade o suficiente).

Por sua vez, os dados gerados por sistemas de sensoriamento remoto, ou ainda qualquer outro tipo de mapeamento, como os trabalhos de campo tradicionais, sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Segundo CÂMARA (2001), até recentemente, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, o que restringia análises que combinassem diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento, processo que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (GIS), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Não obstante, a incorporação do Processamento Digital de Imagens na análise ambiental representa atualmente a maneira mais eficiente e completa de executar pesquisas e levantamentos temáticos nas geociências, fornecendo novos meios de investigação para situações até então difíceis, quando não impossíveis, de serem testadas. Como exemplo da área de geomorfologia aplicada, essa tecnologia quando é associada às

análises estratigráficas com a utilização de imagens tridimensionais das feições e dos depósitos, podem subsidiar os estudos de evolução integrada das vertentes e dos sistemas de drenagem durante o Quaternário (IBGE, 2009).

Quanto a escala, SANTOS (2004) afirma que decidir corretamente o nível de detalhe é algo difícil em um mapeamento, pois ela dita o quanto se pode extrapolar sem perder a representação da heterogeneidade dos sistemas. Deve-se julgar o quanto deve ser detalhado para não perder informação, e o quão genérico para não desperdiçar trabalho com um preciosismo que foge ao objetivo do mapeamento.

Esta mesma autora comenta que como um mapeamento de vegetação natural busca mostrar a distribuição e variabilidade espacial dos diferentes tipos fitofisionômicos, e quando esta é a informação básica para o diagnóstico do meio e realizar proposições de manejo de recursos vegetais deve-se usar escalas maiores que 1:100.000; 1:25.000 é a definição que reflete melhor a interação entre a vegetação e as formas de relevo, mas somente em escalas maiores que poderá se notar mudanças estruturais decorrentes de ação antrópica, mudanças de nível do lençol freático ou variações pedológicas. A Tabela 3 define a abrangências gerais das macro, meso e microescalas. SANTOS (2004) também ressalta que a mudança de escala pode incorrer na perda ou ganho de classes mapeadas decorrente da alteração da sensibilidade do método de se perceber ou não agrupamentos de características semelhantes quando se varia o detalhe da informação. É recomendada a combinação de dados apresentados na mesma escala, apesar de nem sempre isto ser trivial.

Tabela 3: Relação entre nível da escala e tipos de dados. Modificada de SANTOS (2004).

Nível da Escala	Amplitude da Escala	Tipos de dados
Macroescala	1:3.000.000 a 1:1.000.000	Domínios Climáticos e Biomas
	1:1.000.000 a 1:500.000	Relevo, Geologia, Geomorfologia, Associações de Formações Vegetacionais
	1:500.000 a 1:250.000	Modelo de Unidade Geomorfológica, Solo e Vegetação
Mesoescala	1:250.000 a 1:100.000	
Microescala	1:50.000 a 1:25.000	Homogeneidade Geológica e de Associação Solo/Vegetação
	1:25.000 a 1:10.000	
	Maior que 1:10.000	Planos Diretores

Para ilustrar esta problemática podemos citar o mapa da lei da Mata Atlântica (IBGE, 2012b), o qual, em sua nota explicativa, informa que a escala adotada (1:5.000.000) apresenta um nível de agregação de informação que levou a incorporação

de pequenas manchas de uma determinada tipologia pela tipologia dominante ao seu redor, o que não caracteriza sua inexistência. Por tal motivo, o SOSMA (2014), em seu Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, considera algumas alterações na vegetação mesmo que se encontrem fora do limite exato da lei, uma vez que usa imagens de satélite de 1:50.000 e busca minimizar perdas decorrentes do deslocamento ou generalização advindas do mapa do IBGE.

Técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas na estimativa de parâmetros hidrológicos e de suas influências na cobertura vegetal de bacias hidrográficas. O uso de imagens orbitais caracteriza-se como uma opção a ser explorada, dado o seu caráter multiespectral, que possibilita uma análise aprofundada de componentes agrometeorológicos, como o albedo, índices de vegetação, temperatura da superfície, saldo de radiação, situação hídrica regional, etc. (NOVAS, 2008). Para entendimento desse processo é importante saber que a vegetação é caracterizada por uma intensa absorção do espectro luminoso na região do vermelho, relacionado à molécula da clorofila, assim como pela intensa reflexão de fótons na região do infravermelho próximo, ocasionado pela estrutura celular da folha, sua distribuição angular e o fator de reflectância bidirecional, além de fatores externos. (JENSEN, 2009)

Como exemplo de índice utilizado pela literatura para avaliação da cobertura de uso do solo, o “*Normalized Difference Vegetation Index*”, ou NDVI, é utilizado para construir perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação, permitindo comparações e correlações futuras. A Equação 2 é usada no cálculo do NDVI, a qual é aplicada diretamente sobre cada par de pixels nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, produzindo um valor pertencente ao intervalo $[-1, 1]$. Quanto mais próximo de 1, maior é a certeza de estar se tratando de um pixel de vegetação. Altos valores do índice indicam maior presença de vegetação.

Equação 2: NDVI

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$$

Também relacionado ao tema, um método de análise de dados que se baseia na interpolação é a Krigagem. Ela utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações, se baseando em análises de variogramas de variáveis regionalizadas. Utilizando o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais

afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados. O resultado final é uma superfície contínua de dados mais suavizados, minimizando os contrastes entre os compartimentos. Esta metodologia é muito comum para criar superfícies a partir da distribuição de pontos amostrais, forma tradicional dos dados de estações meteorológicas, e se encontra presente em alguns programas tradicionais de SIG, como o ArcGIS.

Existem diversos métodos de interpolação, cada um com suas potencialidades e restrições (ver HARTKAMP, 1999). Um exemplo aplicado de interpolação de variáveis climáticas é o trabalho do projeto WorldClim, que descreve as condições climáticas ao redor do mundo através de dados de inúmeras estações pluviométricas e meteorológicas, e realiza a interpolação dos dados via o método ANUSPLIN-SPLINA (HUTCHINSON, 2004), levando em conta o relevo. Seus produtos são apresentados em mapa na forma de grades de dados (em formato ráster) climáticos a partir do set de *layers* globais (HIJMANS, 2005). As grades contêm valores médios calculados para uma série histórica de 50 anos (1950-2000), incluindo diversos valores de temperatura (média, máxima, mínima, mês mais frio, entre outras) e precipitação (também diversas).

Outra ferramenta interessante é o mapeamento computacional por sobreposição de camadas, ou *Computer-Assisted Map Overlays*. Esta técnica, segundo MALCZEWSKI (2004), foi desenvolvida para superar as dificuldades de realizar o trabalho manual da combinação de grandes bases de dados via álgebra de dados. Esta técnica é amplamente utilizada devido à sua facilidade de aplicação, além de apresentar conceitos intuitivos, baseados sobre a lógica booleana e a combinação linear ponderada. Para superar algumas limitações relacionadas ao mau julgamento de valores e associações por parte do usuário, o autor aconselha que se combine com métodos multicritérios de tomada de decisão.

Ainda, derivada a estatística, a Metodologia de Resposta de Superfície (RSM), de BOX & WILSON (1951) explora a relação entre diversas variáveis precursoras e uma ou mais variáveis dependentes, usando uma sequência de experimentos para determinar para que valores destas variáveis geravam as respostas máximas do que se almejava aferir. Uma vantagem deste método, é que o conhecimento aprofundado dos processos envolvidos não é necessário, uma vez que a abordagem deste modelo é de base indutiva. Tais variáveis, quando atreladas a eventos espacialmente localizados, facilitam o

surgimento de padrões antes ocultos, como desde a distribuição passada de espécies de árvores pelos registros de pólen fossilizados (mapas de isopol), a combinação dos fatores fisiológicos e até resultados da competição interespecífica (PRENTICE, 1992). Está associada também aos estudos de regressão, aprofundados no Capítulo 7.

Após esta revisão do ferramental computacional no cruzamento e manipulação de diferentes informações geoclimáticas, será abordada a questão da modelagem e sua aplicação no contexto da delimitação de biomas e na previsão de cenários climáticos decorrentes das mudanças climáticas, descritos no próximo capítulo.

4. Modelos

A literatura nos mostra que diversos fatores ditam as condições ambientais existentes em um determinado local, e individualmente permitem ou restringem a presença das espécies da flora e fauna, com a sua amplitude de variação influenciando na seleção das adaptações evolutivas favoráveis. Coletivamente, a interação destes fatores gera um sistema que passa a apresentar características distintas da simples soma das partes, e a sinergia resultante interfere nos próprios limites individuais às espécies. Este espaço multidimensional e espacialmente heterogêneo é responsável por repartir o mundo em um número desconhecido de habitats, populados por uma coleção de espécies determinadas não somente por este complexo sistema, mas também pela história biogeográfica local, pelas interações interespecíficas (como a competição) e do variante tempo, desde a duração da estabilidade de condições quanto nas condições ambientais passadas. Compreender o funcionamento exato de um ecossistema é impossível para um cientista de nosso nível tecnológico, vista a quantidade de variáveis atuantes simultaneamente e em constante variação. Quando adicionamos a este panorama a interação antrópica, via a descaracterização de habitats, a alteração da paisagem e a extinção de espécies, não podemos nem contar com a observação natural para entendermos o passado, o presente e talvez o futuro, de modo que a única alternativa é diminuir a escala, generalizar, interpolar e simplificar as variáveis consideradas, ou então perder informações cruciais para a correta gestão e recuperação de nossos minguantes recursos naturais.

Este processo de generalização é realizado por meio da aplicação de premissas decorrentes das visões-de-mundo dos cientistas sobre o objeto estudado, e pode ser denominado como um Modelo. HAGGETT & CHORLEY (1967 e 1975, *apud* CHIRSTOFOLETTI, 2011) definem modelo como uma estruturação subjetiva e simplificada da realidade, que apresente de forma generalizada suas supostas características e relações mais importantes, omitindo propositalmente detalhes que poderiam obscurecer a os aspectos fundamentais da realidade. Para CHRISTOFOLETTI (2011), a análise na perspectiva reducionista é necessária para entender as particularidades de cada componente do ambiente, e a partir daí estabelecer de forma holística as relações que o descrevem, buscando identificar sua estrutura e as propriedades sinérgicas deste sistema. Um sistema complexo, como a abordagem ecológica deve ser sempre considerada, pode ser definido como composto por uma grande quantidade de

componentes, que trocam informações entre si e com seu entorno, podendo adequar sua estrutura interna aos resultados destas intra e interrelações, apresentando elevado dinamismo e caos.

A função básica de um modelo busca construir pontes entre os níveis da observação e as proposições teóricas, delineando exatamente o seu objeto de estudo. Devem ainda ser testados com informações provenientes de suas áreas de atuação, no tempo e escala de sensibilidade adequadas, uma vez que sem a comprovação não tem validade maior que uma base agregada de dados (CHRISTOFOLETTI, 2011). Possibilitam a comunicação de conceitos, previsões em curto prazo, um instrumento de planejamento e comparação de alternativas. Dentre as 11 funções elencadas (Psicológica, Comunicativa, Promissora, Logicidade, Normativa, Adequação, Previsibilidade, Simulação de cenários possíveis em função das mudanças ambientais, Relacionar as mensurações dos processos a curto prazo com a evolução das formas a longo prazo, condensação temporo-espacial, e Desenvolver “explicações” aplicáveis a todas as escalas) de modelos por CHRISTOFOLETTI (2011), cada pesquisa atende ao menos uma destas, frequentemente várias.

Quando se busca as regras correlacionais entre as componentes ambientais de um modelo, a observação do ambiente é o cerne da metodologia. Na configuração de modelos análogos naturais, de CHORLEY (1967 *apud* CHIRSTOFOLETTI, 2011) e WOLDENBERG (1985 *apud* CHIRSTOFOLETTI, 2011), é verificada duas abordagens, uma por meio dos análogos históricos, onde o presente é a chave do passado, e que os agrupamentos dos fenômenos observados (como os geomorfológicos) ocorrem em relação às suas posições imaginadas nas sequencias controladas pelo tempo e na repetição deste ciclo, enquanto que a outra se baseia nos análogos espaciais, relacionando um conjunto de fenômenos a outros por meio de observação de áreas consideradas semelhantes, mas ao mesmo tempo mais simples de estudar, e a partir daí estabelecer generalizações mais significativas e com maior confiança sobre a área objeto. Para modelos que inter-relacionam grandezas geofísicas e biológicas, ambas as abordagens devem ser consideradas, principalmente quando a ação antrópica é fortemente atuante na área.

Especialmente relacionado a áreas de grande influência antrópica, ações que busquem uma revitalização ambiental precisam urgentemente de direcionamento a um patamar de qualidade almejado, um guia conceitual que defina quais eram as características originais do local, muitas vezes perdidas na história. Como vimos nos

capítulos anteriores, a vegetação nativa é um indicador diretamente associado às características de um ambiente ecologicamente equilibrado, e por aproximação, a reconstituição e manutenção das fitofisionomias originais do bioma em que a região está inserida é fundamental para este processo. Assim, a pergunta retórica do MME (1983), “*Como então realizar um mapeamento fitogeográfico senão pela tentativa da reconstituição da vegetação original?*” demonstra sua grande valia, e a função de um Modelo de Vegetação Potencial (MVP) se torna claro.

4.1. Modelo de vegetação Potencial

O conceito de Vegetação Potencial para RIVAS-MARTÍNEZ (2008) é: “uma comunidade estabelecida de plantas que deveria estar presente em uma determinada área, consequente da sucessão progressiva de seus estágios naturais se não houvesse a influência humana”. Ele afirma que na prática, a vegetação potencial é um sinônimo ao clímax vegetal da formação primitiva sem alterações humanas.

No caso de um MVP, a função de previsibilidade (CHRISTOFOLETTI, 2011) da distribuição de áreas de fitofisionomias específicas é de amplo auxílio aos gestores ambientais para a recuperação de áreas degradadas, manejo florestal, delimitação de Unidades de Conservação, entre outros. Os modelos preditivos são construídos como imagens de sistemas a partir de matrizes de relação entre os elementos de um sistema espacial, e conseguem prever sua evolução na alteração de alguns parâmetros iniciais, ou seja, uma perspectiva de *input-output* ditado pelas equações de correlação. Resultados derivados ainda permitem a simulação de cenários possíveis, além de comprimir ou condensar a evolução das formas a longo prazo, guiando as políticas ambientais futuras aplicadas à Biomas.

Na bibliografia consultada foram identificados diferentes modos de se fazer a reconstituição fitogeográfica de uma determinada área. Antigamente, como ressalta o MME (1983), estes eram feitos por meio de inquérito geográfico, da toponímia e da bibliografia confiável, e, mais comumente, através dos levantamentos botânicos feitos nos remanescentes de vegetação natural. Mais recentemente, alguns autores passaram a balizar estes estudos sobre os Modelos de Circulação Global (REID *et al.*, 1995; HAXELTINE & PRENTICE 1996; YATES, 2000; NOBRE, 2002; COX *et al.*, 2002; NASCIMENTO, 2007 e 2008; TIANGANG, 2011).

Outra abordagem, principalmente para os estudos paleoclimáticos, podemos citar os trabalhos de BEHLING *et al.* (1998, 2005, 2007a, 2007b) PASSENDA *et al.* (2004, 2010) JESKE-PIERUSCHKA (2011). Não obstante, o estudo da dinâmica da vegetação com ênfase no quaternário, tanto para o Pleistoceno quanto o Holoceno, PRENTICE (1992) citou as principais técnicas da pesquisa envolvidas, como: análises sedimentológicas e geomórficas de oceanos e lagos; regimes de rios; análises geoquímicas de húmus, sementes e sedimentos; razões isotópicas em anéis de árvores, sedimentos, madeiras fósseis e camadas de gelo; análise de fósseis de diatomáceas, ostracodes, besouros, pólen; concentrações de CO₂; razão de ¹⁶O/¹⁸O (relacionado a proporção do volume global de gelo) e de ¹³C/¹²C (relacionado a produção primária e CO₂ atmosférico) em foraminíferos bentônicos; datação por carbono 14; pelotas fecais fossilizadas; entre outros.

Para LORSCHUITTER & ROTH (2013), os estudos de pólen, esporos e outros palinórfos preservados em sedimentos são excelentes ferramentas para entender a história da vegetação e o clima pretéritos por refletirem, em sua morfologia, o organismo de origem, permitindo, no caso do Quaternário, a comparação com a vegetação da atualidade, levando ao entendimento dos processos que resultaram na distribuição biogeográfica das espécies presentes. Pode fornecer, também, subsídios para monitoramento e preservação ambiental.

A seguir será apresentada a análise de três metodologias de reconstrução da vegetação, suas potencialidades e restrições, representando diferentes abordagens para a elaboração de Modelos de Vegetação Potencial encontradas na literatura. São elas: a Vegetação Pretérita desenvolvida no âmbito do projeto RADAMBRASIL (MME, 1983), a vegetação potencial no âmbito do mapeamento bioclimático do estado do Rio de Janeiro do SEA/INEA (2011) e o modelo de vegetação dinâmica de OYAMA & NOBRE (2002).

4.2. Análise das metodologias: potencialidades e restrições

A compreensão da abrangência de aplicação e as distintas abordagens possíveis dos MVPs analisados deve considerar a motivação inicial deste processo, a qual demandou desde bases de dados quanto pressupostos-guia diferentes. É possível identificar como cada metodologia abordou os principais fatores edafoclimáticos que condicionam os biomas, além de seu grau de aprofundamento e nível de generalização em cada um deles.

Esta parte do trabalho busca resgatar, dentre os diferentes pontos de vista da literatura, as características consideradas de maior proveito para a construção de um MPV, o qual deverá atingir um nível de abordagem suficientemente profundo de cada componente das interações edafoclimáticas, podendo assim servir para respaldar qualquer trabalho relacionado ao tema.

Clima

Como vimos no capítulo 3, os fatores do clima são os principais condicionantes da vegetação em macroescala. A amplitude de seus fatores representa os principais ecótonos dos biomas, e, portanto, devem ser abordados com a devida profundidade.

O modelo do MME (1983), o mais antigo dos três, abordou a questão superficialmente. Os valores de temperatura são relativamente fáceis de aferir, de modo que ele não apresentou dificuldades na determinação destas delimitações, ainda mais que, por ser o trabalho gerador da classificação da vegetação brasileira, se beneficiou por conciliar seus resultados com aquilo apresentado pelas normas oficiais brasileiras. Por outro lado, na parte do balanço hídrico foi bastante superficial, não incluindo nem a capacidade de água disponível para as plantas. Apesar de encontrar resultados verossimilhantes com a vegetação natural, considerar somente a curva ombrotérmica para determinar a quantidade de períodos secos é temeroso, mesmo para um mapeamento de pequena escala. A sua vantagem é poder ser determinada somente a partir da temperatura e precipitação média.

O modelo do SEA/INEA (2011) já aborda a questão climática com um pouco mais de profundidade, apesar de algumas inconsistências. O método de balanço hídrico utilizado foi o de THORNTHWAITE & MATHER (1948), que por um lado apresenta facilidade de somente necessitar de dados de temperatura média e precipitação, mas apresenta algumas dificuldades, como a sensibilidade em relação à temperatura em torno de 25°C, o que pode trazer variações bruscas na distribuição de biomas em áreas tropicais (*vide* OYAMA & NOBRE, 2002; FERNANDES, 2006). Não obstante, como este MVP se baseou em um mapeamento bioclimático atual, deveria ter sido identificado que as premissas utilizadas para os valores de CAD consideram o uso recente do solo, e incluem áreas urbanas não-consolidadas, vegetação secundária, pasto e outras culturas, o que não é condizente com a própria definição de vegetação potencial. Outra consideração relevante é que este método utilizou um mapeamento bioclimático baseado em divisões

políticas, e não diretamente sobre os tipos de bioclimas. Apesar de poder auxiliar o planejamento por regiões político-administrativas, não é recomendável estabelecer esta divisão, pois pode incorrer em confusão ao se visualizar ambos os mapas e identificar mais bioclimas do que realmente existem.

Os MVP baseados em MCG como o de OYAMA & NOBRE (2002) são os mais aprofundados na questão climática. A utilização do modelo de balanço hídrico de WILLMOTT *et al.* (1985), com as modificações propostas, foram adequadas ao objetivo proposto, e se mostraram efetivas para cobrir os biomas de todo o planeta. Ainda assim, a generalização do tipo de solo e cobertura vegetal se torna altamente desfavorável para escalas maiores, uma vez que passa a ter uma maior representatividade na heterogeneidade local. A profundidade de solo considerada para o CAD (500 mm) é bem acima do referencial da literatura (entre 100 e 150 mm), mas como foi visto nos resultados de CANADELL (1996) e JACKSON (1996), está verossímil.

Geomorfologia

A geomorfologia atua de duas maneiras diferentes nos MVPs. A primeira, que engloba os dados hipsométricos, é um dado de extrema relevância para a determinação das fitofisionomias, como vimos na revisão bibliográfica. A segunda, no entanto, acaba por influenciar de modo indireto, e por muitas vezes a participação do relevo acaba sendo esquecida, apesar de alterar os padrões de umidade atmosférico, a intensidade dos ventos e condicionar a acumulação ou erosão dos solos. Além das variações nestas outras grandezas, essa segunda forma de atuação deve auxiliar por meio conceitual o tomador de decisão a identificar previamente as alterações esperadas nos modelados geomorfológicos.

Todos os modelos utilizaram os dados da altitude para basear a distribuição dos biomas, mas de formas ligeiramente diferentes. O modelo do MME (1983) e o do SEA/INEA (2011) basearam a classificação das formações vegetais nas cotas altimétricas, respeitando os limites altitudinais propostos na classificação da vegetação brasileira (VELOSO, 1991; IBGE 1992 e 2012), o que é uma vantagem, uma vez que supostamente é mais fácil trabalhar com dados nacionais dentro de uma métrica comum. O MVP de OYAMA & NOBRE (2002) e similares incorpora estes dados nos seus modelos de balanço hídrico, interferindo na quantidade de energia e outros fatores, estando igualmente adequado.

Em relação ao relevo, a experiência acumulada sobre este tema pelos técnicos do Projeto RADAMBRASIL permitiu a sua profunda incorporação nos resultados finais de seu MVP, mesmo que de uma forma qualitativa e não quantitativa. A compreensão integrada dos compartimentos ambientais levou a uma descrição mais rica do ambiente do que a mera análise de suas partes, o que propiciou transferir os conhecimentos sobre a topografia, dos modelados e processos geomorfológicos locais às características dos solos e a vegetação associada.

O trabalho do SEA/INEA (2011) conseguiu incorporar algumas informações geomorfológicas ao seu MVP, como para identificar as vegetações de restinga, mangues e comunidades relíquias, mas não se aprofundou no tema. Os MVPs relacionados ao MCG não chegam a abordar as considerações do relevo.

Solos

O solo é de grande importância para a vida vegetal, desde na retenção de água quanto na nutrição, mas nem sempre recebem a devida consideração. A escala de detalhe considerada vai interferir no quanto este fator influencia na determinação da vegetação final, aumentando geometricamente quanto maior for a escala. O modelo do MME (1983) foi o que mais considerou a influência do solo, mesmo que somente por algumas características, como o teor de areia. Estas informações serviram para determinar a separação de diversos ambientes no seu mapeamento, além de contribuir com a identificação de algumas associações pedovegetais.

O modelo do SEA/INEA (2011) utilizou o fator solo em conjunto com o relevo para identificar algumas coberturas vegetais pioneiras, e extensamente no cálculo do balanço hídrico. Entretanto, não foi realizada nenhuma correlação direta entre a composição do solo e a forma de cobertura vegetal, somente a sua capacidade de retenção hídrica e a profundidade da lâmina de água considerada, a qual também se baseou em características do uso do solo presente, algo que não é adequado. Como exemplo, o CAD de uma área com condições bioclimáticas adequadas à cobertura florestal, mas que atualmente é utilizada para campo, não deveria considerar somente 100 mm para o CAD. É reconhecida a dificuldade de se determinar a profundidade de CAD considerada sobre uma área na qual a priori não se sabe a fitofisionomia local, já que esta variável é dependente da cobertura vegetal que cobre o solo, um ciclo paradoxal que precisa ser interrompido.

O MVP de OYAMA & NOBRE (2002) e similares apresentam em geral uma escala de trabalho muito pequena, reduzindo a influência do solo sobre o mapeamento final, de modo que não abordam estas características na sua modelagem. Entretanto, seu modelo de balanço hídrico considera uma única camada homogênea de solo coberta por um único tipo de vegetação em todas as áreas continentais, sem variabilidade. Como os próprios autores relatam, “*Embora pareçam um tanto irrealistas, essas hipóteses são usualmente adotadas nos modelos de balanço hídrico. A justificativa é a necessidade de uma menor quantidade de parâmetros para utilizar os modelos.*” Novamente, para escalas globais, tal generalização não inviabiliza o método, mas ainda assim deve influenciar consideravelmente na precisão dos resultados; com o aumento da escala, a precisão deverá cair de maneira inversamente proporcional.

4.2.1. Síntese comparativa

Nesta etapa serão apresentadas as considerações sobre as abordagens dos MVP's, suas potencialidades e restrições. Inicialmente, é apresentado um quadro comparativo (Tabela 4) quanto à relevância dos diferentes fatores fitoedafoclimáticos abordados para cada um dos modelos.

Tabela 4: Quadro comparativo entre o nível de abordagem dos fatores fitoedafoclimáticos entre os MVP's descritos. * É ressaltado que não foi feito um modelo de balanço hídrico per se neste MVP, mas sim o discernimento entre ombrofilia ou estacionalidade, fator altamente relevante na classificação final. ** Não foi possível identificar se houve verificação em campo. * A verificação da precisão do modelo foi realizada sobre outro modelo, e não com a vegetação remanescente.**

Fatores	Nível de profundidade atribuída à importância de cada fator por cada MVP analisado		
	MME (1983)	SEA/INEA (2011)	OYAMA & NOBRE (2002)
Temperatura	Muito Relevante	Muito Relevante	Muito Relevante
Precipitação	Muito Relevante	Muito Relevante	Muito Relevante
Balanço Hídrico	Muito Relevante*	Muito Relevante	Muito Relevante
Altitude	Muito Relevante	Muito Relevante	Relevante
Solos	Relevante	Relevante	Não Considerado
Geomorfologia	Relevante	Relevante	Não Considerado
Verificação em Campo	Intensa	Indeterminada**	Não Realizada***
Classificações Oficiais	Adota	Adota Parcialmente	Não Adota
Escala da Abordagem	Médio detalhada	Detalhada	Muito Pouco Detalhada

A partir desta análise puderam ser identificados três abordagens principais para os MVP's: a que será chamada de prática, a qual apesar de utilizar dados de sensoriamento remoto é fortemente baseada sobre a experiência dos técnicos envolvidos sobre conhecimento das particularidades de cada região para elaborar o mapeamento, assim

como em trabalhos de campo para validação de resultados; a teórica, que se baseia preferencialmente em métodos remotos e relações de significância baseadas em equações matemáticas; e a teórico-prática, que mistura elementos das outras duas abordagens.

A abordagem prática tem diversas potencialidades, como a geração de dados primários específicos para cada região, a validação dos resultados via observação do objeto de estudo e a maior possibilidade de se identificar particularidades locais devido a este elevado tempo de observação, podendo refinar as relações retirando, por exemplo, interferências antrópicas que podem causar desvios nos resultados da pesquisa. Como o próprio MME (1983) afirma, num modelo de mapeamento onde os limites da vegetação são buscados pela integração de apenas alguns fatores, as comprovações obtidas nos trabalhos de campo são de importância ímpar na extrapolação das relações edafoclimáticas. A confiabilidade dos limites é proporcional ao número de áreas observadas, e a fidelidade do mapeamento dependerá da verificação *in loci*. Por outro lado, esta abordagem está atrelada a custos mais elevados, tanto financeiros quanto de tempo, necessitando de maiores prazos para dar resultados. Também apresenta uma maior dependência da subjetividade dos técnicos, o que eleva a probabilidade de erro humano e exige um nível técnico mais alto. Esta abordagem é indicada para trabalhos em meso e microrregiões, assim como quando se pretende estudar mais a fundo a área de estudo, e não somente buscar informações para um MVP (dados socioeconômicos, de uso atual da terra, listagem de fauna e flora, entre outros). Para regiões maiores, continentais, somente uma mobilização como o projeto RADAMBRASIL, com centenas de técnicos envolvidos, teria a capacidade de realizar, mesmo que apresentando os resultados em uma escala pequena.

A abordagem teórica tem a vantagem de minimizar a subjetividade das análises, com as equações fornecendo respostas de forma objetiva. Também, com o aumento da precisão tecnológica, desenvolveu-se uma capacidade de notar sutilezas antes não perceptíveis aos humanos, principalmente decorrente do processamento matemático dos dados (como por exemplo, análises automáticas e classificações não-controladas). Pode também poupar tempo via automação de processos, e uma vez o modelo calibrado, pode resultar em uma maior agilidade para a entrega de produtos. É cada vez mais favorecida pela melhora tecnológica, e, com a progressão geométrica na capacidade de se armazenar e processar dados, potencializa a sua difusão no mercado. Ainda assim, muitos critérios e pressupostos de entrada destes modelos podem gerar erros nos resultados.

A ponderação sobre as definições que norteiam as relações se tornam o cerne do trabalho, exigindo um alto nível de conhecimento transdisciplinar dos tomadores de decisão. A generalização feita sobre vários fatores pode mascarar a percepção de padrões mais sutis, limitando a sensibilidade dos modelos para um parâmetro, como por exemplo, a variação térmica. Isso pode prejudicar a caracterização fina, e a inserção de variáveis extras para solucionar o problema podem criar uma complexidade tamanha que inviabiliza a replicação dos MVPs fora de instituições com tecnologia de ponta. É necessário ter um balanceamento entre a quantidade de variáveis consideradas, as generalizações feitas e a escala de trabalho, ou a aplicabilidade dos modelos será muito restrita. No caso do trabalho de OYAMA & NOBRE (2002), seus resultados são puramente direcionados para a macroescala de estudos meteorológicos planetários, mas não apresentam grande utilidade na gestão ambiental de remanescentes florestais, por exemplo. Tal situação poderia ser corrigida com a inserção de fatores local-específicos, como a pedologia, assim como a escala dos dados utilizados, restrição a qual a tecnologia progressivamente tem colaborado para eliminar. Uma observação deve ser feita sobre esta abordagem. Os MVPs baseados em MCGs observados na literatura se comprovam sobre outros modelos, e deveriam ser testados sobre as vegetações remanescentes. Para evitar a diminuição artificial do desempenho, poderiam somente considerar os pontos sobre áreas de vegetação remanescente ou com uma adequada comprovação bibliográfica.

As metodologias teórico-práticas mesclam os potenciais das outras duas abordagens, como a realizada pela SEA/INEA (2011). A disseminação da tecnologia favorece essa abordagem, pois permite uma análise de dados maior com menos técnicos envolvidos, e o aproveitamento de bases de dados secundárias. A escala na qual podem atuar também varia, sendo mais dado-dependente do que de mão-de-obra, permitindo que um pequeno grupo de especialistas consiga ir apenas algumas vezes a campo e ainda assim gerar bons resultados devido ao trabalho de gabinete. As suas restrições se concentram nas deficiências de não ser exclusivamente uma abordagem teórica, perdendo a comodidade de assumir um grande número de generalizações (principalmente quando se lida com grandes escalas), nem prática, contando com uma grande equipe técnica para apresentar soluções aos problemas e realizar testes em campo, de modo que a gestão e planejamento das etapas de trabalho devem ser eficientes, ou as vantagens econômicas serão desperdiçadas com repetições de tarefas mal executadas.

4.3. Modelos e cenários climáticos

Modelos de Circulação Geral (MCGs ou GCMs) são simulações tridimensionais integradas ao tempo. Os primeiros modelos usavam fórmulas matemáticas simplificadas, mas todos os modernos se baseiam sobre as equações de dinâmica dos fluidos e derivações. Eles não só descrevem a troca de calor planetária, mas também a macro movimentação atmosférica: padrões de fluxo (como as células de Hadley), insolação, gravitação, umidade, orografia, temperatura marinha, atrito, entre outros. Podem ser utilizados para modelos climáticos presentes, futuros ou passados. Não obstante, permitem a simulação dos efeitos antrópicos no clima, quando comparados aos sistemas sem os vetores de mudança humanos, como o desmatamento e acumulação de GEE. (AHRENS, 2009; EDWARDS, 2010; HANNAH, 2011).

EDWARDS (2010) remonta que as primeiras aquisições de dados climáticos da superfície surgiram a partir do século XVII; sistemáticos, a partir de 1850; da atmosfera, por balões e satélites, a partir de 1950. Com o advento dos computadores digitais, a previsão do tempo foi transformada de uma “arte” intuitiva na primeira ciência computacional entre 1945 e 1965. Impulsionado pelo amplo financiamento de projetos com potenciais ofensivos durante a Guerra-Fria e aliado ao uso de tecnologias e bancos de dados derivados da aviação militar da segunda guerra mundial (como o radar e novas informações da atmosfera superior), as pesquisas para o conhecimento e tentativa de controle do clima deixaram de ser negligenciadas pelos governos. A partir de 1970, completando a mudança do foco da pesquisa meteorológica da descrição regional para a teórico-preditiva global e o aumento do número de computadores, laboratórios especializados na temática foram amplamente difundidos, e a modelagem climática passou a também ser parte inerente das políticas energéticas e ambientais.

4.3.1. Tipos de MCGs

Os MCGs podem ser usados tanto para a previsão quanto para a simulação. Quando se quer realizar a previsão do tempo são utilizados como situação inicial os dados observados para cada variável de entrada, mesmo que somente seja válida por algumas semanas, decorrente da natureza caótica do tempo. Para a simulação de clima, os modelos atuais não usam dados iniciais, mas sim são iniciados e rodam por longos períodos, até décadas, até que as forças internas alcancem um estado climático relativamente estável, chamado de equilíbrio. A partir deste ponto, o MCG pode ser comparado com as

condições históricas, e assim verificar a precisão do mesmo. O quanto mais próximo da realidade com menos ajustes *ad hoc*, melhor a performance do modelo. Deve ser lembrado que cada variável pode ter diferentes adequações às condições observadas, e a identificação das razões dessa variabilidade é proporcional à complexidade do modelo, ou seja, extremamente difícil em alguns casos. (EDWARDS, 2010; HANNAH, 2011).

Todos os MCGs apresentam dois elementos principais: o núcleo dinâmico, que simulam os movimentos de grande escala bem conhecidos, diferindo no formato de representação utilizada na sua descrição (como o formato da grade atmosférica); o modelo físico, que inclui todos os outros processos atmosféricos, principalmente as trocas de calor e umidade, tanto os modeláveis na escala da grade usada, ou os de pequena dimensão (como a absorção e re-irradiação de calor por gases), representados indiretamente por parâmetros, a maior causa de controvérsia nos modelos atuais. (EDWARDS 2010; HANNAH 2011).

Os MCGs dividem a atmosfera em séries de células tridimensionais justapostas, com resoluções de grade típicas entre 1-5° de latitude por 4-8° de longitude e alturas variáveis, as quais transferem massa e energia a cada intervalo de tempo padrão (tipicamente 10 a 15 minutos) para as células vizinhas baseadas nos resultados de inúmeras equações matemáticas. A representação do globo utiliza milhares destes cubos, e ocupam dezenas (em torno de 30 a 50) camadas desde a superfície até o topo da atmosfera. (EDWARDS, 2010; HANNAH, 2011).

Os primeiros MCGs somente simulavam a circulação atmosférica global. Com a busca do incremento de sua fidelidade, buscou-se a adição de camadas oceânicas, uma vez que a água retém mais calor que o ar e afeta os fluxos de temperatura do ar, e assim modelos de circulação oceânicos foram usados em conjunto com os MCGs, e passaram a ser conhecidos como Modelos de Circulação Geral Acoplados Oceano-Atmosféricos (AOMCGs). Atualmente, a incorporação de dados sobre a cobertura vegetal dinâmica no panorama de mudanças climáticas, ou seja, incluindo modelos da biosfera nos cálculos, gerou os Modelos de Sistema Terrestre (ESM). (EDWARDS, 2010; HANNAH, 2011).

A resolução típica de um MCG é de células com 100-300 km de lado, o que significa que subcontinentes, como a Groelândia ou a península árabe no oriente médio, podem ser representados por cinco ou seis células somente. Os Modelos Climáticos Regionais (MCRs) são similares aos MCGs na forma de processamento das informações,

mas apresentam tanto equações mais refinadas como escalas de trabalho maiores. Este aumento da precisão das informações geradas só pode ser realizado com a focalização do estudo em uma região específica, devido às limitações computacionais. Mas como estes modelos representam uma parte do globo e não podem ser considerados um sistema fechado, informações de trocas de massa e energia com regiões vizinhas são necessárias. Para resolver este problema, os MCRs são acoplados a MCGs, e acabam por utilizar fluxos de informações menos detalhadas em suas bordas, chamadas de condições de fronteira. No entanto, os MCRs não são capazes de corrigir erros decorrentes desta generalização. (EDWARDS, 2010; HANNAH, 2011).

Os MCRs melhoram as simulações locais uma vez que permitem considerar detalhes que não podem ser percebidos nas escalas menores dos MCGs. A resolução típica de um RCM é de células com 20-70 km de lado. Fenômenos como chuvas orográficas e a variação da temperatura pela mudança altitudinal podem ser identificados adequadamente em escalas de cidades e bacias hidrográficas, servindo adequadamente para descrever diversos impactos regionais. Ainda assim, para diversas aplicações biológicas esta escala é pequena demais: movimentos de animais grandes abrangem dezenas de quilômetros; de pequenos animais, poucos quilômetros ou menos; eventos de dispersão de árvores, alguns metros. (EDWARDS, 2010; HANNAH, 2011).

Para adequar as modelagens às necessidades dos estudos biológicos e aumentar a escala de trabalho (*downscaling*) são utilizados os processos de interpolação e suavização (*smoothing*). Esta técnica utiliza como base os dados climáticos do presente, os quais são interpolados até a escala desejada, sob os quais são sobrepostos os dados do MCG ou RCM futuros e retirada a diferença (absoluta ou relativa) para cada variável de interesse. Em seguida, esta diferença é adicionada ao modelo interpolado do presente, gerando uma superfície do cenário estudado na escala almejada. As bordas das células dos modelos de partida são suavizadas para evitar transições abruptas. Tal técnica parte da premissa que as mudanças climáticas apresentam elevada correlação com o espaço. (EDWARDS, 2010; HANNAH, 2011; WORLDCLIM, 2013).

A atual infraestrutura global de modelagem climática, como uma rede ou teia, apresenta diversos MCGs desenvolvidos por universidades, institutos de pesquisa e serviços nacionais meteorológicos, todos dependentes de supercomputadores ou massivos sistemas de computadores em paralelo. Pela própria definição de infraestrutura, é difícil ou impossível de se impor uma única visão, parâmetros delimitadores ou plano

central, de modo que, apesar de usarem equações físicas semelhantes, ainda diferem em equações específicas, complexidade e pressupostos. Logo, a maioria das avaliações na temática de mudanças climáticas usa simulações provenientes de mais de um MCG, já que nenhum prevê exatamente o futuro, uma vez que existem incertezas e generalizações em todos os modelos. Por exemplo, quando se realiza uma comparação entre dois MCGs, os padrões de precipitação para uma mesma região e um mesmo cenário podem aumentar em um e diminuir no outro. Usar diversos modelos pode auxiliar a resolver estas discrepâncias e aumentar a precisão e credibilidade dos resultados. A escolha dos MCGs a serem utilizados em pesquisas deve ser feita pela adequação da complexidade aos objetivos almejados, pela credibilidade do grupo desenvolvedor do modelo e pela adequação à região de estudo. (EDWARDS, 2010; HANNAH, 2011).

A avaliação sistemática dos modelos requer um conjunto coordenado e bem documentado de simulações. Segundo o IPCC (2014a), os projetos de intercomparação de modelos buscam fornecer padrões e metodologias para realizarem testes críticos sobre a real capacidade de um modelo para simular o clima observado. Quando são realizados experimentos em comum por diferentes centros é possível comparar os seus resultados não apenas com observações, mas também a partir de outros modelos. Esta comparação permite que os pesquisadores explorem toda a variação comportamental dos modelos, isolando com maior facilidade pontos fortes e fracos neste ambiente controlado, além de ressaltar as diferenças Inter modelo. Não obstante, estas intercomparações são excelentes para a distinção entre erros metodológicos de modelos individuais daqueles de caráter universal, os quais devem se tornar alvos prioritários para a melhoria dos modelos em geral. Dentre os diferentes grupos, o Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP) se destaca nesta atividade.

Lançado pelo Programa de Pesquisa sobre Clima Mundial (WCRP) dentro de seu grupo de trabalho de modelagem acoplada (WGCM) em 1995, o CMIP tem como objetivo entender o passado, o presente e o futuro do clima terrestre, com base na resposta deste às mudanças climáticas de causas naturais ou antrópicas. Tal entendimento visa avaliar o desempenho de modelos tanto para remontar o sistema climático terrestre durante períodos históricos quanto projeções futuras, além de investigar sua previsibilidade em várias escalas de tempo e espaço. O primeiro conjunto de experiências comuns, o CMIP1, comparou os modelos em situações controle, com as forças climáticas externas constantes, buscando compreender as causas dos ajustes individuais dos 21

modelos existentes. A segunda etapa, o CMIP2, consistiu em comparar a resposta de cada modelo estudado a um forçamento hipotético, o aumento anual de 1% da concentração atmosférica de CO₂ (MEHR *et al.* 2000). O CMIP Fase 3 (CMIP3) buscou dar apoio à investigação do 4º Relatório de Avaliação (AR4) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), sendo o ponto de partida das simulações o clima pré-industrial, com o subsequente aumento de 1% ao ano de emissões de CO₂, com mais de 30 GCMs acoplados. (WCRP, 2015).

O CMIP Fase 5 (CMIP5) teve como objetivos principais: abordar as questões científicas pendentes que surgiram no processo do AR4 (IPCC 2007), como a inclusão de simulações paleoclimáticas de longo prazo; embasar o AR5, em especial os capítulos de 9 a 12; melhorar a compreensão do clima e; fornecer estimativas de futuras mudanças climáticas para a gestão. Apresenta uma infraestrutura de 29 grupos oficiais de modelagem e 62 MCGs acoplados (mas somente 45 foram usados no AR5 devido ao prazo da publicação). O CMIP busca também que seus resultados estejam sempre disponíveis publicamente e em um formato padronizado. (TAYLOR *et al.* 2009).

4.3.2. O IPCC e os Cenários Climáticos

Com a incerteza mundial perante os debates sobre as consequências das mudanças climáticas antrópicas (muitas vezes conflitantes), aliada à falta de câmaras técnico-científicas independentes para aconselhar aos governos de se e como deveriam adequar suas políticas ao tema, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estabeleceram a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em 1988. Sob a majoritária coordenação por cientistas voluntários de 194 nações, sua função principal é analisar, comparar, combinar e interpretar dados e modelos para produzir informações estáveis, confiáveis e disseminadas sobre as mudanças climáticas, seus impactos sobre o ecossistema e a sociedade, assim como as opções possíveis de mitigação e adaptação a seus efeitos através da formulação de estratégias de resposta realistas. Este trabalho é feito a partir da produção científica internacional em todos os campos de estudo relacionados, e não realizar pesquisas próprias, visando sua ampla divulgação, inclusive as controvérsias encontradas na literatura. Por ser amplamente inclusivo, extensamente revisto e prontamente responsivo às críticas mundiais, tanto a metodologia do processo como os resultados apresentados atribuíram a este grupo um grande poder na comunidade

científica, e é considerado a maior autoridade na temática de mudanças climáticas. (EDWARDS, 2010; IPCC, 2010; HANNAH, 2011).

A tarefa inicial para o IPCC, conforme descrito na Resolução da Assembleia Geral das Nações Unidas 43/53, de 06 de dezembro de 1988, era preparar uma revisão abrangente e recomendações a respeito do estado dos conhecimentos da ciência da mudança climática; o impacto social e económico das alterações climáticas, e as possíveis estratégias de resposta e elementos para inclusão em uma possível futura convenção internacional sobre o clima. Atualmente, esta organização realiza relatórios periódicos, chamados *Assessment Reports*, divididos em três grupos de estudo, que compreendem o WGI, as bases físicas científicas da mudança do clima; o WGII, sobre os impactos e vulnerabilidades socioeconômicas às mudanças climáticas e adaptações; e o WGIII, que prioriza as opções de mitigação, custos e políticas possíveis (IPCC, 2010). Todas as partes sempre estão alinhadas com o desenvolvimento sustentável e com os Princípios Governantes do Trabalho do IPCC, definidos como:

“...avaliar de forma abrangente, objetiva, pública e transparente a informação científica, técnica e socioeconômica relevante para entender a base científica do risco das mudanças climáticas induzidas pelo homem, seus impactos e potenciais opções para adaptação e mitigação. Os relatórios do IPCC devem ser neutros em relação à política, embora possam precisar lidar objetivamente com fatores científicos, técnicos e socioeconômicos relevantes para a aplicação de políticas específicas”. (IPCC, 2013)

A evidência científica levantada pelo primeiro Relatório de Avaliação do IPCC, de 1990, levantou a importância das mudanças climáticas como um desafio que requer a cooperação internacional para enfrentar suas consequências. Não obstante, desempenhou um papel decisivo para a construção da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), o principal tratado internacional para reduzir o aquecimento global e lidar com as consequências das alterações climáticas. (IPCC 2010).

O segundo documento produzido, de 1995, sugeria que informações avaliadas apontavam alguma influência antrópica no clima mundial, assim como serviu para embasar a adoção do Protocolo de Quioto de 1997; o terceiro, de 2001, que as novas evidências coletadas indicam que grande parte do aquecimento terrestre nos últimos 50 anos estava atribuído às atividades humanas, e que cortes grandes nas emissões seriam

necessários para atender aos objetivos da convenção, além de definir novos cenários possíveis; o quarto, de 2007, que o aquecimento climático é inequívoco e está evidente que as observações do aumento de temperatura do ar e dos oceanos, aumento do degelo e aumento dos níveis do mar e o aumento global da temperatura média dos últimos 60 anos estão muito provavelmente associadas às emissões de GEE antrópicas; o quinto, apresenta uma atualização das informações sobre o tema, que aumentou a certeza da responsabilidade antrópica pelo aquecimento do planeta e que são esperadas a intensificação dos impactos com a inação humana (IPCC, 2010, 2014; HANNAH, 2011).

Cenários

Segundo MOSS *et al.* (2010), o uso de cenários foi originado do planejamento militar e em jogos, mas a partir da década de 1960, esta atividade foi expandida para o planejamento estratégico de empresas e outras organizações, nas quais os gestores almejavam a análise sistemática das implicações de investimento e outras decisões estratégicas a longo prazo. O objetivo de trabalhar com cenários não é prever o futuro, mas sim entender melhor as incertezas para subsidiar decisões apropriadas a uma ampla gama de futuros possíveis. Na pesquisa de mudanças climáticas, cenários descrevem trajetórias plausíveis de condições climáticas e outros aspectos do futuro. Para estes autores, podemos agrupar os cenários desta temática em quatro grupos: Cenários de Emissão, Cenários Climáticos, Cenários Ambientais e Cenários de Vulnerabilidade.

Os Cenários de Emissão descrevem as descargas potenciais futuras para a atmosfera de substâncias que afetam o balanço de radiação da Terra, tais como GEE e aerossóis. Conjuntamente com outras informações relevantes, como o uso e cobertura da terra, padrões de crescimento econômico e populacional, desenvolvimento de tecnologia, mudanças na matriz energética, implementação de políticas e restrições, entre outros, cenários de emissões fornecem insumos para os modelos climáticos. As alterações destes fatores permitem analisar as combinações de fatores que devem levar a uma elevação ou diminuição das emissões, além de identificar a necessidade e o valor do desenvolvimento e aplicação de determinadas tecnologias em escala global. Estes cenários refletem a opinião de especialistas com base em pesquisas sobre as tendências socioeconômicas, ambientais e tecnológicas a longo prazo, uma vez que buscam avaliar a lenta resposta do sistema climático às alterações na concentração de GEE. As incertezas inerentes a estes cenários derivam das próprias indefinições socioeconômicas e de tecnologia, as quais

podem ter uma grande variabilidade, de modo que a adequação das probabilidades de estabilização das concentrações acima ou abaixo de um nível estimado é debatível.

Os Cenários Climáticos são representações plausíveis de condições futuras de clima (temperatura, precipitação, umidade, ventos, etc.). Eles podem ser produzidos utilizando uma variedade de abordagens, incluindo: técnicas de aumento de variáveis, nas quais os componentes principais do clima são alterados para valores factíveis; análogos espaciais e temporais, nas quais dados de regimes climáticos podem ser usados como proxy para um clima futuro; extrapolação e parecer de especialistas sobre as condições futuras; técnicas que usam variações do clima físico e ESMs, incluindo MCRs. Existe um crescente interesse da adaptação de cenários climáticos e métodos de projeção à escala regional, uma vez que auxiliam na avaliação de impactos e adaptação.

Os Cenários Ambientais são utilizados para a análise do impacto potencial de diferentes cenários climáticos, uma vez que apresentam informações relacionadas às condições ecológicas e físicas em maior detalhe. Eles buscam identificar alterações nas condições ambientais advindas de outros fatores independentes das mudanças climáticas, incluindo a disponibilidade e qualidade da água de bacias hidrográficas, aumento do nível do mar, características de cobertura e uso da terra, e situações atmosféricas locais que afetam a qualidade do ar. Assim, as alterações decorrentes diretamente das mudanças climáticas devem ser mescladas a estes fatores, e deste modo é possível aferir adequadamente os impactos ambientais esperados e delinear opções de ação mais eficazes.

Os Cenários de Vulnerabilidade avaliam fatores demográficos, econômicos, políticos, culturais e características institucionais. Tais resultados servem para avaliar o quanto a sociedade humana pode ser afetada pelas mudanças no clima, bem como para examinar como diferentes tipos de crescimento econômico e organização social afetam a vulnerabilidade e capacidade de adaptação aos impactos potenciais. A maioria destes cenários exige uma avaliação com elevada resolução espacial, e atualmente são buscados métodos alternativos para a redução quantitativa e qualitativa de escala desses fatores, e assim ser consistente com as premissas socioeconômicas adotadas pelos cenários de emissões globais.

Os quatro tipos de cenários são utilizados de forma individual ou associados entre si para descrever os possíveis caminhos que a humanidade irá percorrer, e servem para

inúmeros estudos de mudanças climáticas. Eles são gerados a partir de três tipos de modelagem e estruturas analíticas na pesquisa climática, identificados por MOSS *et al.* (2010):

1. Modelos de Avaliação Integrada, os quais representam as principais características dos sistemas humanos, como a demografia, uso de energia, tecnologia, economia, agricultura, silvicultura e uso da terra, incorporando também representações simplificadas do sistema do clima, ecossistemas, e, em alguns casos, impactos do clima. São usados para desenvolver cenários de emissões, estimar os potenciais impactos económicos das alterações climáticas e os custos e benefícios de mitigação, simular feedbacks, e avaliar incertezas;
2. Modelos Climáticos, os quais se utilizam os MCGs explicados anteriormente;
3. Modelos de avaliação de impactos, adaptação e vulnerabilidade às mudanças climáticas, os quais apresentam uma grande variedade de métodos de abordagens quantitativa e qualitativa. Incluem observações, modelagem, técnicas de avaliação que envolvem os atores envolvidos nos processos estudados, métodos de avaliação econômica e análise de decisão. Abordando temas desde da biofísica como da economia, exploram as consequências das mudanças climáticas sobre os recursos e as atividades sensíveis ao clima, fornecendo um modo de avaliar os potenciais impactos associados a diferentes magnitudes da mudança climática e da eficácia comparativa entre diferentes estratégias de resposta e opções de gestão.

Segundo HANNAH (2011), o IPCC buscou o uso de alguns cenários padrões, facilitando assim as comparações entre diferentes resultados. Ele estimulou este campo de estudo por meio da encomenda de diversos conjuntos de cenários de emissões para uso em seus relatórios, sempre validando os mesmos por anos antes de acatá-los.

O primeiro cenário usado pelo IPCC foi o A (SA90), o qual abordou quatro caminhos de emissões, incluindo um futuro de “*business as usual*” e três cenários políticos (IPCC, 1990; MOSS *et al.*, 2010). Eles foram seguidos pelos seis cenários do IS92, IS92a-f, que atualizaram diversas informações socioeconômicas e descartaram incertezas sobre o crescimento econômico, população e tecnologia de grande implicância

futura, como a alteração do protocolo de Kyoto de Londres e as extensas alterações socioeconômicas da antiga USSR (IPCC, 1992, 1994; MOSS *et al.*, 2010).

Posteriormente, durante sua plenária de 1996, o IPCC requisitou à comunidade científica o Relatório Especial sobre Cenários de Emissões (SRES), incluindo em termo de referência diversas requisições, como não incluir políticas futuras que explicitamente abordassem as mudanças climáticas (similar ao IS92) e que o processo fosse aberto e incluísse considerações e a participação de diferentes atores. Assim, com quatro famílias de cenários e uma infraestrutura de modelagem com seis modelos baseados em vasta literatura, foram gerados 40 cenários que exploraram as incertezas futuras das emissões de GEE e outros poluentes de vida curta. Ao contrário de seus predecessores, as projeções quantitativas do SRES foram complementadas por narrativas do futuro, as quais se mantinham consistentes com suas premissas até a data final de estudo (NAKICENOVIC, 2000; IPCC, 2014a). Cenários ilustrativos foram escolhidos para cada um dos grupos de cenários representativos das incertezas, A1B, A1FI, A1T, A2, B1 e B2, uma vez que são caminhos igualmente plausíveis. A seguir, são descritas as principais características destas famílias, segundo NAKICENOVIC (2000).

- Família A1. Ela descreve um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, com a população global atingindo um pico próximo a metade do século e declinando em seguida, sendo característica a rápida introdução de novas e mais eficientes tecnologias. O enredo apresenta como bases fundamentais a convergência entre regiões, o aumento da capacitação e das interações culturais e sociais, com uma redução substancial das diferenças regionais de renda per capita. A família A1 é subdividida em três grupos, relacionados a direções alternativas quanto às mudanças tecnológicas na ênfase dos sistemas de energia: sistema de base fóssil intensiva (A1FI), sistema de base em fontes de energia não-fósseis (A1T), ou um balanço de todas as fontes sem depender demais de uma fonte de energia especial (A1B).
- Família A2. Ela descreve um mundo muito heterogêneo. O enredo subjacente envolve a autossuficiência e a preservação das identidades locais. Os padrões demográficos entre as regiões convergem muito lentamente, o que resulta em crescimento contínuo da população. O desenvolvimento econômico é regionalmente orientado, com tanto o crescimento econômico per capita

como a mudança tecnológica são mais fragmentados e lentos do que nos outros contextos.

- Família B1. Ela descreve um mundo convergente com população global semelhante a A1, mas com rápida mudança nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informações, com reduções da intensidade material e introdução de tecnologias limpas e eficientes. A ênfase está nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, inclusive a melhoria da equidade, mas sem iniciativas climáticas adicionais.
- Família B2. Ela descreve um mundo em enfatiza no uso de soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo com população global crescente continuamente, mas com taxa inferior à da A2, apresenta níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversa do que em B1 e A1. Enquanto os cenários dessa família também são orientados em direção à proteção ambiental e equidade social, eles focam nos níveis local e regional.

Segundo MOSS *et al.* (2010), os cenários do SRES foram usados no AR3 e no AR4, com as projeções climáticas baseadas principalmente sobre o A2, A1B e B1. No entanto, novos cenários foram requisitados para o AR5, dada a diversidade dos modelos quanto ao ciclo de carbono e química atmosférica, as quais geraram discrepâncias nas concentrações a longo prazo de GEE e aerossóis para mesmos cenários. Além disso, existe um crescente interesse em cenários climáticos que exploram diferentes abordagens de mitigação, como aqueles com a adoção de políticas de intervenção que levem à redução ou estabilização das concentrações GEE, ou ainda que considerem a alteração do uso e cobertura do solo baseado na adaptação com foco em produção de bioenergia. Não obstante, se passou quase uma década de novos dados econômicos, de informações sobre tecnologias emergentes e de observações de fatores ambientais, como o uso da terra e mudanças de cobertura da terra, os quais precisam ser incorporados nos estudos.

Os cenários revistos foram desenvolvidos por um processo diferente dos anteriores. Até então, os cenários usados pelo IPCC seguiam um processo linear em cadeia, com a criação de cenários socioeconômicos plausíveis, dos quais seriam derivados cenários de emissão, que levariam a diferentes cenários de forçamento radiativo, que por sua vez serviriam para determinar cenários climáticos futuros, e aí realizar a pesquisa sobre os

possíveis impactos, mitigações e adaptações necessárias a estas projeções de realidade. Este processo é longo e demorado, e acabou por gerar inconsistências, apontadas no AR4, uma vez que modelos de diferentes gerações foram usados para comparações 10 anos depois do início do projeto.

Em prol da resolução destas dificuldades, foi proposta uma nova abordagem, a qual integra as questões de avaliação de impactos, adaptações e vulnerabilidades de forma paralela. Eles não estão diretamente baseados em narrativas socioeconômicas nem necessariamente mais precisos nas previsões do que os cenários SRES, mas são mais rápidos. O início do processo se dá a partir dos diferentes cenários de forçamento radiativo esperados para o ano de 2100 advindos de inúmeras combinações socioeconômicas, tecnológicas, demográficas, políticas e institucionais, gerando diferentes evoluções de emissões de GEE (incluindo uma abordagem de gases de curta duração mais consistente) e de cobertura e uso do solo no decorrer do século XXI. Nomeados de Caminhos Representativos de Concentração (RCPs), cada um destes apresenta um valor esperado de incremento do forçamento radiativo atmosférico ¹⁶para o ano de 2100, relativo ao ano de referência de 1750. Não obstante, apresentam níveis de concentração espaçados (em torno de 2 W/m^{-2}) e sua escolha pela comunidade científica buscou abranger a maior parte dos cenários identificados na literatura. A partir destes, os grupos de modelagem climática e de avaliação integrada podem trabalhar simultaneamente, aproveitando ainda o benefício de lidar com um grupo reduzido de cenários, deste modo poupando recursos computacionais e permitindo a realização de novos tipos de experimentos. (MOSS *et al.*, 2010; VAN VUUREN *et al.*, 2011a, 2011b; IPCC, 2014a). A elaboração dos RCPs seguiu uma linha de critérios gerais, descritos por MOSS (2010a):

1. Os RCPs devem ser baseados em cenários publicados na literatura existente, desenvolvidas independentemente por diferentes grupos de modelagem e, como um conjunto, ser representativos da literatura no total, em termos de emissões e concentrações; ao mesmo tempo, cada um dos RCPs deve proporcionar uma descrição plausível e internamente consistente do futuro;

¹⁶ Para os resultados das modelagens provenientes do CMIP5, esses valores devem ser entendidos como meramente indicativos, uma vez que o forçamento radiativo climático resultante de todos os fatores principais varia entre modelos devido a características e tratamento dos efeitos de curta duração específicos, lidando com concentrações ou emissões e não o forçamento propriamente dito. IPCC 2014a.

2. Os RCPs devem prestar informações sobre todos os componentes do forçamento radiativo que são necessários de entrada para a modelagem do clima e da química atmosférica (GEE, poluentes atmosféricos e do uso da terra). Além disso, eles devem disponibilizar essas informações de uma forma geograficamente explícita;
3. Os RCPs devem harmonizar os pressupostos sobre ano base de referência para as emissões e uso da terra e permitir uma transição suave entre períodos de análises históricos e futuros;
4. Os RCPs devem cobrir o período até 2100, mas a informação também deve ser disponibilizada para os séculos posteriores.

Os trabalhos individuais que descrevem cada RCP são RIAHI *et al.* (2011), MASUI *et al.* (2011), THOMSON *et al.* (2011) e VAN VUUREN *et al.* (2011b), respectivamente aos RCP 8.5, RCP 6, RCP 4.5 e RCP 2.6. Segundo VAN VUUREN *et al.* (2011a), cada um deles discute brevemente os sistemas de modelagem que criaram cada RCP, as principais premissas socioeconômicas, as tendências no uso de energia e os detalhes sobre emissões e uso da terra, e ainda apresentam cenários alternativos que levam aos mesmos padrões de forçamento radiativo. Não obstante, para auxiliar a compreensão dos modelos perante alterações climáticas a longo prazo, os RCPs foram prorrogados até 2300 utilizando alguns critérios simplificados, permitindo um certo grau de arbitrariedade quanto as concentrações e emissões de GEE pós-2100, os quais não foram abordados neste estudo.

Especificamente, o RCP 2.6 é representante de um cenário que tem o objetivo de manter o aquecimento global provavelmente abaixo de 2°C acima das temperaturas pré-industriais (1750). Também chamado de RCP3-PD, suas emissões descritas levam a um forçamento radiativo de cerca de 3 W/m² em meados do século e depois entram em declínio (PD significa pico-e-declínio, ou *overshot*). Ele incorpora políticas de mitigação rigorosas, com um desenvolvimento médio da população, renda, uso de energia e uso da terra. Algo importante neste RCP é a abordagem de tecnologias de bioenergia com captura e armazenamento de carbono (BECCS) nas opções de mitigação. Elas são cruciais para se conseguir alcançar o alvo de 2,6 W/m², uma vez que introduz o potencial para criar emissões líquidas negativas no sistema de energia. Comparado ao SRES, este RCP está abaixo de todos os cenários descritos. (VAN VUUREN *et al.*, 2011a, 2011b; IPCC, 2014a)

RCP4.5 é um cenário de estabilização de força radiativa médio-baixa que assume que políticas climáticas, como a introdução de um conjunto de preços globais de emissões de GEE, são invocadas para atingir o objetivo de limitar o forçamento radiativo a 4.5 W/m², sem chegar a ultrapassar este valor no século XXI. Estas políticas apresentam desdobramentos sobre a matriz energética, uso da terra e a economia global, mas foram identificados muitos caminhos possíveis para manter este valor em 2100, até quando algumas opções de tecnologia, como a de captura e armazenamento de carbono (CCS) ou incremento da energia nuclear, são desconsideradas, ou ainda se nem todos os países entrarem em um acordo de mitigação das emissões. Relativo ao SRES, este RCP se aproxima ao cenário B1. (VAN VUUREN *et al.*, 2011a; THOMSON *et al.*, 2011; IPCC, 2014a)

O RCP6 é um cenário de estabilização de força radiativa médio-alta, com imposição de políticas climáticas para restringir o valor a 6,0 W/m². O pico de emissões de GEE se dá em torno de 2060 (17,7 GtC/ano) e depois declina até 2100 (13,0 GtC/ano), limitado através de um mercado mundial de licenças de emissão. Embora as reduções em relação ao cenário de referência comecem em 2010, a intensidade de mitigação de emissões de GEE necessária para atingir este forçamento radiativo durante o período 2010-2060 é pequena, tanto em comparação aos RCP4.5 e RCP2.6 quanto ao período de 2060-2100. Relativo ao SRES, este RCP se aproxima ao cenário A1B (mais após 2100 do que durante o século XXI). (VAN VUUREN *et al.*, 2011a; MASUI *et al.*, 2011; IPCC, 2014a)

O RCP 8.5 não inclui qualquer objetivo específico de mitigação. As emissões de GGE e as concentrações deste cenário aumentam consideravelmente ao longo do tempo, levando a um forçamento radiativo de 8,5 W/m² no final do século. Suposições relativas às tendências ou sobre mudanças tecnológicas, demográficas e econômicas da sociedade são baseadas na narrativa revisada e ampliada do cenário SRES A2, mas acabam com um forçamento superior ao A2 em 2100 e perto do cenário A1FI. (VAN VUUREN *et al.*, 2011a; RIAHI *et al.*, 2011; IPCC, 2014a).

Após o entendimento dos diferentes métodos, tanto de modelagem potencial da vegetação como da circulação global, e a incorporação da expectativa mundial de que a humanidade está a alterar as características meteorológicas com a emissão antrópica de GEEs, se faz necessário entender o quanto destas expectativas já se concretizou, como poderá progredir e a extensão dos impactos causados e esperados sobre os sistemas naturais e humanos. O próximo capítulo irá abordar a vulnerabilidade destes sistemas às

alterações climáticas, assim como a observação dos efeitos e impactos percebidos e esperados, culminando com ações de gestão e mitigação dos efeitos adversos sobre os remanescentes naturais.

5. Vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças climáticas

Neste capítulo serão ilustrados os conceitos de vulnerabilidade às mudanças climáticas, tanto para os ecossistemas como para o meio antrópico. Serão utilizados exemplos de impactos atribuídos a estes decorrentes das variações climáticas de base antrópica, de modo a ilustrar a real magnitude do problema, sua abrangência e potencial de danos futuros. Por fim, buscar-se-á descrever ações de gestão para mitigação e adaptação destas consequências indesejáveis que possam ser utilizadas para auxiliar a elaboração de planos e programas públicos ou particulares.

5.1. Conceitos

A sociedade se conscientiza cada vez mais sobre o mal que as suas atividades podem causar para o ambiente, e o mal que a perda ou diminuição da qualidade de vida pode resultar da degradação ambiental. A necessidade de se minimizar os riscos aos danos ambientais provenientes do progresso econômico e social está cada vez mais clara, apesar de ser muito difícil quantificar e julgar a relação humana com o meio, assim como a ponderação entre a proteção ambiental e o impacto sobre o crescimento.

Como afirma NASCIMENTO (2011), a relação homem-natureza se modifica de acordo com a evolução e aumento de complexidade da sociedade, alterando a intensidade e o tipo de demanda por recursos naturais. Nos últimos séculos, principalmente a partir da revolução industrial e da atrelada explosão demográfica, a pressão sobre o planeta se transformou em verdadeira ameaça sobre o meio natural por conta do uso exponencial e praticamente indiscriminado dos recursos naturais, principalmente minerais e combustíveis de origem fóssil. Esta pressão gera riscos para a natureza e para a sociedade que nela habita, os quais são potencializados para os receptores mais sensíveis às crescentes alterações. Assim, se faz necessário a definição de alguns conceitos norteadores deste trabalho, permitindo a compreensão dos impactos decorrentes das mudanças climáticas na biosfera.

Algo fundamental no entendimento do tema envolve a definição de impacto ambiental. A Resolução Conama nº 001/86 o define como:

“...qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem:

- *A saúde, a segurança e o bem-estar da população;*
- *As atividades sociais e econômicas;*
- *A biota;*
- *As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e*
- *A qualidade dos recursos ambientais”*

A NBR ISO 14.001: 2004 apresenta uma definição similar, a qual é a seguinte: *”qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização”*.

SÁNCHEZ (2006) descreve as características os tipos de ações humanas que geram impactos ambientais:

- Supressão de elementos do ambiente (a vegetação, aterro de um lago);
- Inserção de elementos no ambiente (espécies exóticas, barragens, cidades)
- Sobrecarga por meio de alterações de fatores, gerando desequilíbrio (poluentes, espécies exóticas, redução de habitat, aumento de demanda)

O mesmo autor usa como definição de impacto ambiental *“alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana”*. Ainda frisa que ele é o resultado da ação, e não a ação em si. Como exemplo, diz que a construção de uma estrada ou sua existência, ou ainda o reflorestamento, não são impactos ambientais, mas são as suas fontes geradoras (causas).

Uma outra definição interessante inclui a variável tempo, derivada da legislação portuguesa de avaliação de impactos ambientais:

“Conjunto das alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas no ambiente, sobre determinados fatores, num determinado período de tempo e numa determinada área, resultantes da realização de um projeto, comparadas com a situação que ocorreria, nesse período de tempo e nessa área, se esse projeto não viesse a ter lugar.” (Decreto-Lei n.º 151-B/2013 do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2013).

A inclusão da noção de tempo leva a desdobramentos importantes. A influência da variação da velocidade das ações geradoras pode ser comparada com a magnitude dos impactos observados, melhorando a compreensão dos efeitos do evento estudado. Não obstante, a localização no eixo temporal dos impactos ressalta uma característica

fundamental, a sua duração. A noção de término, precedidos por um início e meio, facilita a percepção e quantificação da relação de causa e consequência, e, por conseguinte, leva a possibilidade de recuperação ambiental por meio de intervenções que retirem as fontes de impacto e/ou impulsionam processos-chave na evolução do ciclo natural do evento gerador para uma nova situação de equilíbrio, preferencialmente próxima à situação inicial, ou seja, antes da perturbação.

Sobre este último termo, PILLAR (1994) descreve as perturbações ou distúrbios como os eventos que iniciam, interrompem ou redirecionam o processo de sucessão ou regeneração de ecossistemas. Exemplos incluem fogo, ação de herbívoros, queda de árvores, inundações, revolvimento de solo, etc. GLENN-LEWIN *et al.* (1992) ainda considera o distúrbio em três dimensões: espacial, temporal e intensidade, de modo que estes termos podem ser utilizados como sinônimos de fontes geradoras de impactos.

Outras definições de grande valor para a temática deste estudo são as noções de Risco e Vulnerabilidade, as quais relacionam a suscetibilidade dos receptores aos efeitos destes impactos.

O conceito de Risco é muito versátil, e por ser usado por diversas áreas de conhecimento, acaba apresentando inúmeras definições. BERNSTEIN (1996) faz uma colocação interessante, argumentando que um dos grandes marcos da cultura moderna é utilizar o risco como um método racional de lidar com um futuro incerto, deixando de lado rezas, profecias, tradições, augúrios e palpites. Ainda o mesmo autor, este resgata o início do uso deste termo às casas de jogos, onde apostadores necessitavam calcular quais as probabilidades de sucesso, e, posteriormente, países mercadores no século XVII, como a Inglaterra ou Holanda, que necessitavam determinar os prêmios sobre anuidades e a probabilidade de uma embarcação enviada a uma viagem voltar com sucesso.

Existem muitas discussões sobre a percepção do risco, e uma variada gama de estudos no âmbito da teoria da decisão e da sociologia, remetendo a indivíduos propensos ou não a se submeterem a situações arriscadas sob o mesmo estímulo ou recompensa, também influenciada por forças externas e embasamento cultural. Para GRIMA *et al.* (1986), um risco aceitável é aquele em que a probabilidade de ocorrência da adversidade é tão baixa, ou as consequências indesejadas provenientes são insignificantes, ou ainda os benefícios (percebidos ou reais) são tão bons que a pessoa, grupo ou sociedade os aceitam voluntariamente. BERNSTEIN (1996), entretanto, remete a ocorrência de muitos

acidentes à não-identificação ou subestimação do perigo e do risco envolvido em uma situação ou curso de ação pelos indivíduos, levando a uma percepção equivocada, que menospreza o risco real.

As populações de baixa renda também acabam por assumir riscos maiores em seus hábitos, desde condições de trabalho insalubres, como catadores de lixo em aterros não controlados ou à localidade de sua moradia. FERNANDES *et al.* (1999) relacionou a evolução das moradias informais, favelas, por áreas que foram desprezadas pela urbanização formal, principalmente devido a serem áreas favoráveis a deslizamentos, como fundos de vales e sopés de paredões rochosos, e ainda afirmou que a própria dinâmica desta ocupação, envolvendo desmatamentos, produção de resíduos, alteração na dinâmica hídrica e ausência de planejamento adequado das construções, aumenta ainda mais o risco de movimentos de massa no local.

Mas não é somente voluntária a exposição ao risco. Áreas de elevado grau de pobreza também atraem perigos para dentro de si. A necessidade de subsistência pode levar a adoção de práticas pouco seguras por indivíduos, expondo pessoas não envolvidas em tais atividades a se tornarem alvos potenciais de danos. DECAT (2007) apresenta o caso de uma fábrica clandestina de fogos, em Santo Antônio de Jesus, na Bahia, que ocasionou na morte de 64 pessoas, sendo que algumas destas se encontravam nas proximidades do local, sem estarem envolvidas na produção. Apesar do incidente, o funcionamento clandestino da fábrica continuou a posteriori efetuado por moradores e adolescentes locais, baseados na alegação que não conhecem outra fonte de renda possível.

A baixa instrução também eleva o risco. A negligência das normas de segurança e higiene devido à falta de conhecimento, desde a utilização dos equipamentos de proteção adequados em um canteiro de obras ao consumo de alimentos mal lavados, aumenta a chance de danos. Identificar sinais de alerta, ler corretamente manuais de informação e conhecer os próprios direitos cíveis permitem que os indivíduos tomem as devidas precauções, além de poder perceber situações que as prejudiquem e, deste modo, possam tomar atitudes corretivas, como por exemplo, denunciando-as às autoridades competentes.

Fatores que não estão atrelados à classe social também podem afetar a probabilidade de indivíduos serem afetados por perigos. A presença de incentivos em um local com

risco de acidentes ou área contaminada pode levar a que um grupo maior de pessoas frequente o local. A presença de recursos naturais, fontes de alimento, pontos de interesse cultural ou relevância histórica, locais que possam oferecer abrigo, áreas de lazer e atividades que possibilitem ganhos financeiros, estimulam a manutenção e a nova entrada de possíveis receptores, inclusive os ecológicos. Hábitos locais, algumas vezes restritos a um município ou até uma cidade, podem tornar uma população mais propensa a riscos do que outra, podendo a interação destes fatores ser sinérgica.

Algumas definições deste conceito são destacadas a seguir, permitindo um vislumbre do panorama da literatura sobre a questão:

Segundo SANDERS & MCCORMICK (1993), risco é a probabilidade ou chance de lesão ou morte.

Segundo KOLLURU (1996), risco é formado por um conjunto de fatores, dentre eles a natureza do perigo, acessibilidade ou acesso de contato (potencial de exposição), características da população exposta (receptores), a probabilidade de ocorrência e a magnitude da exposição e das consequências.

Segundo SHINAR *et al.* (1991), risco é um resultado medido do efeito potencial do perigo.

Segundo a CETESB (2007), risco é uma medida de danos à vida humana, resultante da combinação entre a frequência de ocorrência e a magnitude das perdas ou danos (consequências).

A partir destas definições, foi estabelecida aquela adotada pelo presente trabalho, sendo: risco é uma medida que combina a probabilidade ou frequência da ocorrência de um evento que possa causar danos, e a magnitude das consequências adversas à saúde humana ou aos receptores ambientais, tanto naturais como antrópicos, decorrente à exposição a um perigo.

Percebe-se que o risco cresce à medida que a probabilidade, ou magnitude, ou ambos aumentam. As consequências adversas podem compreender desde ferimentos, doenças, degradação dos recursos naturais, perda de espécies, dano a propriedades, perda econômica, entre outros. Não obstante, algo que deve ser ressaltado sobre todas as definições é a incerteza ligada ao futuro, sendo uma chance de ocorrência, e somente com a progressão do tempo que poderá se verificar se o evento indesejável ocorrerá ou não.

Os próprios receptores (humanos, animais, plantas, habitats, ecossistemas, bens materiais, etc.), a parte do ambiente que é exposta a um perigo, apresentam suas incertezas inerentes. Estas são claramente evidenciadas quando se estuda a ampla variação das consequências de exposição a mesma intensidade de perigos de distintos receptores, tanto de tipos diferentes (um humano e uma abelha) quanto ao mesmo tipo (dois fragmentos de 1 hectare de floresta ombrófila densa), podendo os resultados serem desde desprezíveis a fatais.

Esta variabilidade de alterações frente impactos é decorrente de inúmeras diferenças individuais, variando tanto com a natureza do receptor (seu tipo, idade, forma ou estrutura física, fisiologia, etc.) quanto seu histórico de vida (condições ambientais, localização, memória imunológica, saúde, vínculos afetivos, ferramentas disponíveis, conhecimento, entre outros fatores aleatórios). A escala de comparação da magnitude de suscetibilidade de receptores a um mesmo impacto ambiental pode então ser compreendida como sua vulnerabilidade.

Segundo LEXTER (2006), Vulnerabilidade é o grau no qual um sistema é suscetível a, e sua capacidade de lidar com ferimentos, danos ou males; a sensibilidade do ambiente receptor às consequências de um perigo. Neste contexto, é um fator determinante para a magnitude de consequências adversas da exposição de um receptor a um perigo. Esta definição pode ser extrapolada para a vulnerabilidade regional é medida como uma combinação de potencial de dano territorial com a capacidade territorial de resposta.

KLEIN & NICHOLLS (1999) desenvolveram um arcabouço sistêmico para definir a vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar, iniciando pela divisão entre vulnerabilidade natural e socioeconômica. Os autores afirmam que ocorre uma clara interação entre os subsistemas, porém, para analisar a vulnerabilidade socioeconômica deveria se conhecer primeiro a vulnerabilidade do sistema natural, decorrente da interação de três fatores: Suscetibilidade - potencial de ser afetado pelo fenômeno em questão; Resistência - Habilidade de resistir ao impacto do fenômeno em questão; e Resiliência - Velocidade de recuperação após impacto do fenômeno em questão. Sobre estes dois conceitos, BEGON *et al.* (2006) apresenta sua aplicação à ecossistemas. A resiliência seria a rapidez com que uma comunidade retorna a seu estado original após uma perturbação que o retirou desta condição. A resistência descreve a habilidade desta comunidade evitar um deslocamento frente uma perturbação.

Por outro lado, ZAKOUR & GILLESPIE (2013) englobam estes termos dentro da Teoria da Vulnerabilidade, a qual se aplica a qualquer tipo de sistema social, apesar de poder ser transposta para sistemas naturais. A vulnerabilidade é percebida como o grau de susceptibilidade a desastres de uma comunidade em comparação com o seu nível de resistência às catástrofes. Esta teoria busca explicar a susceptibilidade de indivíduos, grupos organizações, comunidades e países a perdas por desastres. A origem desta teoria surgiu nos anos 70, quando se percebeu que as perdas por desastres estavam aumentando, enquanto que o número de desastres se mantinha relativamente constante. Não obstante, a noção de que desastres da mesma magnitude produziam consequências dramaticamente diferentes quando ocorriam em outras localidades levou a compreensão de que as causas para tais divergências têm como fundo as diferenças históricas e socioeconômicas. O objetivo final desta teoria reside na redução das perdas causadas por desastres e desenvolvimento das aptidões da comunidade e sua resiliência a desastres.

Esta teoria apresenta algumas premissas, que se seguem:

1. Vulnerabilidade dos sistemas sociais é a capacidade reduzida para se adaptar às circunstâncias ambientais;
2. A vulnerabilidade não é distribuída uniformemente entre as pessoas ou comunidades;
3. O conceito de vulnerabilidade a desastres é multidimensional;
4. A disponibilidade e distribuição equitativa dos recursos em uma comunidade diminui a vulnerabilidade a desastres e facilita a resiliência;
5. A vulnerabilidade é em grande parte o resultado das aptidões e fraquezas ambientais;
6. Atributos sociais e demográficos estão associadas a vulnerabilidade à desastres, mas não são suas causas diretas;
7. Condições inseguras de vida e trabalho são as causas sociais mais imediatas de desastres;
8. As características socioculturais de uma comunidade ou sociedade, tanto históricas como no presente, são as bases das catástrofes;
9. Desastres ocorrem por uma reação em cadeia na qual causas basais interagem com pressões estruturais para produzir condições inseguras. Perigos então interagem com tais condições inseguras para desencadear um desastre;

10. Cultura, ideologia e significado compartilhado são de importância central na progressão da vulnerabilidade;
11. Aptidões e fraquezas ambientais, em conjunto com a susceptibilidade à desastres estão relacionados de maneiras complexas para produzir o nível de vulnerabilidade de uma comunidade;
12. Os ambientes das comunidades estão crescendo em complexidade e em escala, se tornando cada vez mais globais;

A vulnerabilidade é conceituada como uma variável de estado, representando condições que se acumulam ao longo do tempo e descrevem as dimensões de um sistema. Todo sistema apresenta algum nível de vulnerabilidade em qualquer ponto, e buscam reduzir seus níveis de vulnerabilidade ou de mantê-los baixos. Ela descreve as condições, estas sempre em mudança, antes de um impacto acontecer. Em contraste, a resiliência é conceituada como uma variável de processo, representadas por ações ou medidas tomadas em sequência. Ela só pode ser conhecida através da observação de seus processos, e pode até não existir. Sistemas procuram aumentar a sua resiliência, se recuperar de forma rápida e eficaz de uma perturbação.

O mesmo autor ainda relata que os teóricos de vulnerabilidade se baseiam nas ideias de fraquezas (*Liabilities*) e capacidades (*Capabilities*) ambientais para explicar, respectivamente, suscetibilidade e resistência. As fraquezas são características ambientais que aumentam os efeitos de estresses, adversidades ou a perdas. Em outras palavras, as fraquezas aumentam a probabilidade de ocorrência de impactos, amplificam seus efeitos nocivos e atenuar os processos de resposta e recuperação. As fraquezas no ambiente aumentam a vulnerabilidade de desastre nos sistemas sociais e culturais. Ideologias que justificam a desigualdade política e econômica aumentam a susceptibilidade à desastres. Como exemplo de fraquezas podemos citar:

- Acesso limitado ao poder político;
- Falta de recursos sociais e naturais;
- Falta de acesso ou equidade aos recursos;
- Pobreza;
- Doenças endêmicas;
- Abuso de drogas;
- Falta de moradia;
- Violência;

- Racismo e sexismo;
- Histórico de exploração colonial;

As capacidades ambientais refletem aspectos do ambiente social, físico e natural que proporcionam recursos necessários para a mitigação, preparação, resposta e recuperação à desastres, uma forma de capital tripartido, dividido em social, ambiental e físico. O capital social inclui os recursos tangíveis e intangíveis incorporados em redes sociais e estruturas sociais da comunidade, incluindo a influência política, os ativos econômicos e sociais, além de ideologias de apoio à dignidade, justiça social e aos direitos pessoais. Instituições que evitem a estratificação política e econômica e organizações de emergência e respostas a desastres também são importantes recursos ambientais que reduzam a vulnerabilidade e aumentam a resiliência da comunidade.

As capacidades ambientais de cada local diferem tanto por tipo quanto por níveis de capital (social, ambiental e físico) disponível, relacionadas com o contexto do desenvolvimento cultural, econômico, histórico e geográfico. Exemplos de capacidades ambientais incluem organizações de gestão de emergência bem equipadas, instituições de serviços de apoio com altos níveis de capital social, ou ainda características naturais, como os pântanos e áreas alagadas abaixo da cidade de Nova Orleans, Louisiana, que reduzem a altura da maré de tempestade de furacões em cerca de 30 cm para cada 5 km de zonas húmidas.

ADGER *et al.* (2004) descreve a capacidade ambiental como a habilidade de um sistema se modificar ou alterar suas características determinantes ou comportamentos de forma a lidar melhor com estresses externos previstos ou existentes. A diminuição da vulnerabilidade social pode ser vista como a realização da capacidade de adaptação, gerando a adaptação do sistema. Dado níveis constantes de perigo ao longo do tempo, a adaptação vai permitir uma redução do risco associado a estes perigos, minimizando a sua vulnerabilidade social; confrontado com o aumento de perigos, um sistema pode manter os mesmos níveis de risco através de tal adaptação; reduções de risco em face do aumento dos perigos exigirá um esforço de adaptação maior, o qual pode não ser o suficiente quando os perigos aumentarem drasticamente tanto em frequência e/ou magnitude, o que pode causar o colapso do sistema afetado.

Para ZAKOUR & GILLESPIE (2013), a vulnerabilidade da comunidade a catástrofes naturais e tecnológicas está diretamente ligada ao número e condição de

perigos no ambiente. Os países em desenvolvimento são altamente vulneráveis aos desastres por causa de condições de vida empobrecidas e a ausência ou fragilidade de sistemas de alerta. Estes sofrem desproporcionalmente com problemas sociais, carecendo de financiamento para a educação, equipamentos para prevenção, resposta e recuperação de desastres. Embora as perdas econômicas causadas por desastres naturais são geralmente mais elevadas nos países desenvolvidos (em valores absolutos), o número de pessoas mortas ou atingidas por desastres é consideravelmente maior em nações em desenvolvimento. Quase 80% de todas as mortes por desastres na década após 2000 ocorreram nos países menos desenvolvidos ou em desenvolvimento. Um exemplo marcante citado por ZAKOUR & GILLESPIE (2013) foram dois terremotos de 7.5 graus na escala Richter, um em Loma Prieta, Califórnia/USA (1989), e o outro no Paquistão (2005). Embora impactos de forças similares, o primeiro local, situado em um país desenvolvido de IDH de 0,858 em 1990 (0,914 em 2013), apresentou uma perda de 68 vidas, e o segundo local, situado em um país de baixo desenvolvimento humano com IDH de 0,504 em 2005 (0,537 em 2013), apresentou 73.338 casualidades (UNDP, 2015).

O IPCC (2014a) complementa o argumento inferindo que indivíduos marginalizados socialmente, economicamente, culturalmente, politicamente, institucionalmente, ou de outras formas possíveis na sociedade são especialmente vulneráveis às alterações climáticas e à algumas respostas de adaptação e mitigação, ocorrendo como produto da interseção processos sociais que resultam em desigualdades no status socioeconômico e renda, bem como no favorecimento da exposição. Tais processos sociais incluem, por exemplo, a discriminação com base no gênero, classe, etnia, idade e deficiências. O esquema representado na Figura 12 resume estas interações, e a lista abaixo apresenta exemplos de impactos, riscos e respostas frente às mudanças climáticas com base na desigualdade:

- Membros privilegiados da sociedade podem se beneficiar de impactos das mudanças climáticas e estratégias de resposta, dada a sua flexibilidade na mobilização, acesso a recursos e posições de poder, muitas vezes em detrimento de outros.
- Impactos diferenciados entre homens e mulheres surgem em decorrência dos distintos papéis que acabam por desempenhar, desde a forma como esses papéis são reforçados ou limitados por outras dimensões de desigualdade

social (sexismo), da percepção sexualmente orientada do risco e da natureza da resposta aos riscos;

- As crianças e os idosos apresentam índices de risco mais elevados devido a restrições de mobilidade, suscetibilidade a doenças infecciosas, ingestão calórica reduzida e isolamento social, além de apresentar maior vulnerabilidade a desidratação, danos físicos, estresse de calor, inundações e incêndios florestais;
- Na maioria das áreas urbanas, grupos de baixa renda, incluindo os imigrantes, enfrentam grandes riscos frente às mudanças climáticas em decorrência da má qualidade, insegurança e aglomeração de moradias, da infraestrutura inadequada e falta de prestação serviços de saúde básica, emergência e resposta a desastres;
- As minorias raciais ou étnicas experimentam mais danos no estresse térmico, geralmente ocasionado pelo baixo poder econômico e más condições de saúde, assim como nas condições de deslocamento após eventos extremos;
- Os modos de vida dos povos indígenas, pastores e pescadores frequentemente são dependentes de recursos naturais, são altamente sensíveis às mudanças climáticas e políticas relacionadas, especialmente aquelas que marginalizam os seus conhecimentos, valores e atividades;
- Grupos desfavorecidos sem acesso à terra e trabalho, em especial com líder familiar do sexo feminino, tendem a se beneficiar menos de mecanismos de resposta às alterações climáticas (por exemplo, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL, Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal - REDD +, aquisição de terras em larga escala para biocombustíveis, e projetos de planejamento de adaptação agrícola).

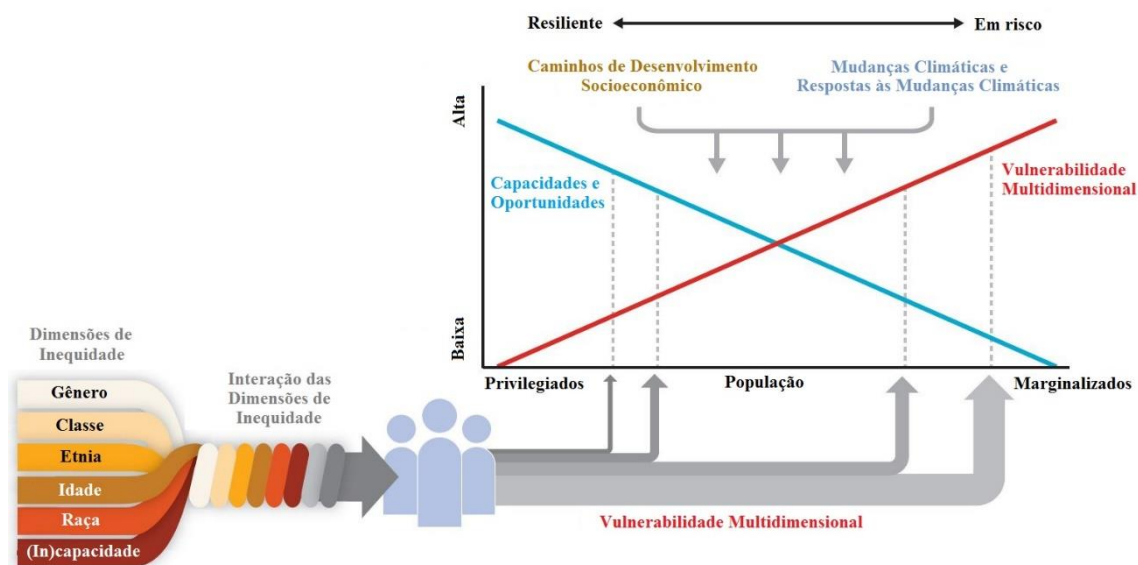


Figura 12: Vulnerabilidade e a inequidade. IPCC 2014a

Para ADGER *et al.* (2004), a vulnerabilidade é um resultado de interações complexas e mal-entendidas que envolvem tanto os processos físicos e a dimensão humana. Ela é o resultado de processos em que os seres humanos se envolvem ativamente e que quase sempre pode evitar. Afirma também que é possível avaliar a vulnerabilidade de uma região, de um sistema ou grupo populacional a uma série de perigos existentes ou hipotéticos com base em uma análise dos fatores que determinam sua suscetibilidade de ser afetado negativamente quando exposto a tais perigos. A multiplicidade de dimensões abordadas por estes fatores resulta que as análises de vulnerabilidade sejam necessariamente interdisciplinares, cobrindo assim as áreas sociais, econômicas, ecossistêmicas, além de respeitar as particularidades e especificidades locais.

Como exemplo, ADGER (2006) atribui que a vulnerabilidade frente a insegurança alimentar é derivada por um conjunto de fatores econômicos e institucionais, e pode ser explicada pela Teoria dos Direitos. Os direitos são os recursos reais ou potenciais que estão disponíveis para os indivíduos com base em sua própria produção, seus bens ou acordos recíprocos. A fonte da insegurança alimentar deve se concentrar na demanda efetiva por alimentos, e os meios sociais e econômicos da sua obtenção. As causas da fome, antes atribuídas somente a deficiências na produção de alimentos através de secas, inundações, ou praga, foram colocadas em segundo plano quando se buscou explicar situações onde as populações apresentam alta vulnerabilidade à fome mesmo sem a escassez absoluta de alimentos ou razões ambientais óbvias. Fome e outras crises ocorrem

quando os direitos do indivíduo estão falhos; são uma consequência da atividade humana, que pode ser evitada por uma modificação comportamental e por intervenções políticas.

EAKIN (2012) afirma que a vulnerabilidade não é nem um resultado nem uma condição interna estática, mas sim uma propriedade dinâmica emergente da estrutura das relações humanas, os atributos internos de populações e locais específicos, bem como a natureza da interação socioambiental. Assim, as avaliações de vulnerabilidade, apesar de se focarem em um determinado atributo de estudo (uma atividade econômica específica, uma população ou região geográfica), também devem abordar o contexto geral do sistema, analisando suas interações e condições estruturais, além da identidade local e sua percepção de valores, significados sociais e sua dimensão. Basicamente, uma análise de vulnerabilidade deve tentar responder uma lista de questões, as quais estão elencadas abaixo:

- Como é definido o sistema humano-ambiental?
- Qual é o estado desejado do sistema?
- Quem ou o que é potencialmente vulnerável?
- Que atributos dos compartimentos expostos são de particular preocupação?
- Quais são os parâmetros-guia imediatos e subjacentes do sistema?
- Como é que estes interagem?
- Como esses parâmetros afetam os atributos de preocupação?
- Quais são as dimensões internas dos compartimentos expostos que afetam a sensibilidade, capacidade e exposição?
- Que resultados se pode esperar?
- Que ações são necessárias para evitar resultados negativos e aumentar a probabilidade de ocorrência do estado desejado?

MALONE (2009) apresenta a vulnerabilidade pela abordagem do desenvolvimento sustentável, a qual é centrada sobre as características sociais que tornam as pessoas vulneráveis, os elementos da governança. Pesquisadores do desenvolvimento sustentável examinam questões gerais de desenvolvimento, tais como a pobreza e o reforço das capacidades ambientais. Não obstante, este autor ainda apresenta este termo pela ótica de outras duas abordagens conceituais, a orientada para pesquisa de impactos, que enfatiza as características físicas de vulnerabilidade, e a orientada aos perigos (*hazards*), que foca na investigação das respostas humanas.

Como NASCIMENTO (2011) e ZAKOUR & GILLESPIE (2013) afirmam, a abordagem conceitual de vulnerabilidade reflete a perspectiva da filiação teórica e da própria formação acadêmica dos autores, as quais muitas vezes podem ser contraditórias entre si. Assim, é relevante que se exponha a visão deste conceito sobre a ótica da comunidade de mudanças climáticas.

Inicialmente, se faz necessário a definição do que se considera como mudanças climáticas. Para o IPCC (2007), estas referem-se a uma mudança no estado do clima devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana, que podem ser identificadas por mudanças na média e/ou na variabilidade das suas propriedades (utilizando testes estatísticos), a qual podem persistir por um longo período de tempo, tipicamente décadas ou mais. Este uso difere daquele na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, 1992), onde a mudança climática refere-se a exclusivamente àquelas atribuídas direta ou indiretamente às atividades humanas que alteram a composição da atmosfera global, uma adição à variabilidade climática natural observada.

O quinto relatório do IPCC (AR5 – IPCC, 2014) infere que os riscos de impactos climáticos resultam da interação dos perigos relacionados ao clima (incluindo eventos extremos e tendências) com a vulnerabilidade e a exposição dos sistemas antrópicos e naturais. Mudanças, tanto no sistema climático como nos processos socioeconômicos, incluindo ações de adaptação e mitigação são os fatores impulsionadores de riscos, exposição e vulnerabilidade. A Figura 13 detalha este esquema.

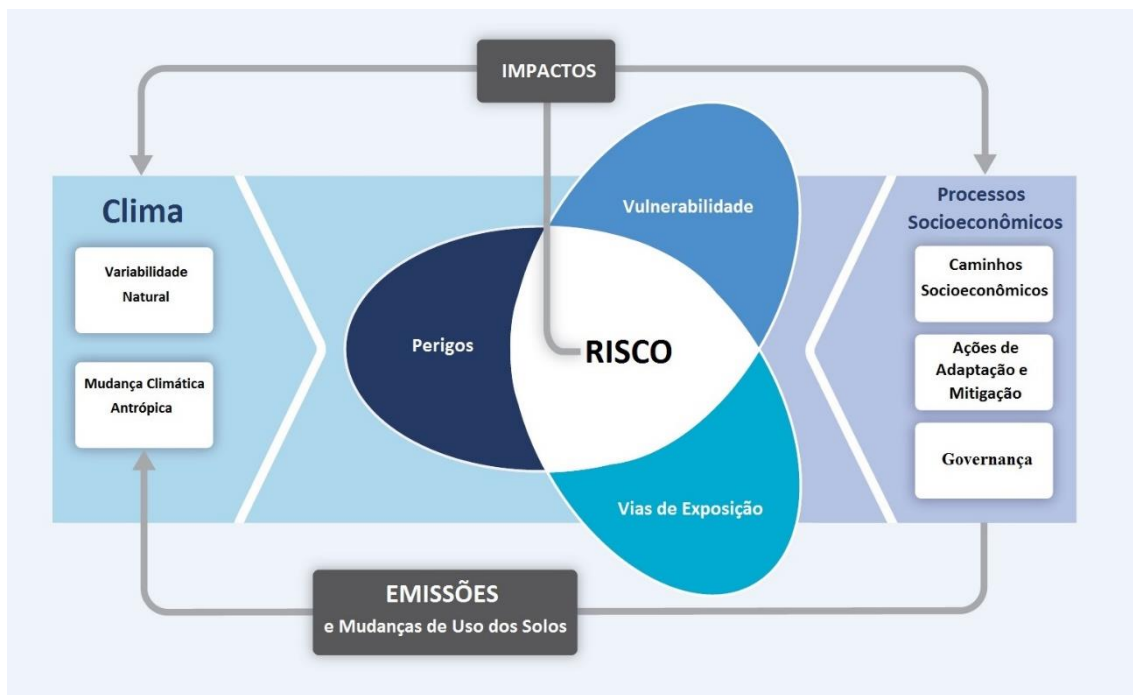


Figura 13: Relação dos principais conceitos do AR5. IPCC 2014 (modificada).

Não obstante, ainda apresenta uma leitura destes conceitos na presente temática, definidos a seguir:

- **Perigo:** A ocorrência potencial de um evento físico natural ou antrópico, ou ainda uma tendência ou impacto físico que possa causar perda de vidas, ferimentos ou outros impactos na saúde, bem como perdas e danos a bens, infraestruturas, meios de vida, prestação de serviços, ecossistemas e recursos ambientais.
- **Exposição:** A presença de pessoas, meios de subsistência, espécies ou ecossistemas, funções ambientais, serviços, recursos, infraestrutura ou bens econômicos, sociais ou culturais em local e/ou situação que possam ser adversamente afetados.
- **Impactos:** Efeitos sobre os sistemas naturais e antrópicos. Este termo é usado principalmente para se referir aos efeitos dos fenômenos meteorológicos e climáticos extremos e das mudanças climáticas sobre os sistemas naturais e antrópicos. Impactos geralmente se referem a efeitos na vida, modos de vida, saúde, ecossistemas, economias, sociedades, culturas, serviços e infraestrutura, devido à interação das mudanças climáticas ou eventos climáticos perigosos com a vulnerabilidade de um sistema ou sociedade exposta, ocorrendo durante um período de tempo específico. Impactos

também são referidos como consequências ou resultados. Os impactos das mudanças climáticas nos sistemas geofísicos, incluindo inundações, secas e elevação do nível do mar, são um subconjunto dos impactos chamados impactos físicos.

- **Risco:** O potencial para consequências onde algo de valor está em jogo e o resultado é incerto, reconhecendo a diversidade de valores. O risco é muitas vezes representado como probabilidade de ocorrência de eventos ou tendências perigosas multiplicadas pelos impactos de sua ocorrência. O risco resulta da interação entre a vulnerabilidade, exposição e perigo.
- **Transformação:** Uma alteração nos atributos fundamentais dos sistemas naturais e antrópicos. A transformação poderia refletir o reforço, alteração ou alinhamento de paradigmas, metas e objetivos, na promoção da adaptação para o desenvolvimento sustentável, incluindo a redução da pobreza.
- **Adaptação:** O processo de adaptação ao clima real ou esperado e seus efeitos. Em sistemas antrópicos, adaptação procura moderar ou evitar danos, ou ainda explorar oportunidades benéficas. Em alguns sistemas naturais, a intervenção humana pode facilitar a adaptação ao clima e seus efeitos esperados.
 - Adaptação incremental: ações de adaptação em que o objetivo central é manter a essência e a integridade de um sistema ou processo em uma dada escala;
 - Adaptação transformacional: Adaptação que altera os atributos fundamentais de um sistema em resposta ao clima e seus efeitos.
- **Resiliência:** A capacidade dos sistemas sociais, econômicos e ambientais para lidar com um evento, tendência ou perturbação perigosa, respondendo ou se reorganizando de modo a manter sua função, identidade e estrutura essencial, ao mesmo tempo que conserva sua capacidade de adaptação, aprendizagem e transformação.
- **Vulnerabilidade:** A propensão ou predisposição a ser afetado negativamente. Vulnerabilidade engloba uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou susceptibilidade ao dano e a falta de capacidade de suporte e adaptação.

O quarto relatório do IPCC (AR4 – IPCC, 2007) apresenta a definição de vulnerabilidade às mudanças climáticas como sendo: “o grau em que os sistemas

geofísicos, biológicas e socioeconômicos são suscetíveis a, e incapaz de lidar com os impactos adversos das alterações climáticas”. O termo vulnerabilidade pode, portanto, referir-se ao próprio sistema vulnerável, como as ilhas de altitude próximas ao nível do mar ou cidades costeiras; o impacto a estes sistemas, como a inundação de cidades costeiras e terras agrícolas e a necessidade de migração forçada; ou ainda o mecanismo que causa esses impactos, por exemplo, a desintegração da camada de gelo da Antártida Ocidental. As vulnerabilidades-chave, ou seja, aquelas de maior potencial de danos ambientais, estão associadas a sistemas sensíveis ao clima, como por exemplo, o abastecimento alimentar, infraestrutura, saúde, recursos hídricos, sistemas costeiros, ecossistemas, os ciclos biogeoquímicos globais, a dimensão das calotas polares, a circulação oceânica e atmosférica, entre outros.

O relatório anterior deste mesmo grupo (AR3 – IPCC, 2001) ressalta que a vulnerabilidade é “uma função do caráter, magnitude e velocidade da mudança do clima e da variação a qual um sistema está exposto, de sua sensibilidade e de sua capacidade de adaptação”, de modo que pode ser aplicada para caracterizar tanto indivíduos como grupos, lugares, ecossistemas, atividades, etc.

MALONE (2009) capta uma outra faceta da vulnerabilidade contida nos relatórios do IPCC, que, embora não declarada, apresenta abordagem similar a uma análise custo-benefício. Os custos de prevenção das alterações climáticas são pesados contra os danos que poderiam causar (associado à vulnerabilidade); se os custos de mitigação ou até mesmo adaptação são maiores do que os danos previstos, a sociedade (em níveis locais, nacionais ou internacionais) podem optar por suportar esta perda. Impactos espacialmente diferenciados e a equidade são considerações secundárias, principalmente porque eles não podem ser pesados na escala de custo-benefício.

ADGER (2004) faz uma observação sobre os termos risco e vulnerabilidade relacionados às mudanças climáticas. Ele afirma que a ótica da comunidade científica dos perigos naturais (*natural hazards*) acaba por enfatizar o risco, interpretado em termos de probabilidade, enquanto que a ótica da comunidade das mudanças climáticas (incluindo o IPCC), enfatiza a vulnerabilidade, mas que ambas essencialmente examinam os mesmos processos, somente diferindo na terminologia. As duas abordagens estão interessadas nos perigos físicos que ameaçam os sistemas antrópicos e nos seus desdobramentos quando interagem com as propriedades desses sistemas, descritas em

termos de vulnerabilidade, sensibilidade, resiliência, capacidade de enfrentamento, entre outros.

A integração destas duas abordagens é facilitada quando se divide a vulnerabilidade em duas áreas, a social e a biofísica. A vulnerabilidade biofísica e o risco podem ser interpretados como uma função determinada pelo perigo e a vulnerabilidade social, enquanto que a vulnerabilidade social pode ser considerada equivalente à sensibilidade dos sistemas antrópicos. Em outras palavras, o risco pode ser dividido em dois componentes: perigo (*hazard*, relacionado a localização geográfica, intensidade e probabilidade) e vulnerabilidade/capacidade (susceptibilidades e capacidades), respectivamente atrelados aos conceitos de vulnerabilidade biofísica e social.

Em contraponto, MALONE (2009) ressalta que as análises de ADGER (2006) e a de EAKIN (2012) encaram os impactos climáticos como perigos (*hazards*), o que pode funcionar na teoria, mas na prática, estes são eventos de curta duração (exemplificados por eventos climáticos extremos, como furacões e nevascas), enquanto que as alterações climáticas incluem mudanças graduais e a longo prazo. Enfrentamentos pontuais bem-sucedido não necessariamente equivale a adaptação, embora as lições aprendidas a partir de um evento de perigo pode resultar na implementação de medidas de adaptação destinadas a aumentar a capacidade de resposta do sistema à riscos semelhantes no futuro.

A biologia apresenta um conceito que auxilia a elucidar este ponto, a plasticidade fenotípica. Ela está relacionada a capacidade intrínseca de um indivíduo apresentar diferentes respostas a alterações no ambiente, a qual se encontra dentro de uma norma de reação, a função que demonstra a amplitude de resposta frente a variação de fatores externos (RICKLEFS, 2003). Como exemplo pode ser citado o aumento da velocidade de desenvolvimento de larvas de uma espécie de borboleta (*Papilio canadensis*) com a elevação da temperatura ambiental. Tal reação não desencadeia uma resposta considerada adaptativa, é uma capacidade intrínseca da espécie. Por outro lado, indivíduos desta mesma espécie provenientes do Alasca apresentam uma taxa de desenvolvimento mais rápida em temperaturas baixas do que aqueles provenientes de Michigan, e a situação se inverte em temperaturas altas; tal experimento descreve uma situação que caracteriza a adaptação das populações às distintas condições ambientais de sua região, desencadeadas por um processo evolutivo (AYRES & SCRIBER, 1994). Em outras palavras, lidar adequadamente com estresses ambientais sem a necessidade de alterações sistêmicas relevantes é ligado a plasticidade de respostas dos indivíduos, sua resiliência e

desenvoltura natural; a adaptação está ligada a modificações para permitir um mínimo de bem-estar, relacionado a evolução do sistema após a minimização de suas fraquezas e o desenvolvimento de seus potenciais, seja de forma autônoma ou ativa.

NOBRE (CGEE 2008), com base no IPCC, condensou alguns termos utilizados amplamente pelas publicações nesta temática, e, portanto, chaves para o entendimento das questões pertinentes às mudanças climáticas:

- Impactos: referem-se aos efeitos das mudanças climáticas nos sistemas naturais e antrópicos. Quando comparados ao nível de adaptação, podem-se distinguir dois tipos de impactos:
 - Impacto potencial: todos os impactos que podem ocorrer devido às mudanças projetadas, sem considerar a adaptação;
 - Impacto residual: os impactos das mudanças climáticas que podem ocorrer após a adaptação.
- Adaptação: refere-se ao ajustamento de sistemas naturais ou antrópicos, em resposta aos efeitos das mudanças climáticas reais ou esperados, relacionado à regulação ou exploração de oportunidades benéficas. Alguns tipos de adaptação podem ser distinguidos:
 - Adaptação antecipatória: é a adaptação que ocorre antes que os impactos das mudanças climáticas sejam observados. Também referida como adaptação proativa;
 - Adaptação reativa: aquela que ocorre após impactos das mudanças climáticas se manifestarem (KLEIN *et al.* 1999)
 - Adaptação autônoma: trata-se da adaptação que não se constitui numa resposta consciente aos estímulos climáticos, mas é desencadeada por mudanças ecológicas nos sistemas naturais e por mudanças no mercado e no bem-estar nos sistemas antrópicos. Também referida como adaptação espontânea;
 - Adaptação planejada: refere-se à adaptação que é resultado de decisões e políticas deliberadas, baseadas na consciência de que estão ocorrendo mudanças ou que essas podem vir a se concretizar, de modo que a ação é necessária para retornar ou manter o estado desejado do sistema em questão.

- Capacidade de adaptação: é a capacidade de um sistema de se ajustar à mudança climática (inclusive à variabilidade climática e aos eventos extremos), moderando possíveis danos, tirando vantagem das oportunidades ou lidando com as consequências.
- Mitigação: refere-se a uma intervenção antropogênica para reduzir a própria forçante antropogênica no sistema climático. Incluem-se estratégias para redução das fontes de emissões de gases do efeito estufa e também para o aumento dos sumidouros desses mesmos gases.

Algo que deve ser ressaltado é que estudos de vulnerabilidade climática podem ser realizados apesar das incertezas inerentes à ciência da mudança climática. Enquanto que informações detalhadas e precisas do clima futuro provável ou potencial é desejável, a existência de incertezas não é uma desculpa para a inação ou um impedimento para se buscar a intensificação da resiliência geral das sociedades aos riscos futuros.

Após a internalização destes conceitos, seus escopos e aplicabilidade na questão das mudanças climáticas, é necessário definir sua percepção pela sociedade humana. Deste modo, é necessário estabelecer quais são os impactos das mudanças climáticas aos diversos sistemas existentes.

5.2. Influência antrópica no sistema climático

Para o IPCC (2013a), a influência humana sobre o sistema climático é clara, e as recentes emissões antrópicas de gases de efeito estufa apresentam os valores mais elevados da história. As alterações climáticas desencadeiam impactos generalizados sobre os sistemas antrópicos e naturais, muitos dos quais já começaram a ser percebidos por diversos estudos, os quais apresentam um prognóstico de intensificação e multiplicação destes efeitos, justificando a preocupação internacional com o tema. Pretende-se nesta seção identificar quais alterações climáticas e impactos derivados já foram atribuídos a ou são aguardados em decorrência do aquecimento global antrópico, com base principalmente sobre os relatórios do IPCC e na literatura especializada.

Apesar de considerar que o aquecimento do sistema climático terrestre é inequívoco, e, afirmar que muitas das mudanças observadas desde a década de 1950 não apresentam precedentes há milênios, a comunidade internacional apresenta uma abordagem científica, de modo que internaliza em seus relatórios as dúvidas inerentes aos seus resultados, por menores que possam ser. O IPCC (2014) encara a incerteza como um

estado de conhecimento incompleto que pode resultar da falta de informação ou de desacordo sobre o que é conhecido ou mesmo conhecível. Ela pode ser proveniente de várias fontes, desde imprecisão nos dados, a conceitos definidos de forma ambígua, ou ainda projeções incertas do comportamento humano. A incerteza pode, portanto, ser representado por medidas quantitativas (por exemplo, uma função de densidade de probabilidade) ou por declarações qualitativas (por exemplo, refletindo o julgamento de uma equipe de especialistas). Assim, foi elaborado uma normatização dos termos usados pelo IPCC para indicar a confiabilidade dos resultados, descritos em função da probabilidade de ocorrência do evento descrito, os quais podem ser vistos pela Tabela 5.

Tabela 5: Termos usados no AR5 e sua respectiva probabilidade de ocorrência. MASTRANDREA *et al.* 2011 e IPCC 2014a (modificada)

Termo	Probabilidade de ocorrência
Virtualmente certo (<i>Virtually certain</i>)	99–100%
Extremamente provável (<i>Extremely likely</i>)	95–100%
Muito Provável (<i>Very likely</i>)	90–100%
Provável (<i>Likely</i>)	66–100%
Mais provável que não (<i>More likely than not</i>)	= >50–100%
Tanto provável quanto improvável (<i>About as likely</i>)	33–66%
Improvável (<i>Unlikely</i>)	0–33%
Muito improvável (<i>Very unlikely</i>)	0–10%
Extremamente improvável (<i>Extremely unlikely</i>)	0–5%
Excepcionalmente improvável (<i>Exceptionally unlikely</i>)	0–1%

Inicialmente serão descritas as mudanças climáticas que foram percebidas ou que se esperam que aconteça em decorrência das emissões antrópicas, consideradas as ações geradoras de diversos impactos no sistema terrestre.

5.2.1. Alterações climáticas registradas

Ao longo do tempo de existência do IPCC, a evidência da influência humana sobre o clima se tornou mais forte ao longo do tempo. No primeiro relatório de avaliação (FAR - 1991) havia pouca evidência observacional se detectar tais influencias; no segundo (SAR - 1995), já havia evidência suficiente para a concluir que existia uma discernível influência humana no clima global; O TAR (IPCC, 2001) identificou que os GEEs apresentavam um sinal distinto no registro de temperatura observada e afirmou ser provável que a maior parte do aquecimento observado nos últimos 50 anos esteja relacionado ao aumento dessas concentrações; O AR4 (IPCC, 2007), munido de novas evidências científicas, modelos climáticos de maior sofisticação, melhor compreensão do

forçamento radiativo, dos processos químicos e novas técnicas de análise, pode concluir que é muito provável que a maior parte do aumento observado nas temperaturas desde o início do século XX é devido ao aumento observado nas concentrações antropogênicas de GEE, além de identificar influências humanas no aquecimento dos oceanos, as temperaturas médias continentais, extremos de temperatura e padrões de vento.

O ápice do conhecimento da comunidade científica sobre as alterações climáticas de base antrópica se encontra no AR5 (IPCC, 2013a), de onde foram sintetizadas as informações abaixo relativas aos principais compartimentos de análise, a atmosfera, os oceanos e a criosfera.

Atmosfera

Foi constatado que as três últimas décadas foram sucessivamente as mais quentes na superfície da Terra desde 1850. O período de 1983 a 2012 foi muito provavelmente o mais quente dos últimos 800 anos no Hemisfério Norte e provavelmente o mais quente dos últimos 1.400 anos. Os dados das médias globais de temperatura da superfície terrestre e oceano, calculadas por uma tendência linear, mostram um aquecimento de 0,85 [0,65-1,06] °C ao longo do período 1880-2012, e foram identificados por múltiplas fontes de dados independentes. O aumento total entre a média do período de 1850-1900 e o de 2003-2012 é de 0,78 [0,72-0,85] °C, utilizando a base de dados mais longa disponível. Quanto as tendências observadas, o período de 1901-2012 apresenta dados suficientemente completos para indicar um aquecimento da superfície por quase toda a extensão do globo terrestre.

Além das fortes evidências de aquecimento, foi percebida uma substancial variação interdecadal e interanual da temperatura média da superfície global média, o que sensibiliza tendências derivadas de registros de curta duração às datas de início e fim, não refletindo as condições esperadas a longo prazo, exemplificada pela taxa de aquecimento de 1998 a 2012 (0,05 [-0,05 a 0,15] °C por década), a qual se inicia com um forte El Niño, ser menor do que a taxa calculada de 1951 a 2012 (0,12 [0,08-0,14] °C por década)

Em relação a troposfera, é virtualmente certo que esta apresentou um aquecimento, assim como a baixa estratosfera se resfriou desde meados do século XX.

A identificação de mudanças nos padrões de precipitação médios sobre as regiões continentais apresenta uma baixa confiança para o período de 1901 a 1951, e média posteriormente. Relacionada às latitudes médias do hemisfério norte, a precipitação

apresentou aumento desde 1901 (confiança média antes de 1951 e alta após), enquanto que para outras latitudes, tendências positivas ou negativas a longo prazo apresentam um nível de confiança baixo.

Quanto aos eventos meteorológicos e climáticos extremos foram identificadas diversas mudanças desde 1950. É muito provável que o número de dias e noites frias diminuiu e o número de dias e noites quentes aumentou em escala global. Provavelmente aumentaram as frequências de ondas de calor em grandes partes da Europa, Ásia e Austrália. É mais provável que existam mais regiões emersas que apresentem um acréscimo no número de eventos de precipitação intensa do que regiões onde eles diminuíram. A frequência e/ou intensidade das precipitações provavelmente aumentou na América do Norte e Europa, mas a confiança desta informação para outros continentes é no máximo mediana.

Há média confiança que algumas regiões do mundo experimentaram secas mais intensas e mais longas, mas em algumas regiões elas têm se tornado menos frequentes, menos intensa ou mais curtas. É provável que tenha havido uma influência antropogênica no aumento de episódios de ressacas devido a um aumento do nível médio do mar. As incertezas nos registros históricos de ciclones tropicais, associado ao conhecimento incompleto dos mecanismos físicos que ligam os ciclones tropicais às mudanças climáticas e a variabilidade natural destes eventos fornece apenas baixa confiança para a atribuição de quaisquer alterações detectáveis na atividade de ciclones tropicais a influências antrópicas. (IPCC 2012)

As concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) aumentaram para níveis sem precedentes nos últimos 800 mil anos (corroborados por análises de núcleos de gelo), chegando em 2011 aos valores de 391 ppm, 1803 ppb e 324 ppb, excedendo os níveis pré-industriais em aproximadamente 40%, 150% e 20%, respectivamente. As taxas médias do aumento da concentração de GEEs ao longo do século passado são, com muita confiança, as mais elevadas dos últimos 22 mil anos.

As concentrações de dióxido de carbono aumentaram principalmente em decorrência das emissões de combustíveis fósseis e, secundariamente, das emissões da alteração no uso do solo. As emissões anuais de CO_2 provenientes da queima de cimento e produção de combustíveis fósseis foram de 8,3 [7,6-9,0] GtC ao ano para 2002-2011

(alta confiança) e foram de 9,5 [8,7-10,3] GtC no ano de 2011, 54% acima das emissões de 1990. As emissões decorrentes da mudança antropogênica do uso do solo foram de 0,9 [0,1-1,7] GtC ao ano para o período de 2002-2011 (confiança média).

De 1750 a 2011, as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis e produção de cimento de CO₂ lançaram 375 [345-405] GtC para a atmosfera, enquanto é estimado que o desmatamento e outras mudanças no uso do solo tenham liberado 180 [100-260] GtC. Isso resulta em emissões antrópicas cumulativas de 555 [470-640] GtC. Dessas emissões, 240 [230-250] GtC permaneceram na atmosfera, 155 [125-185] GtC foram absorvidas pelo oceano (causando a acidificação) e 160 [70-250] GtC acumularam em ecossistemas naturais terrestres (os sumidouros de carbono).

Oceano

O aquecimento dos oceanos apresenta um predomínio de 90% de todo aumento da energia armazenada entre 1971 e 2010 no sistema climático, com 60% do aumento armazenado na parte superior do oceano (0-700 m) e cerca de 30% é armazenado no oceano abaixo 700 m, sendo apenas 1% armazenado na atmosfera. O ganho de calor da parte superior do oceano, estimado por uma função linear para estes 40 anos, foi provavelmente de $17 [15 \text{ a } 19] \times 10^{22}$ J. Este aquecimento se deu principalmente próximo a superfície, com os 75 m superiores sendo elevados de 0,11 [0,09-0,13] °C por década durante o período de 1971 a 2010. É virtualmente certo que os 700m superiores dos oceanos se aqueceram neste mesmo período, e provavelmente este acréscimo também ocorreu entre 1870 e 1971.

Não obstante, é provável que os mares tenham se aquecido na faixa de 700 m até 2000 m no período de 1957-2009, assim como em profundidades de 3000 m e abaixo para o período 1992-2005. A faixa de 2000m e 3000m provavelmente não apresentou variação de temperatura entre 1992-2005.

É muito provável que as regiões de alta salinidade da superfície, onde há um predomínio de evaporação, tenham se tornado mais salinas, enquanto regiões de baixa salinidade, onde há um predomínio de precipitação, tenham se tornado mais doces desde os anos 1950. Estas tendências regionais na salinidade do oceano fornecem evidências indiretas de mudanças na evaporação e precipitação sobre os oceanos e, portanto, para mudanças no ciclo global da água. Ainda assim, não há nenhuma evidência observacional

de uma tendência de alteração de longo prazo na Circulação de Revolvimento do Atlântico Meridional (AMOC).

A absorção oceânica de cerca de 30% do total de CO₂ antrópico emitido resultou na sua acidificação, com uma queda de pH das águas superficiais de 0,1 (alta confiança), correspondendo a um aumento de 26% na acidez, medido pela concentração de íons de hidrogênio. Paralelamente ao aquecimento, existe uma média confiabilidade quanto o declínio das concentrações de oxigênio em águas costeiras e termoclinas de diversas regiões do oceano desde a década de 1960, com uma provável expansão das zonas tropicais de mínimo oxigênio (decorrentes da elevada respiração biológica) nas últimas décadas.

Ao longo do período 1901-2010, o nível do mar médio global subiu 0,19 [0,17-0,21] m. É muito provável que a taxa mundial média de elevação do nível do mar tenha sido de 1,7 [1,5-1,9] mm ao ano entre 1901 e 2010 e 3,2 [2,8-3,6] mm ao ano entre 1993 e 2010. Este aumento da taxa a partir do início do século XX apresenta alta confiabilidade, corroborada por dados marítimos instrumentais. A taxa de elevação do nível do mar desde meados do século 19 tem sido maior do que a média durante os dois últimos milênios.

Desde o início da década de 1970, a perda de massa glacial e expansão térmica dos oceanos decorrente conseguem explicar cerca de 75% da elevação do nível do mar (alta confiança). Ao longo do período de 1993-2010, o valor da elevação é consistente com o somatório das contribuições observadas da expansão térmica dos oceanos (1,1 [0,8-1,4] mm ao ano), de mudanças nas geleiras (0,76 [0,39-1,13] mm ao ano), da cobertura de gelo da Groenlândia (0,33 [0,25-0,41] mm ao ano), do manto de gelo da Antártida (0,27 [0,16-0,38] mm ao ano) e do armazenamento de água no solo (0,38 [0,26-0,49] mm ao ano), perfazendo um total de 2,8 [2,3-3,4] mm ao ano.

As taxas de elevação do nível do mar podem apresentar uma grande variância espacial em relação à média global devido a flutuações na circulação oceânica, inclusive com padrões díspares por várias décadas. Desde 1993, as taxas regionais para o Pacífico Ocidental são até três vezes maiores do que a média global, enquanto que aqueles para grande parte do Pacífico Oriental são perto de zero ou negativas.

Criosfera

As geleiras perderam massa e contribuiu para a elevação do nível do mar ao longo do século XX, com uma taxa média de perda muito provável de 226 [91-361] Gt ao ano

durante o período de 1971-2009, e 275 [140-410] Gt ao ano durante o período 1993-2009 (excluindo as geleiras na periferia das camadas de gelo). A taxa de perda de massa da camada de gelo da Groenlândia tem muito provavelmente apresentado um aumento substancial ao longo do período de 1992 a 2011, com valores de 34 [-6 a 74] Gt ao ano durante o período de 1992 a 2001 para 215 [157-274] Gt ao ano durante o período 2002-2011. A taxa de perda de massa da cobertura de gelo da Antártida também provavelmente aumentou de 30 [-37 a 97] Gt ao ano durante o período 1992-2001 para 147 [72-221] Gt ao ano durante o período 2002-2011, principalmente da região do norte da Península Antártica e do setor do Mar de Amundsen da Antártida Ocidental.

A extensão média anual de gelo do mar Ártico diminuiu ao longo do período de 1979 (quando se iniciaram as observações de satélite) até 2012. A taxa de queda neste intervalo foi muito provavelmente de 3,5 a 4,1% (0,45 a 0,51 milhões de km²) por década, diminuindo em todas as estações do ano e em cada década sucessiva desde 1979, principalmente no verão, a qual chegou a cair a taxa de 9,4% a 13,6% por década (0,73 a 1,07 milhões de km²). Há uma confiança média que, ao longo das últimas três décadas, o retrocesso do gelo marinho chegou a valores sem precedentes e que as temperaturas da superfície do mar estavam anormalmente elevadas quando comparadas a reconstruções dos últimos 1.450 anos.

É muito provável que a média anual da extensão do gelo marinho antártico aumentou na faixa de 1,2% a 1,8% por década (0,13 a 0,20 milhões de km²) entre 1979 e 2012. No entanto, há grande confiança de que há forte diferenças regionais na Antártida, com extensões crescentes em algumas áreas e a diminuição em outras.

Há uma confiança muito alta que a extensão da cobertura de neve do hemisfério norte diminuiu 1,6 [0,8-2,4]% por década para os meses de março e abril e 11,7% [8,8-14,6]% por década para junho sobre o período de 1967 a 2012, durante o qual não se verificou um aumento estatisticamente significativo desta extensão em qualquer mês.

Há uma confiança elevada que as temperaturas do solo eternamente congelado (*permafrost*) têm aumentado na maioria das regiões do hemisfério norte desde o início da década 1980, com a redução de sua espessura e extensão da área em algumas regiões. O aumento das temperaturas dos solos *permafrost* tem ocorrido em resposta ao aumento da temperatura da superfície e alterando a capa de neve. Estes valores chegam a até 3 °C em partes do norte da Alaska (meados dos anos 1980 a meio dos anos 2000) e até 2 °C em

partes do Norte da Rússia Europeia (1971-2010), a qual apresentou uma redução considerável da espessura e extensão da região de permafrost entre 1975-2005.

América do Sul e Brasil

Especificamente sobre a América do Sul e Brasil, o IPCC (2014b) organizou uma lista de trabalhos que observaram diversas alterações climáticas regionais, como incremento ou diminuição dos padrões locais de chuva, aumento do número de dias quentes e diminuição dos dias frios, aumento da temperatura média, alteração na sazonalidade da precipitação, aumento de ventos, entre outros.

Na Bacia do Prata, vários estudos têm documentado mudanças na circulação nas escalas interanuais e decadais que levaram a uma diminuição da frequência de noites frias no verão, bem como os aumentos de noites quentes e as temperaturas mínimas durante os últimos 40 anos. Ao mesmo tempo, uma redução no número de meses secos na estação quente é encontrada desde meados da década de 1970, enquanto que a frequência chuva forte está a aumentar no sudeste da América do Sul e causando alterações na umidade do solo.

5.2.2. Alterações climáticas projetadas

Para os estudos das projeções climáticas futuras são baseadas em modelos climáticos, que simulam mudanças com base em um conjunto de cenários de forçamentos antropogênicos. Para os estudos do AR5 (IPCC, 2013a, 2014a, 2014b) foram utilizados um novo conjunto de cenários, os Caminhos Representativos de Concentração (RCPs), descritos na seção 4.3.2. A partir destes foi possível estabelecer limites para as alterações climáticas esperadas, as quais serão apresentadas a seguir

As tabelas 7 a 9 apresentam algumas estimativas dos valores mínimos e máximos esperados para a concentração de GEE, aumento da temperatura e do nível do mar médios. Em seguida, são apresentadas as mudanças específicas para cada compartimento de análise.

Tabela 6: Projeção das concentrações de GEE para cada RCP. IPCC 2014a, adaptada.

Cenário	Concentração de GEE (ano 2100)			
	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
CO2 (ppm)	421	538	670	936
EqCO2 (ppm)	475	630	800	1913

Tabela 7: Projeção do aumento da temperatura média¹⁷ para cada RCP. IPCC 2014a, adaptada.

Aumento da temperatura média (°C)				
Anos	2046–2065		2081–2100	
Cenário	Média	Intervalo	Média	Intervalo
RCP2.6	1,0	0,4 a 1,6	1,0	0,3 a 1,7
RCP4.5	1,4	0,9 a 2,0	1,8	1,1 a 2,6
RCP6.0	1,3	0,8 a 1,8	2,2	1,4 a 3,1
RCP8.5	2,0	1,4 a 2,6	3,7	2,6 a 4,8

Tabela 8: Projeção do aumento do nível do mar médio para cada RCP. IPCC 2014a, adaptada.

Aumento do nível no mar médio (m)				
Anos	2046–2065		2081–2100	
Cenário	Média	Intervalo	Média	Intervalo
RCP2.6	0,24	0,17 a 0,32	0,40	0,26 a 0,55
RCP4.5	0,26	0,19 a 0,33	0,47	0,32 a 0,63
RCP6.0	0,25	0,18 a 0,32	0,48	0,33 a 0,63
RCP8.5	0,30	0,22 a 0,38	0,63	0,45 a 0,82

Atmosfera

Especificamente quanto a temperatura, é virtualmente certo que haverá um gradativo aumento da frequência de eventos extremos de temperaturas quentes e diminuição dos de temperaturas baixas na maioria das regiões emersas, tanto nas escalas de tempo diária como sazonal, acompanhado o incremento da temperatura média global. É muito provável que as ondas de calor irão ocorrer com maior intensidade e frequência e duração.

Também são esperadas mudanças no ciclo hídrico global da água. O contraste da precipitação entre as regiões úmidas e secas e entre as estações chuvosa e seca vai aumentar, embora possa haver exceções regionais. As mudanças projetadas ao longo das próximas décadas mostram padrões de gerais similares àqueles para o fim do século, mas com menor magnitude. As mudanças a curto prazo e de abrangência regional serão fortemente influenciadas pela variabilidade interna natural e pode ser afetada pelas emissões antropogênicas de aerossóis.

No cenário de maiores alterações climáticas esperadas (RCP8.5), as altas latitudes e o Oceano Pacífico equatorial são propensos a experimentar um aumento da precipitação média anual até o final deste século. Em muitas regiões de média latitude e subtropicais

¹⁷ O período de referência é 1986–2005. Se comparado a 1850–1900, deve ser somado 0,61 [0,55 a 0,67] °C, ou 0,11 [0,09 a 0,13] °C para o período de referência do AR4, 1980–1999. IPCC 2014a.

secas, a precipitação média provavelmente irá diminuir, enquanto que em muitas regiões úmidas de média latitude, a precipitação média provavelmente aumentará até o final deste século.

Eventos extremos de precipitação se tornarão, muito provavelmente, mais intensos e mais frequentes sobre a maior parte da área continental de latitudes médias e nas regiões tropicais úmidas, acompanhando o aumento da temperatura média até o final deste século. Também é provavelmente esperado que as áreas abrangidas por sistemas de monção aumentem. Enquanto os ventos de monção provavelmente vão enfraquecer, a precipitação decorrente deve ser intensificada devido ao aumento da umidade atmosférica. Não obstante, as datas de início das monções provavelmente vão ser adiantadas ou não mudar muito, enquanto que a data de seu recuo provavelmente será adiada, resultando no prolongamento da temporada de monções em muitas regiões.

Também existe uma alta confiança de que o El Niño-Oscilação Sul (ENSO) continuará a ser a principal causa de variabilidade interanual no Pacífico tropical, com efeitos globais no século XXI. Devido ao aumento na disponibilidade de umidade, a variação na precipitação em escalas regionais provavelmente vai se intensificar; no entanto, como existem extensas variações naturais na amplitude e no padrão espacial da ENSO, a confiança nas projeções futuras é baixa.

Quanto à qualidade do ar, há alta confiança de que, a nível global, o aquecimento diminui a concentração superficial de ozônio de fundo, mas pode ser parcialmente compensada com a elevação dos níveis de CH₄ ou até aumentando a concentração superficial de ozônio de fundo até 2100 em cerca de 8 ppb (25% dos níveis atuais no RCP8.5) em relação aos outros cenários. Ainda existem indícios que as temperaturas superficiais mais elevadas em locais poluídos irão desencadear feedbacks químicos regionais com as emissões locais que irão aumentar os níveis máximos de ozono e material particulado (PM_{2.5}).

Há uma alta confiança de que as alterações climáticas irão minimizar parcialmente a captura de carbono por sumidouros terrestres e oceânicos, causada pelo aumento do CO₂ atmosférico. Não obstante, alguns modelos simulam uma liberação de carbono terrestre devido ao efeito combinado das mudanças climáticas e da alteração de uso da terra. Ainda, é prevista (com baixo nível de confiança) a liberação de CO₂ ou CH₄ para a

atmosfera a partir de descongelamento dos estoques de carbono dos solos *permafrost* ao longo do século XXI, chegando a valores entre 50 a 250 GtC no RCP8.5.

Oceano

O oceano global vai continuar a aquecer durante o século XXI, e a penetração do calor vai se estender desde a superfície até o fundo do oceano, afetando a circulação oceânica. Regionalmente, o aquecimento mais intenso se dará na superfície oceânica nas zonas subtropicais do Hemisfério Norte e nos trópicos. Em maior profundidade, o aquecimento será mais pronunciado no Oceano Austral (alta confiança). Quantitativamente, as estimativas do aquecimento dos oceanos até ao final do século XXI para os primeiros cem metros são cerca de 0,6 °C (RCP2.6) a 2,0 °C (RCP8.5), e cerca de 0,3 °C (RCP2.6) a 0,6 °C (RCP8.5) a uma profundidade de 1000 m. A absorção de CO₂ antropogênico pelo oceano continuará até 2100, com maior captação nos cenários de emissão mais elevadas (confiança muito alta).

É muito provável que a AMOC enfraqueça ao longo do século XXI, com estimativas de redução de 11% (1-24%) no RCP2.6 e 34% (12-54%) no RCP8.5. É provável que aconteça algum declínio na AMOC até 2050, permitindo até a observação de um aumento temporário em alguma década decorrente de sua grande variabilidade natural. Enfatiza-se que é muito improvável que a AMOC sofra uma transição abrupta ou colapse no século XXI para os cenários considerados; no entanto, para cenários pós do século XXI de elevado aquecimento global, seu colapso não pode ser descartado.

O nível do mar global médio vai continuar a subir durante o século XXI com uma taxa de aumento, muito provavelmente, superior à observada durante 1971-2010, devido a dilatação dos oceanos (30 a 55%) e o aumento da perda de massa das geleiras e camadas de gelo (15 a 35%). Esta elevação não será uniforme, mas é muito provável que ocorra em mais do que 95% da área do oceano, com uma projeção na qual 70% das zonas costeiras mundiais experimentem uma variação de mais ou menos 20% da média global esperada.

Criosfera

O aumento do derretimento da superfície da camada de gelo da Groenlândia irá exceder o aumento da queda de neve, contribuindo positivamente para a elevação do nível do mar (alta confiança). Para a Antártida, o derretimento da superfície permanecerá

pequeno, enquanto é esperado um aumento na queda de neve (confiança média), resultando em uma contribuição negativa para a elevação do nível do mar. As alterações conjuntas sobre ambas as camadas de gelo provavelmente contribuirão para uma elevação do nível do mar de 0,03-0,20 m até 2081-2100.

Caso ocorram colapsos de setores do manto de gelo marinho da Antártida, tal fato poderá causar uma elevação substancial do nível médio do mar acima do intervalo provável para o século XXI. No entanto, há uma média confiança de que essa contribuição adicional não seja superior a vários decímetros.

América do Sul e Brasil

De particular importância para a precipitação no sudeste da América do Sul, o trabalho de PENALBA & RIVERA (2013) sobre as mudanças futuras nas características de eventos de seca projetadas por um conjunto de modelos do CMIP5 para os cenários de RCP 4.5 e 8.5 entre 2011-2040, mostram que, em média, a ocorrência de secas de curto longo prazo serão mais frequentes (relacionado ao período de 1979-2008). Este é indicativo de um futuro aumento da variabilidade interanual de precipitação ao sul deste continente, já documentada na segunda metade do século XX.

No caso de a projeção RCP4.5, espera-se que a bacia do Prata experimente mais secas durante o período de 2011-2040, com aumentos superiores a 30% em frequência e 10% em termos de severidade. Isto também se verifica para a projeção RCP8.5, embora com uma magnitude reduzida nas alterações.

As projeções para o final do século XXI também mostram um padrão similar nas mudanças esperadas, com mais eventos de seca de menor duração e maior severidade por grande parte do sul da América do Sul. A extensão espacial das alterações das características seca de curto prazo é maior do que para a 2071-2100 2011-2040, embora a magnitude das alterações esperadas permaneça semelhante. Isto não é evidente no caso de secas a longo prazo. Estas, centradas sobre as porções central e noroeste da região considerada, ainda apresentam incertezas quanto aos efeitos a longo prazo na escala regional. No caso das projeções para 2011-2040, ambos os cenários mostram as mesmas alterações para as características da seca a longo prazo, embora aumentos na severidade de seca são maiores no cenário RCP4.5 do que o RCP8.5.

5.3. Impactos das Mudanças Climáticas

A partir da identificação das alterações climáticas que já aconteceram e as que se venham a ocorrer, é possível fazer a associação dos impactos percebidos ou previstos nos sistemas socioambientais com suas raízes nas emissões de GEE antrópicas. As percepções de impactos sobre os sistemas naturais apresentam evidências mais fortes, decorrentes da observação de elementos de aferição mais direta, como a disponibilidade hídrica em um reservatório de uma hidrelétrica ao longo do tempo, ou alteração da distribuição geográfica de algumas populações animais. Outros, em especial sobre o sistema humano, apresentam uma confiança menor na determinação da causalidade às alterações climáticas, uma vez que apresentam incontáveis variáveis associadas aos seus processos internos, as quais são responsáveis por ou derivadas de sua resiliência e vulnerabilidades.

Segundo IPCC (2014b), as taxas e magnitudes crescentes do aquecimento e outras mudanças no sistema climático, acompanhados pela acidificação do oceano, aumentam o risco de impactos prejudiciais graves, de abrangência difusa e considerados irreversíveis. Alguns riscos são particularmente relevantes para regiões individuais enquanto outros são globais. Apesar dos níveis exatos de alterações climáticas necessários para provocar mudanças abruptas e irreversíveis no planeta ainda permanecem incertos, os riscos de se descobrir empiricamente esse limiar aumenta com a elevação da temperatura, de modo que é de suma importância a avaliação do maior número possível de impactos, incluindo os resultados de baixa probabilidade e grandes consequências.

Assim, serão identificados diversos impactos atribuídos¹⁸ às mudanças climáticas citadas que já ocorreram ou ainda se espera que possam ocorrer. A ênfase se dará sobre os sistemas naturais, uma vez que o objeto de estudo deste trabalho são os remanescentes de vegetação, mas também serão abordados com menor profundidade os impactos nos sistemas antrópicos, uma vez que não devem ser considerados como dissociados do meio ambiente.

¹⁸ O termo atribuição é usado de forma diferente pelos WGI e WGII. Atribuição no WGII considera as ligações entre os impactos sobre os sistemas naturais e antrópicos e mudanças climáticas observadas, independentemente da sua causa. Em comparação, a atribuição em WGI quantifica as ligações entre alterações climáticas observadas e a atividade humana, bem como a outros fatores climáticos externos. IPCC 2014a

5.3.1. Impactos na Biosfera

A biodiversidade é continuamente transformada pelas mudanças climáticas. A alteração das condições abióticas muda em diferentes ritmos e magnitudes pelo planeta, resultando na reorganização das interações biológicas (LOVEJOY & HANNAH, 2005). Com a entrada do forçamento antrópico nesta variação dinâmica, a aceleração da perda ambiental está sendo maximizada, especialmente em decorrência da sinergia com outros vetores de estresse ecossistêmico, como o desmatamento e alteração do uso do solo, introdução de espécies exóticas, caça, entre outros.

Os danos aos sistemas naturais afetam negativamente os sistemas humanos, estes dependentes dos primeiros, exigindo a compreensão e mitigação destes efeitos. PRENTICE (1992) relata que, para se entender a sucessão da vegetação no espaço-tempo, é necessário conhecer as características de longevidade, requerimentos de regeneração e tolerância climática das espécies consideradas; para entender a dinâmica de variação da vegetação a longo prazo é necessário entender as respostas ambientais das espécies presentes, além da natureza e causa das mudanças climáticas. A partir destas respostas, ações podem ser delineadas, tanto para a preservação dos sistemas naturais quanto humanos.

Antes de se descrever os impactos no meio natural é necessário realizar algumas considerações sobre o tempo de resposta dos ecossistemas às alterações climáticas. O foco aqui é o entendimento dos fatores da dinâmica da vegetação terrestre, cuja análise do passado, através dos métodos mencionados na seção 3.2 está diretamente relacionada com a preservação e gestão ambiental do presente e do futuro, em especial em um mundo em transição climática acelerada.

5.3.2. Velocidade de alteração de nichos e capacidade de deslocamento da biota

Se o clima fosse estacionário, a dinâmica da vegetação seria causada simplesmente por um processo estocástico em decorrência de distúrbios, regeneração e variação anual do tempo (climático), decorrentes das principais interações edafoclimáticas vistas no capítulo 3 e as ecossistêmicas complexas (predação, competição, entre outras). No entanto, com as alterações nos padrões climáticos, a vegetação apresenta variações nos seus processos internos, os quais são responsáveis pela identidade fisionômica local, um comportamento médio, refletindo a composição, fisiologia florística e as características histórico-climáticas locais.

A vegetação pode ser compreendida como um sistema interativo, que responde a forças externas. O clima provém as mudanças nas condições limítrofes as quais a vegetação se ajusta por meio de uma combinação de processos com diferentes tempos de resposta, as quais podem ser explorados por uma combinação de estudos de modelos e comparações aos registros pretéritos da vegetação. Como cada espécie apresenta respostas únicas (dentro de sua plasticidade) à variação dos fatores climáticos, é esperado que qualquer alteração persistente nos padrões climáticos vai resultar em uma resposta da vegetação, com inúmeros exemplos no quaternário. A natureza da resposta da vegetação a estas mudanças depende das dimensões espaciais e escala de tempo consideradas, com a variação da frequência e intensidade dos forçamentos apresentando importâncias diferenciadas para cada situação, além de resultar em distintos intervalos de resposta e percepção de alterações. (PRENTICE, 1992; HANNAH, 2011; NEWMAN *et al.*, 2011; POST, 2013)

Quando observada globalmente, as variações na declividade, aspecto, solo e tempo após uma perturbação, imprescindíveis para estudos locais, são desprezíveis quando comparadas à variação geográfica (latitudinal e altitudinal). Analogamente, as mudanças em padrões de milhares de anos são muito mais evidentes, uma vez que tornam as variações dos ciclos naturais de distúrbio e sucessão desprezíveis às tendências de longo prazo.

PRENTICE (1992), baseado na revisão de IMBRIE (1985), distingue seis faixas de abordagem temporal, cada uma com seus efeitos físicos e biológicos, com um espectro de variância próximo a normal:

- A Tectônica (maior que 400.000 anos), envolvendo efeitos decorrentes das alterações no relevo e distribuição dos oceanos, mudanças no balanço energético de longo prazo e grandes glaciações;
- A orbital (10.000 a 400.000 anos), relacionado às variações na geometria da órbita terrestre do ciclo de Milankovitch, afetando a distribuição da radiação solar nas latitudes e gerando respostas tardias nos volumes de gelo globais, as quais apresentaram-se como predominantes na escala do Holoceno;
- A milenar (de 400 a 10.000 anos), decorrentes de variações nas atividades vulcânicas, na intensidade solar e as variações no gelo antártico, incluindo os efeitos da pequena era do gelo medieval (LIA), importantes na escala de

tempo do quaternário recente e aparecendo nos estudos de anéis de árvores e nas análises de pequenas geleiras;

- A decadal (10 a 400 anos), atribuída a atividades vulcânicas, solares e ciclos de maré lunares, captados pelos estudos de anéis de árvores, mas não pela maioria dos sedimentares;
- A interanual (2,5 a 10 anos) e a anual (0,5 a 2,5 anos), principalmente em decorrência das interações livres entre os oceanos e atmosfera, como o El Nino e a ENSO.

Em relação a dimensão espacial, PRENTICE (1992) afirma que o nível de manchas de vegetação (100 a 1000m²) é afetado por ciclos de regeneração e perturbações, os quais podem apresentar alterações no seu curso natural de sucessão com as mudanças climáticas. Flutuações climáticas normais tem pouca influência na sucessão de longo-prazo, mas alterações persistentes ou que se intensificam com o passar do tempo apresentam efeitos na escala decadal ou milenar. Os mesmos mecanismos afetam as manchas na escala orbital.

Na dimensão da paisagem, perturbações induzidas por eventos climáticos extremos, fogo e alterações antrópicas no uso e cobertura do solo levam a mudanças na composição de espécies, podendo ser seletivas (afetando uma área pequena) ou abrangentes (incêndios florestais e furacões), iniciando a sucessão por largas áreas. Grandes perturbações podem acelerar esta resposta, assim como alterações graduais podem ser fortemente marcadas se desencadeiam transições de equilíbrio na paisagem (mudança fitofisionômica). O tempo de resposta é determinado em parte pela sucessão secundária, assim como pela frequência do distúrbio. O aumento da magnitude e/ou frequência de perturbações acelera a resposta da vegetação às mudanças climáticas, diminuindo sua resiliência, podendo inclusive tornar uma região vulnerável a alterações climáticas a uma escala de maior frequência (por exemplo, uma paisagem sendo afetada por uma variação decadal, a qual normalmente só seria afetada por mudanças milenares).

Um caso particular chamado de Histerese ocorre quando as mudanças climáticas graduais permitem temporariamente a coexistência de duas ou mais paisagens em equilíbrio, podendo haver transições abruptas (ecótonos bem marcados) com progressivo aumento do lado favorecido pela nova situação ambiental. Esta condição pode ser vista nas transições de pradarias e savanas para florestas com o aumento gradual da umidade. Esta questão também está atrelada à dinâmica da invasão de paisagem.

Com a alteração das condições ambientais, os novos padrões ambientais podem permitir o desenvolvimento de outras espécies, ou alterar a dominância daquelas já presentes. Eventos de invasões da paisagem por determinadas espécies apresentam tempos de duplicação da população que variam de 25 a 400 anos, levando em torno de 200 a 1000 anos para se completar. Estas podem ser percebidas por meio de diagramas de pólen na escala decenal (aproximadamente 100 anos).

Deve ser frisado que, na escala de tempo orbital, a resposta das espécies para sobreviver a alterações climáticas significativas ao seu desenvolvimento é a migração, e não o desenvolvimento de novas tolerâncias ambientais; aquelas que não conseguem migrar para habitats mais adequados são extintas. A velocidade de migração de espécies pode variar significativamente, mas podem alcançar até 2 km ao ano. Também, a vegetação existente não significa necessariamente uma barreira à colonização, tanto por existirem as perturbações naturais, que permitem a colonização, como muitas espécies não têm necessidade desta abertura no espaço, competindo diretamente em áreas já ocupadas. Efeitos de nucleação podem ainda acelerar a colonização de áreas mais favoráveis, resultando em um espalhamento espacialmente incoerente.

Na dimensão global, a resposta da vegetação sobre regiões subcontinentais ocorre na escala orbital, mas não apresenta abrangência ilimitada, evidenciada pela existência de diversas regiões fitofisionômicas semelhantes no mundo, mas que se encontram distantes, apresentam espécies florísticas distintas, mas de funções ecossistêmicas similares. Os modelos mais apropriados para sua determinação não são baseados nas distribuições atuais da vegetação, uma vez que as mudanças climáticas podem os tornar rapidamente defasados, mas sim naqueles que incorporam restrições ambientais para as diferentes morfologias e fisiologias vegetais.

O IPCC (2014a) também aborda a questão para diversos grupos de espécies. Estudos de modelagem normalmente não consideram uma série de mecanismos-chave relacionados às alterações na distribuição dos nichos, tais como adaptação genética e plasticidade fenotípica, interações entre espécies, ou a interferência humana, de modo que somente identificam as velocidades de alterações edafoclimáticas, mas não apresentam taxas realistas de deslocamento de espécies. Assim, após avaliar a literatura disponível sobre o assunto, o WGII forneceu uma síntese das habilidades projetadas de vários agrupamentos de espécies para acompanhar as variações das mudanças climáticas, identificada pela Figura 14. Esta análise baseia-se nas taxas de velocidade do clima

passado ou futuro, a qual mensura a taxa de deslocamento do clima através de uma paisagem, indicativo da velocidade necessária de deslocamento de um organismo para acompanhar o ritmo de alteração climática ambiental; e as taxas de deslocamento de espécies para uma ampla gama de espécies pelos diferentes tipos de paisagens existentes. Quando comparadas, essas taxas indicam se tal agrupamento de espécies é capaz de acompanhar as alterações ambientais projetadas para cada tipo de paisagem.

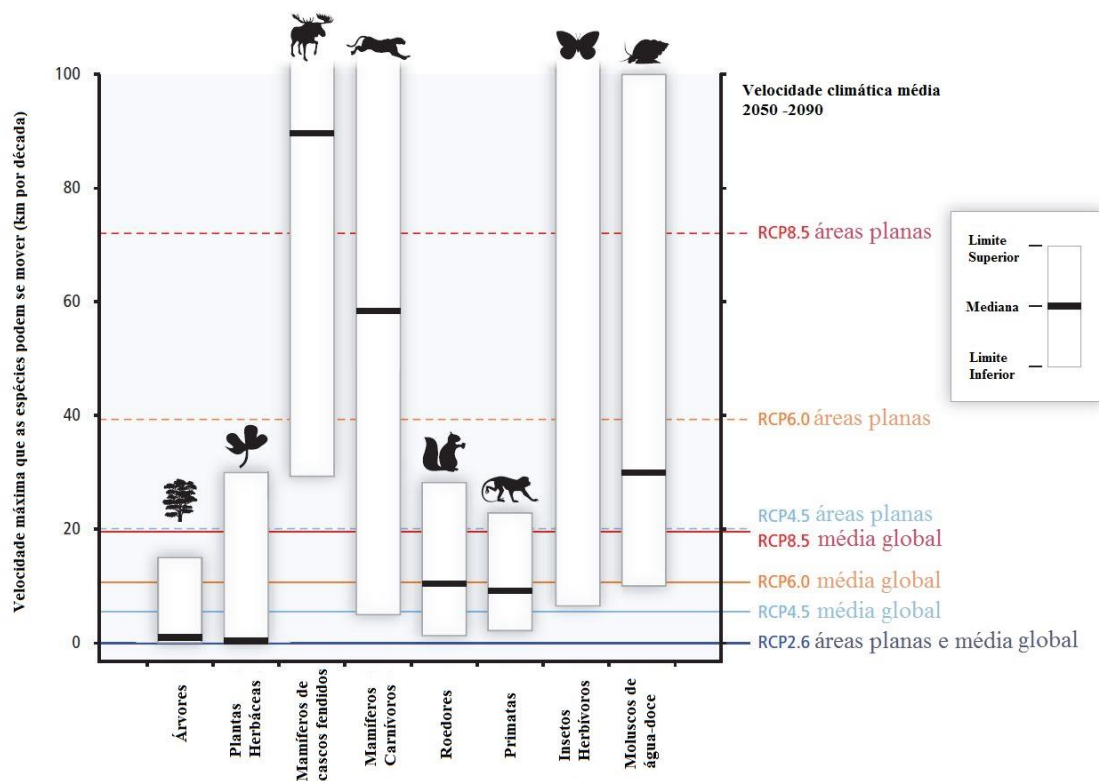


Figura 14: Velocidades máximas de migração de espécies X velocidade de alteração projetada da temperatura. Caixas brancas com barras pretas indicam alcance e médias das velocidades máximas de movimento para árvores, plantas, mamíferos, insetos herbívoros e moluscos de água doce. As linhas horizontais mostram a velocidade de alteração do clima para a média da área terrestre global e para as grandes regiões planas de cada RCP no período de 2050-2090. Espécies com velocidades máximas abaixo de cada linha são esperados para ser incapaz de localizar o aquecimento na ausência de intervenção humana. IPCC 2014a, modificada.

A velocidade climática é definida como a taxa de variação no clima ao longo do tempo ($^{\circ}\text{C}$ ao ano ou mm de chuva ao ano) dividida pela taxa de mudança climática no espaço ($^{\circ}\text{C}$ por km ou mm de chuva ao ano), de modo que dependem da inclinação do relevo regional. Por exemplo, a velocidade climática (em relação à temperatura) é baixa em áreas montanhosas porque nelas a mudança na temperatura é grande em curtas distâncias, enquanto que a velocidade climática é geralmente elevada em áreas planas porque a taxa de variação da temperatura em relação ao espaço é baixa.

As taxas de deslocamento variam muito dentro e entre grupos de espécies. Geralmente, plantas e árvores herbáceas apresentam capacidades de deslocamento muito

baixas, enquanto que borboletas, aves e grandes vertebrados apresentam capacidades muito altas para dispersão pela paisagem. Quando a capacidade de deslocamento do agrupamento de espécies excede a velocidade de alteração do clima infere-se que estas serão capazes de manter o ritmo com a mudança climática; quando a capacidade de deslocamento é menor do que as velocidades projetadas de alterações climáticas, elas não serão capazes, dentro dos limites de incerteza de ambos os parâmetros. Esta análise simplificada ainda é coerente com modelos mais sofisticados de análises que incluem restrições adicionais, tais como a demografia, a fragmentação do habitat, ou competição.

LOARIE *et al.* (2009) projetou que grandes áreas do globo (28,8%) vão exigir velocidades mais rápidas do que as estimativas mais otimistas das velocidades de migração de plantas na paisagem antes fragmentação antrópica, enquanto que em áreas montanhosas, ao contrário, pode cair dentro de taxas históricas de dispersão. Este fator acrescenta uma dimensão importante para a estratégia de gestão frente às mudanças climáticas, com destaque para a maior vulnerabilidade das grandes áreas extensas, como as baixas altitudes nos trópicos e regiões desérticas.

A capacidade de deslocamento das espécies é afetada negativamente pela fragmentação dos habitats. O grau de influência depende de muitos fatores, incluindo o padrão espacial dos fragmentos e corredores, distâncias máximas de dispersão, dinâmica populacional e da adequação de habitats modificados para atuação como trampolins ecológicos. Dependências de espécies e habitats também podem acelerar ou dificultar o deslocamento, como as necessidades de insetos herbívoros, os quais se deslocam inúmeras vezes mais rapidamente que suas plantas hospedeiras, mas estão atrelados a distribuição de seu alimento, diminuindo assim substancialmente o seu potencial de deslocamento (SCHWEIGER *et al.*, 2012).

Após a discussão do escopo espaço-temporal dos fatores relacionados à dinâmica da vegetação terrestre serão apresentados os impactos decorrentes das alterações climáticas sobre a biosfera.

5.3.3. Impactos observados na Biosfera

PRENTICE (1992) identificou algumas generalizações que emergiram repetidamente na literatura sobre os resultados das mudanças climáticas na vegetação em épocas anteriores ao forçamento antrópico pós revolução industrial, e incluem:

- As alterações climáticas ocorrem distintamente no espaço, decorrentes de complexas interações entre variáveis independentes, exibindo nos últimos 100.000 anos desde ciclos e padrões globalmente disseminados como regiões com situações únicas;
- Na escala de tempo do Quaternário, as mudanças nos trópicos e na região temperada do Sul foram tão grandes quanto as decorrentes da mudança na cobertura do gelo no Norte, afetando radicalmente a composição, estrutura e regimes de perturbações da vegetação global;
- Táxons apresentaram migrações individuais em resposta às mudanças climáticas, ajustando suas distribuições e abundâncias de acordo com suas respostas características específicas, sem estarem atrelados a uma comunidade ou fitofisionomia em particular. A natureza efêmera de comunidades e formações vegetais suporta a hipótese individualista da dinâmica da comunidade vegetal. Por exemplo, a floresta boreal ocupou extensivamente o globo por um período de menos de 10.000 anos, regredindo com a alteração do clima para condições menos favoráveis.

Em relação aos impactos decorrentes das alterações climáticas antrópicas, o IPCC (2014a) condensou os principais efeitos identificados sobre os compartimentos naturais, assim como os níveis de confiança e evidência relacionados.

Ecosistemas terrestres e de água doce

Muitas espécies de plantas e animais, tanto terrestres como de água doce, mudaram suas distribuições geográficas e atividades sazonais, além de alterarem a sua abundância regional em resposta a transição do clima observado nas últimas décadas (alta confiança). O aumento da mortalidade de árvores observada em muitos lugares do mundo tem sido atribuído às alterações climáticas, assim como o aumento na frequência ou intensidade de distúrbios ecossistêmicos como secas, tempestades de vento, incêndios e surtos de pragas (média confiança). Embora as recentes mudanças climáticas tenham contribuído para a extinção de algumas espécies de anfíbios da América Central (média confiança), outras extinções de espécies terrestres não têm sido relacionadas a elas (alta confiança).

Sistemas costeiros e zonas de baixa altitude

Sistemas costeiros são particularmente sensíveis às mudanças no nível do mar, na temperatura do oceano e na acidificação do oceano (confiança muito alta). O

branqueamento dos corais e alterações na distribuição de espécies foram atribuídas a mudanças na temperatura do oceano. Para muitas outras mudanças costeiras, os impactos das mudanças climáticas são difíceis de identificar dado a outras influências humanas (por exemplo, mudanças no uso da terra, desenvolvimento costeiro, poluição) (evidência robusta, concordância alta).

Sistemas marinhos

O aquecimento tem causado e continuará a causar mudanças na abundância, distribuição geográfica, padrões de migração e ciclo das atividades sazonais de espécies marinhas (confiança muita alta), além de paralelamente causar a redução do tamanho máximo do corpo (média confiança). Isso resultou e continuará a resultar na mudança das interações entre espécies, incluindo as dinâmicas de competição e predador-presa (alta confiança). Numerosas observações em todas as depressões oceânicas mostram mudanças em escala global, incluindo alterações de larga escala na distribuição de espécies (confiança muito alta) e alteração da composição ecossistêmica (alta confiança) em escalas de tempo multi-decadal, acompanhando as tendências climáticas.

Muitos peixes, invertebrados e fitoplâncton mudaram sua distribuição e/ou abundância em direção aos polos e /ou para águas mais profundas e frias. Alguns corais de águas quentes e seus recifes têm respondido ao aquecimento hídrico com substituições de espécies, branqueamentos e diminuição da cobertura de coral causando perda de habitat. Poucas observações em campo demonstram respostas biológicas atribuíveis à acidificação dos oceanos antropogênica, uma vez que as alterações encontradas ainda não podem ser consideradas extrapolações à sua variabilidade natural, as quais podem estar mascaradas por fatores locais ou regionais. Mudanças climáticas globais de causas naturais, em taxas mais lentas do que a antropogênica atual, causaram alterações significativas nos ecossistemas, incluindo a emergência e extinção de espécies durante os últimos milhões de anos.

A vulnerabilidade da maioria dos organismos marinhos ao aquecimento é definida por sua fisiologia, o qual atribui os limites das faixas de temperatura. O gradiente de temperatura define a distribuição geográfica de muitas espécies e as suas respostas às mudanças climáticas. Deslocando as médias e extremos de temperatura altera os habitats, causando alterações na abundância de espécies através de extinções locais, ou ainda expansões ou deslocamentos latitudinais de distribuição de até centenas de quilômetros

por década (confiança muito alta). Embora a adaptação genética ocorra (confiança média), a capacidade da fauna e da flora para compensar ou se manter com a taxa atual de variação térmica é limitada (confiança baixa).

Em decorrência das expansões progressivas das zonas de oxigênio mínimo no Pacífico tropical, Atlântico e Índico, causadas pela redução da ventilação e da solubilidade de O₂ em oceanos com temperaturas mais altas e maior estratificação horizontal, áreas de hipóxia ("zonas mortas") estão aumentando em número e tamanho. O incremento de áreas de hipóxia regional causa mudanças para biota hipóxia tolerante e reduz o habitat de espécies comercialmente relevantes, com implicações para a pesca, em especial (alta confiança) quando combinado com as atividades humanas que aumentam a produtividade dos sistemas costeiros.

América do sul e Brasil

Especificamente para a América Central e do Sul, o IPCC (2014a) identificou as seguintes alterações no meio natural:

- Encolhimento das geleiras andinas (alta confiança, grande contribuição das alterações climáticas)
- Alterações nos fluxos extremos do rio Amazonas (confiança média, grande contribuição das alterações climáticas)
- Mudança dos padrões de descarga em rios nos Andes ocidentais (confiança média, grande contribuição das alterações climáticas)
- O aumento da vazão nas sub-bacias do rio da Prata acima do esperado pela mudança no uso do solo (alta confiança, grande contribuição das alterações climáticas)
- Aumento da mortalidade de árvores e fogo florestal na Amazônia (baixa confiança, pequena contribuição das alterações climáticas)
- Degradação e recessão da floresta amazônica além das projeções decorrentes do desmatamento e degradação do solo (baixa confiança, pequena contribuição das alterações climáticas)
- Aumento do branqueamento de corais no Caribe ocidental acima do atribuído aos efeitos da poluição e perturbação física (alta confiança, grande contribuição das alterações climáticas)

- Degradação dos manguezais na costa norte da América do Sul além das projeções decorrentes da poluição e uso do solo (baixa confiança, pequena contribuição das alterações climáticas)

Para a Bacia do Prata, MARENGO (2007; 2008) identificou na literatura o aumento sistemático das chuvas nos registros hidrológicos, com o aumento das vazões dos rios Paraná em até 30%, além de mudanças no regime de chuva desde 1970, com tendências de incremento da chuva na bacia entre 1971 a 1990 de média de 6% acima quando comparado com o período de 1930-1970. Não obstante, o desmatamento e as mudanças no uso da terra nas bacias dos rios Alto Paraná, Paraguai e Uruguai podem ter contribuído para um aumento de 28% no fluxo médio do Rio Paraná desde 1970 (TUCCI & CLARKE, 1998; GARCÍA. & VARGAS, 1998).

5.3.4. Impactos esperados na biosfera

Para BRODIE *et al.* (2013), as mudanças climáticas deverão ter um impacto substancial sobre a biodiversidade, o funcionamento dos ecossistemas, e sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos dos quais a sociedade e as economias dependem. Elas interagem e, muitas vezes, intensificam outras pressões sobre a biodiversidade; associada com a mudança do uso da terra, as mudanças climáticas estão projetadas para se tornar os principais vetores de perda de biodiversidade planetária.

Com a progressão do aquecimento global, os impactos observados nos ecossistemas, citados anteriormente, tendem a se intensificar e multiplicar, expandindo as regiões afetadas. O IPCC (2014) alerta que a estabilização da temperatura média da superfície global não implica a estabilização de todos os aspectos do sistema climático. As alterações nas distribuições de biomas, no carbono do solo, nas calotas de gelo, nas temperaturas do oceano e no nível do mar apresentam individualmente seus tempos de resposta a este novo forçamento climático, acarretando em mudanças duradouras por centenas a milhares de anos depois. Há uma grande confiança de que a acidificação dos oceanos vai continuar ao longo dos séculos, atrelado às emissões de CO₂ antrópico, afetando fortemente os ecossistemas marinhos. A magnitude e taxas de mudanças climáticas associadas a cenários de médias e altas emissões estão associadas a um maior risco de mudança abrupta e irreversível na composição, estrutura e função dos ecossistemas marinhos, terrestres e de água doce, incluindo as zonas húmidas de dimensões regionais (média confiança).

Não obstante, as taxas atuais e as projetadas da velocidade de alteração climática para os cenários de forçamento radiativo do IPCC (2013a) excedem as taxas de deslocamento para vários agrupamentos de espécies, principalmente para árvores de estágios sucessionais médios e tardios com taxas de deslocamento máximo na ordem de dezenas a algumas centenas de metros por ano, quando podendo exceder 8 km ao ano no RCP8.5. No geral, é previsto que muitas espécies de plantas somente sejam capazes de acompanhar as alterações do clima em áreas montanhosas para os cenários de elevadas taxas de aquecimento, embora haja incerteza sobre o papel potencial da longa distância de dispersão; a maioria dos primatas se encontra em regiões com velocidades climáticas muito altas, como a bacia amazônica, colocando-os assim em alto risco de não acompanharem o clima mesmo em cenários; muitos roedores, alguns carnívoros e moluscos de água doce devem ser incapazes de acompanhar o clima em cenários de elevadas taxas de mudança climática (acima de 0,06 °C ao ano). Tais expectativas se mostram coerentes com as observações da capacidade ou incapacidade de espécies de acompanhar o aquecimento global observado.

Taxas moderadas de alterações climáticas (RCP4.5 e RCP6.0) permitiriam que mais espécies acompanhassem o clima, mas ainda iria exceder a capacidade de muitas espécies; as menores taxas de alterações climáticas (RCP2.6) permitiria que a maioria das espécies conseguissem acompanhar o clima até o fim do século. Quantitativamente, apesar das diferenças na magnitude da mudança climática entre os cenários sejam pequenas inicialmente, as espécies teriam que se deslocar pouco no RCP2.6, mas precisarão acompanhar uma velocidade climática de cerca de 70 km por década em áreas planas no RCP8.5, evidenciando as grandes diferenças nas taxas de mudanças climáticas.

As espécies que não podem se mover rápido o suficiente para manter o ritmo com a taxa de mudança do clima vão experimentar grandes contrações nas suas distribuições espaciais, enquanto aquelas que conseguirem poderão manter ou aumentar o alcance de sua distribuição. Em especial, montanhas fornecerão refúgios climáticos importantes para inúmeras espécies, uma vez que a taxa de deslocamento nestas regiões é baixa. No entanto, as espécies que já apresentam uma correlação com áreas montanhosas (estão entre as mais ameaçadas, já que não tem a possibilidade de se mover para cima. A perda do nicho climático favorável será, para muitas espécies, sinônimo de redução da aptidão, declínio da abundância e extinção local, com grandes efeitos prejudiciais potenciais sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. (IPCC, 2014a)

A elevação dos níveis do mar pode acarretar na inundação de deltas de rios de água doce, como o Mississippi, Nilo, Mekong, danificando as zonas húmidas e terras aráveis, dizimando populações de animais selvagens que ainda apresentam um papel importante para o abastecimento alimentar das nações, como os EUA, Egito e Vietnã. (ZAKOUR & GILLESPIE, 2013).

Efeitos secundários da perda da biodiversidade, como a perda de patrimônio genético pelo desaparecimento de espécies pode significar o não desenvolvimento de patentes de vacinas, remédios, avanços tecnológicos e do simples prazer estético da interação com outros organismos. Além disso, se uma espécie de papel ecossistêmico fundamental, uma fonte insubstituível de alimento, regulador populacional de parasitas ou reciclador de nutrientes, vir a se extinguir, pode causar na desestruturação completa da organização ecológica, e apresentar custos astronômicos para se conseguir uma recuperação eficiente do local. (PURVES, 2002).

Agora serão abordados os principais efeitos esperados sobre os ecossistemas terrestres e marinhos elencados pelo IPCC (2014a) e outros autores.

Ecossistemas terrestres e de água doce

Uma grande fração das espécies terrestres e de água doce vão enfrentar maiores risco de extinção sob alterações climáticas previstas no século XXI e além, especialmente devido a sinergia com outros fatores estressantes, como a modificação do habitat, sobre-exploração, poluição e espécies invasoras, elevando o risco de extinção em todos os cenários RCP, crescentes com a intensidade das mudanças. Algumas espécies apresentam potencial de adaptação aos novos climas, enquanto que aqueles que não conseguirem acompanhar a velocidade das transições ambientais vai diminuir em abundância ou se extinguir em parte ou na totalidade de sua distribuição.

Os cenários de emissões média-altas (RCP4.5, 6.0 e 8.5) apresentam alto risco de mudanças abruptas e irreversíveis na composição, estrutura e função dos ecossistemas terrestres e os de água doce (incluindo as zonas húmidas) na escala regional, com perdas de qualidade da água e de biodiversidade; os sistemas da floresta boreal-tundra do ártico e o da floresta Amazônica podem ser considerados como áreas suscetíveis. Não obstante, o carbono armazenado na biosfera terrestre apresenta suscetibilidade de retorno para a atmosfera como resultado das mudanças climáticas, desmatamento e da degradação dos

ecossistemas. O aumento regional da mortalidade de árvores e florestas será desencadeado pelo incremento das temperaturas médias e episódios de secas.

Sistemas marinhos

Devido às mudanças climáticas projetada para além da metade do século XXI, a redução da biodiversidade em regiões sensíveis e redistribuição das espécies marinhas globais vai ameaçar a produtividade pesqueira e outros serviços ecossistêmicos, em especial quando associadas às ameaças de pesca excessiva e outros estressores não-climáticos. O aquecimento projetado propiciará invasões de alta latitude e taxas elevadas de extinção locais em decorrência do deslocamento espacial de nichos ambientais nos trópicos e nos mares semifechados. A expansão progressiva de zonas de oxigênio mínimo e "zonas mortas" anóxicas devem restringir ainda mais o habitat dos peixes. Ainda, produção primária líquida do oceano aberto é projetada para ser redistribuída regionalmente, e próximo a 2100 apresentar globalmente uma queda em todos os cenários RCP.

MOLINO *et al.* (2015) analisaram os possíveis efeitos da velocidade de mudanças climáticas nos cenários RCP 4.5 e 8.5 na biodiversidade e distribuição dos ecossistemas marinhos. Seus resultados indicaram que, na média, as expansões de distribuição devem prevalecer sobre as contrações para ambos os RCPs até 2100, produzindo um aumento líquido da riqueza, assim como mudanças temporais na composição de espécies, relacionado à redistribuição em vez de a perda de diversidade. No entanto, as invasões generalizadas devem homogeneizar as comunidades existentes em várias regiões. São esperadas elevadas taxas de extirpação a nível regional, em especial para as projeções do RCP8.5, com um pico de ganho de riqueza líquida nas latitudes de 40/30° N/S, e vastas áreas da perda de riqueza perto do equador, principalmente na Indo-Pacífico Central, com forte diminuição da riqueza e formação antecipada de comunidades não-analógicas (diferentes das compostas atualmente) onde as invasões são comuns.

A inundação de ambientes costeiros com a elevação do nível do mar e aumento de tempestades apresentará impactos significativos nos manguezais e afetará a reposição e composição de espécies em decorrência da destruição dos refúgios e locais de berçário para inúmeras espécies de peixes. Por outro lado, a riqueza de espécies de médias e altas latitudes irão aumentar, enquanto que ocorrerá a diminuição em latitudes tropicais. O trabalho de MENON *et al.* (2009) identificou as áreas emersas que serão inundadas com

o aumento do nível do mar pelo degelo ártico e antártico, chegando a 0,7% da área emersa com 1m de elevação e 1,5% com 6m. Considerando as 827 regiões avaliadas, ao menos 21 destas irão perder >50% de sua área com 1m, sendo as mais afetadas concentradas no Sudeste Asiático e ilhas associadas, nordeste da América do Sul, América do Norte oriental, ocidental e Alaska. A perda de espécies chegou aos valores de 117 (89-144) espécies para elevação de 1m e 221 (169-272) para 6m.

A acidificação dos oceanos apresenta riscos substanciais para os ecossistemas marinhos para os cenários de maiores alterações climáticas, especialmente os polares e recifes de coral, com impactos relacionados à fisiologia, comportamento e dinâmica populacional de espécies de diferentes grupos, desde o fitoplâncton aos animais; os moluscos densamente calcificados, equinodermos e recifes de corais são mais sensíveis as alterações ambientais que crustáceos e peixes. A acidificação dos oceanos atua sinergicamente com outras mudanças globais (por exemplo, o aquecimento superficial da água com diminuição dos níveis de oxigênio) e com as alterações locais (por exemplo, poluição, eutrofização), podendo levar à amplificação e aumento da complexidade dos impactos para as espécies e os ecossistemas.

América do Sul e Brasil

IVIG (2014b) afirma que no Brasil, os ecossistemas de água doce e terrestre deverão apresentar um declínio da biodiversidade, especialmente nas regiões mais populosas do país. Além disso, os ecossistemas naturais da Amazônia e do Pantanal apresentam um alto grau de vulnerabilidade à variabilidade e mudança de clima. O Pantanal, localizado no Centro-Oeste do Brasil, constitui uma das últimas grandes áreas inundadas de água doce no mundo, habitat de uma grande variedade de vida selvagem. Este ecossistema faz parte da bacia do Rio Paraná e, durante a estação chuvosa (normalmente de novembro até abril), se comporta como um gigantesco mecanismo natural de controle das enchentes do Rio Paraguai, resultantes das chuvas torrenciais sobre o Mato Grosso. Qualquer aumento significativo da vazão, resultante de alterações climáticas ou do desmatamento, irá afetar negativamente a capacidade de retenção e controle desta grande área alagada.

A Amazônia já sentiu os impactos das mudanças do clima nos dias atuais, e deverão se tornar ainda mais graves no futuro, especialmente com os frutos dos extremos climáticos, como a seca de 2005, durante a qual alguns rios chegaram a baixar seis centímetros por dia e provocaram a morte de milhares de peixes. Segundo especialistas

do INPE e do Hadley Centre, as chances de ocorrência de períodos de intensa seca na região amazônica podem aumentar dos atuais 5% (uma forte estiagem a cada 20 anos) para 50% em 2030, chegando a até 90% em 2100 (MARENGO, 2008).

Ainda a mesma região, com a elevação da temperatura e alteração dos padrões de chuva com intensificação da estiagem, a vulnerabilidade da floresta ao fogo deve aumentar e permitir a entrada do fogo, e com a mistura de mudanças globais e locais (desmatamento, efeito de borda, uso de queimadas na lavoura), espécies de savana podem estender seu domínio sobre região. A savanização da Amazônia pode gerar mudanças drásticas no clima da América do Sul, com perda da biodiversidade e redução expressiva do transporte de umidade dos rios aéreos para o centro do continente, apresentando ainda a possibilidade de desertificação futura do centro-oeste brasileiro segundo a teoria da bomba biótica. (OYAMA & NOBRE, 2003; NOBRE, 2014). A região da foz do rio Amazonas deverá perder áreas consideráveis (> 50%) de florestas de várzea e biodiversidade de espécies com a elevação do nível do mar (MENON *et al.*, 2009)

No Nordeste, o semiárido tenderá a tornar-se mais árido com a redução da disponibilidade de recursos hídricos; os depósitos subterrâneos poderão receber menos 70% de recarga, além de aumento da frequência e intensidade das secas, gerando impactos sobre a vegetação, a biodiversidade e atividades que dependem dos recursos naturais (IPCC 2007; MARENGO 2008).

A Bacia do Prata apresenta grande sensibilidade à variabilidade da precipitação, podendo aumentar a vulnerabilidade da Bacia do Prata a desastres naturais, como enchentes e extensão de epidemias de dengue e malária. O IPCC (2007) também afirma que as latitudes mais altas desta região apresentam projeções de possíveis aumentos na chuva e vazões de até 20% durante os meses de verão austral até a segunda metade do século XXI. Já PENALBA & RIVERA (2013) esperam um aumento futuro na variabilidade sazonal e interanual de precipitação, levando a mais e mais severos eventos de secas, podendo resultar em alterações na vegetação. Também deverá perder áreas consideráveis (> 50%) de suas ecorregiões marginais e biodiversidade com a elevação do nível do mar (MENON *et al.*, 2009)

MAACK (2012) afirma que é possível que o clima atual com médias de temperatura mais elevadas esteja contribuindo para o processo sucessional dos elementos típicos da Floresta Ombrófila Mista, os quais estão paulatinamente sendo substituídos pelas

espécies da Floresta Estacional Semidecidual, podendo, nas condições de elevada fragmentação e degradação, a mata de araucária ser eliminada do estado.

Já JESKE-PIERUSCHKA (2012) conclui que, sob temperaturas mais elevadas dos cenários de aquecimento global intenso, a floresta ombrófila se expandirá através da migração de muitas espécies de plantas tropicais para as regiões do sul do Brasil, substituindo floresta com araucária e, com a supressão do pastoreio e queimadas, substituirá o campo no binômio Araucária-Campos dos mosaicos das terras altas. Por outro lado, o ecossistema da floresta vai recuar sob condições climáticas com períodos mais secos e/ou longos, e ainda de maior frequência, ambos os ecossistemas, a floresta araucária e a floresta ombrófila irão mostrar um desenvolvimento prejudicado devido ao déficit hídrico. Assim, mudanças climáticas futuras desempenharão um papel crucial na composição da vegetação e da dinâmica nas terras altas subtropicais do Sul do Brasil.

Em relação ao bioma Mata Atlântica, esta apresenta uma sensibilidade considerável às mudanças no clima pela sua estratificação de altitude. As espécies endêmicas deste *hotspot* de biodiversidade não irão encontrar refúgio para acompanhar as mudanças do ambiente, uma vez que não tem para onde subir além das escarpas nas suas serras características, com elevada vulnerabilidade à extinção local.

Especificamente para a vegetação deste bioma, o estudo de COLOMBO & JOLY (2010) usou técnicas de modelagem para determinar a distribuição geográfica presente e futura de 38 espécies arbóreas típicas deste bioma, considerando dois cenários de aquecimento global. Os resultados obtidos mostraram uma alarmante redução na área que as espécies estudadas poderão ocupar, bem como um deslocamento da ocorrência atual em direção ao sul do Brasil. O cenário otimista apresentou uma redução da área potencial de ocorrência média de 25%, enquanto que no cenário pessimista da ordem de 50%.

Em relação a fauna da Mata Atlântica, o estudo de HADDAD *et al.* (2008) previu contração de distribuições de 56% para os anfíbios dentro do gênero *Brachycephalus*, com possíveis extinções. Por outro lado, o estudo de LOYOLA *et al.* (2012) avaliou a distribuição da espécie invasora de rã-touro americana *Lithobates catesbeianus* em reservas da Mata Atlântica para 2050 de áreas protegidas. Seus resultados mostraram que irá ocorrer uma contração na abrangência geográfica desta espécie, a qual levará a uma competição pelo espaço com outras espécies de anfíbios em UCs, com potencial extinção competitiva.

Para aves, que apresentam uma elevada mobilidade, a situação não é diferente. O trabalho de SOUZA *et al.* (2011) mostra uma grande contração de nicho potencial de 51 espécies de aves ameaçadas ou endêmicas da Mata Atlântica em 2050 sobre as mudanças climáticas, com a perda da riqueza de 7 a 12 espécies para grande parte do Paraná (atualmente variando de 15 a 35 espécies consideradas).

5.3.5. Impactos sobre os sistemas antrópicos

Os impactos aos sistemas humanos podem abranger um amplo espectro de entidades que apresentam aspectos diferentes de vulnerabilidade. Segundo o IVIG (2012b), esta pode ser de cunho social e/ou econômico, além de estar atrelada a uma região específicas. A vulnerabilidade social afeta diretamente a integridade dos seres humanos tanto em termos de riscos a desastres naturais (enchentes, deslizamentos, secas etc.) quanto em termos de riscos de problemas de saúde (dengue, ondas de calor, leishmaniose etc.). A vulnerabilidade econômica se refere aos impactos aos setores produtivos ou às estruturas econômicas, tais como, a agricultura, indústria, energia ou infraestruturas de transporte. Em termos territoriais ou locais, estes impactos podem se manifestar em áreas urbanas, rurais, em zonas costeiras ou em regiões específicas, de acordo com a suas vulnerabilidades específicas.

Existe uma grande dificuldade em conseguir perceber os efeitos das mudanças climáticas sobre sistemas antrópicos, uma vez que se encontra em constante mudança, e ainda o seu monitoramento apresenta muitas falhas. Ainda assim, algumas associações podem ser feitas quanto a sensibilidade destes sistemas, em especial sobre o da produção de alimentos, o qual apresenta grande dependência das condições climáticas. Exemplos destes serão abordados nas duas próximas partes, os impactos observados e esperados sobre os sistemas antrópicos.

5.3.6. Impactos observados sobre os sistemas antrópicos

O IPCC (2014a) condensou os principais impactos sobre os sistemas antrópicos cujas causas foram atribuídas, ao menos em parte, às mudanças climáticas, os quais serão agora detalhados.

Eventos climáticos extremos

Para alguns sistemas antrópicos, as situações mais significativas que as mudanças climáticas tiveram um impacto detectável são atribuídas a eventos climáticos extremos.

De forma abrangente, as ondas de calor, secas, inundações, ciclones e incêndios florestais apresentam impactos relevantes em praticamente todos os sistemas antrópicos, variando sua magnitude de acordo com os níveis de vulnerabilidades particulares. Podem ser citados como efeitos diretos a alteração dos ecossistemas a interrupção da produção de alimentos e abastecimento de água, os danos à infraestrutura e assentamentos, morbidade e mortalidade, além de consequências adversas para a saúde mental e bem-estar humano.

Como relatado anteriormente (IPCC 2012), foi observado que a quantidade e intensidade de alguns destes eventos está aumentando. O que se sabe é que países em todos os níveis de desenvolvimento ainda apresentam significativa falta de preparação para os impactos destes eventos a diversos setores, com as principais considerações para cada continente listadas aqui:

- Na África, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos, como secas e inundações, tem impactos significativos sobre os setores econômicos, os recursos naturais, os ecossistemas, os meios de vida e a saúde humana;
- Recentes inundações, ondas de calor, secas, incêndios florestais na Oceania causaram danos graves à infraestrutura e assentamentos, aumento da morbidade, destruição de edifícios e perdas econômicas elevadas;
- Na Europa, os eventos climáticos extremos têm apresentado impactos significativos em vários setores econômicos, bem como efeitos sociais e de saúde adversos;
- Na América do Norte, a maioria dos setores econômicos e sistemas antrópicos têm sido afetados adversamente por condições meteorológicas extremas, incluindo furacões, inundações e chuvas intensas. A mortalidade e morbidade tem aumentado por eventos de calor extremo, assim como tempestades costeiras extremas ao longo da costa. A infraestrutura da América do Norte é atualmente muito vulnerável a eventos climáticos extremos, principalmente quanto deterioração da qualidade da água e sistema de transporte;
- No ártico, eventos climáticos extremos tiveram efeitos adversos diretos e indiretos para a saúde de seus residentes.

Recursos Hídrico

Alterações nos padrões de precipitação ou derretimento de neve e gelo estão afetando a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, além da modificação dos padrões

de escoamento superficial e o aquecimento e descongelamento dos solos permafrost em regiões de alta latitude/altitude.

Sistemas de produção e segurança alimentar

Os impactos negativos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola ter sido mais comum do que os impactos positivos, estes últimos principalmente relacionados às regiões de alta latitude. A mudança climática tem afetado negativamente o rendimento das culturas de trigo e milho para muitas regiões, assim como o saldo global; já sobre a produtividade do arroz e soja, menos impactados, apresentam uma produtividade global média nula. Especialmente nos países em desenvolvimento, a população rural está sujeita a múltiplas pressões não climáticas, incluindo poucos investimentos na agricultura, problemas com a política de terra e recursos naturais, e os processos de degradação ambiental, o que acabam intensificando estes efeitos.

Por outro lado, foi observado um aumento de produtividade agrícola e expansão de áreas agricultáveis no sudeste da América do Sul além daquele esperado pela melhora tecnológica (média confiança, grande contribuição das alterações climáticas).

A segurança alimentar é prejudicada após extremos climáticos, os quais precedem aumentos rápidos de víveres nas principais regiões produtoras, indicando uma sensibilidade geral do mercado atual. A elevação da quantidade de dias quentes afeta negativamente o rendimento das culturas durante todo o período de crescimento (próximo a 30 °C); o aumento de CO₂ estimula o crescimento; o aumento do ozônio troposférico causa danos na vegetação. Ainda assim, as interações entre o aumento de CO₂, ozônio, temperatura média, extremos, água e nitrogênio são não-lineares e difíceis de quantificar, não permitindo até afirmar se seu somatório apresenta um saldo positivo ou negativo.

Áreas Urbanas

Uma alta proporção da população e das atividades econômicas em risco frente às mudanças climáticas se encontram em áreas urbanas, as quais abrigam mais da metade da população mundial e a maioria de suas construções, responsáveis por grande parte das emissões de GEE. A rápida urbanização e crescimento das grandes cidades dos países em desenvolvimento tem sido acompanhado pela expansão das comunidades urbanas altamente vulneráveis que vivem em aglomerados subnormais, muitos dos quais estão em locais expostos a condições climáticas extremas.

Principais setores econômicos e serviços

Perdas econômicas devido a eventos climáticos extremos têm aumentado globalmente, principalmente devido ao aumento da riqueza e da exposição, com uma possível influência da mudança climática. Desde meados do século XX, as perdas socioeconômicas de inundações têm aumentado principalmente devido à maior exposição e vulnerabilidade. Elas podem ter grandes custos econômicos futuros, tanto em termos de impactos (destruição de capital) e adaptações (infraestruturas defensivas, modificação de construções).

Saúde Humana

Apesar de relativamente pequena e pouco quantificada em comparação a outros estresses, observou-se um aumento da mortalidade relacionada ao calor e a diminuição da relacionada ao frio em algumas regiões como resultado do aquecimento global. Alterações locais na temperatura e precipitação deslocaram a distribuição de algumas doenças transmitidas pela água e vetores de doenças.

Em geral, a saúde da população humana é sensível diretamente a mudanças nos padrões de temperatura e precipitação, principalmente devido a eventos de ondas de calor, inundações, secas e incêndios. Indiretamente, é afetada por perturbações na biota como a perda de colheitas ou mudanças nos padrões de vetores de doenças, ou ainda pela resposta social a estes efeitos, como o deslocamento de populações após seca prolongada.

Modos de vida e pobreza

Os perigos relacionados ao clima exacerbam outros fatores estressantes, muitas vezes com resultados negativos para os meios de vida. Pessoas que vivem em situação de pobreza são diretamente afetadas por estes perigos através de impactos sobre os meios de subsistência, reduções no rendimento das colheitas ou destruição de suas moradias; indiretamente, por meio do aumento dos preços dos alimentos e exacerbação da insegurança alimentar. Pobres urbanos e rurais transitórios podem se consolidar permanentemente nesta situação como resultado de múltiplas privações em decorrência de eventos extremos. Ainda assim, alguns efeitos positivos das mudanças climáticas foram observados sobre as pessoas pobres e marginalizadas, como a diversificação das redes sociais e das práticas agrícolas.

Os meios de subsistência dos povos indígenas no Ártico foram alterados pela mudança climática, através de impactos sobre a segurança alimentar, cultura e valores tradicionais. Na América do Sul, os agricultores indígenas Aymara da Bolívia apresentaram uma maior vulnerabilidade no seu modo de vida tradicional devido à escassez de água e efeitos do aumento da tensão social e econômica em decorrência destas alterações; também existem algumas evidências de alterações nos padrões de povos indígenas de outras regiões.

5.3.7. Impactos esperados sobre os sistemas antrópicos

As mudanças climáticas vão amplificar os riscos relacionados com o clima existente e criar novos riscos para os sistemas antrópicos a curto e médio prazo, com a severidade dos impactos decorrentes dependendo tanto da magnitude e ritmo das alterações como da vulnerabilidade e a exposição dos sistemas afetados. Alguns desses riscos serão limitados a um determinado setor ou região, e outros terão efeitos em cascata, podendo ter até alguns benefícios potenciais a locais específicos.

O Relatório Stern (STERN, 2006) utilizou resultados de modelos econômicos formais para estimar que, sem a tomada de ações amplas para mitigação e adaptação, o total dos custos e riscos das alterações climáticas será equivalente à perda anual de, no mínimo, 5% do PIB global, agora e para sempre. Se tivermos em conta uma série de riscos e impactos mais amplos, as estimativas dos danos poderão aumentar para 20% ou mais do PIB. Em contraste, os custos da tomada de medidas para prevenir essa perda podem ser limitados a cerca de 1% do PIB global anualmente.

Já o IPCC (2014a) estima que as perdas econômicas anuais globais para o aumento da temperatura adicionais de em torno de 2 °C são entre 0,2 e 2,0% da renda ($\pm 1\%$), com propensão de ser maior, uma vez que muitas estimativas não levam em conta mudanças catastróficas, pontos críticos de mudanças, e outros fatores de imprevisibilidade. Além disso, existem grandes diferenças entre os países, interna e externamente. Por exemplo, estima-se que em 2100, para o cenário RCP8.5 de alta emissão, a combinação de alta temperatura e umidade levará o comprometimento das atividades humanas normais, incluindo o cultivo de alimentos ou trabalhos ao ar livre durante algumas épocas do ano e regiões. As perdas devem se acelerar quanto maior for o aquecimento, mas poucas estimativas quantitativas foram concluídas pelo aquecimento de 3 °C ou maior.

Estes mesmos autores ainda elencaram os riscos principais aos sistemas humanos, os quais incluem aqueles que apresentam grande potencial de danos e/ou afetam sistemas e sociedades expostos de alta vulnerabilidade. A identificação dos principais riscos foi realizada pelo julgamento de especialistas nesta temática, baseado sobre os seguintes critérios: grande magnitude, alta probabilidade ou irreversibilidade dos impactos; o *timing* dos impactos; vulnerabilidade ou exposição persistente que contribuam para os riscos; ou limitado potencial de redução de riscos através da adaptação ou mitigação. Os principais riscos elencados aos sistemas humanos são os seguintes:

- Risco de morte, ferimentos, problemas de saúde ou modos de vida prejudicados em zonas costeiras de baixa altitude e os pequenos Estados insulares em desenvolvimento e outras pequenas ilhas, devido a tempestades, inundações costeiras, e elevação do nível do mar;
- Risco de graves problemas de saúde e modos de vida prejudicados para grandes populações urbanas devido a inundações no interior de algumas regiões, além da disseminação de doenças de veiculação hídrica e por vetores, como mosquitos;
- Riscos sistêmicos devido à desagregação das redes de infraestruturas e serviços críticos em decorrência de eventos climáticos extremos, como energia elétrica, abastecimento de água, saúde, edificações, transportes e serviços de emergência;
- Risco de mortalidade e morbidade durante períodos de calor extremo, aumento de epidemias, fome e perda de capacidade produtiva dos trabalhadores, particularmente para populações urbanas vulneráveis e para trabalhadores ao ar livre em áreas urbana ou rural;
- Risco de intensificação dos problemas sociais já existentes, como exacerbação da pobreza, dos conflitos por recursos escassos, das disputas por terras e perda de áreas agricultáveis;
- Risco de insegurança alimentar e a ruptura dos sistemas alimentares por consequência do aquecimento, secas, inundações, aumento de pragas e variabilidade da precipitação e extremos climáticos, especialmente para as populações urbana e rural mais pobres;
- Risco de perda de meios de renda e subsistência rurais devido ao acesso inadequado/insuficiente ou queda de qualidade da água potável e para

irrigação, causando redução da produtividade agrícola, especialmente para os agricultores e pecuaristas com pouco capital em regiões semiáridas;

- Risco de perda dos bens, funções e serviços prestados pelos ecossistemas marinhos para a subsistência costeiras, especialmente para as comunidades de pesca nos trópicos e no Ártico;
- Risco de perda de bens, funções e serviços prestados pelos ecossistemas terrestres e de água doce que fornecem para a subsistência, além da perda de seus potenciais de uso futuro, indireto e de existência;

América Latina e Brasil

Em relação aos impactos das mudanças climáticas para a América Latina, o IVIG (2014b) levantou algumas projeções a respeito dos setores que serão afetados e das perdas sociais e econômicas, incluindo:

- Agricultura: Estimam-se perdas agrícolas em decorrência das mudanças climáticas da ordem de US\$ 91 milhões (1% do PIB) em 2050 se a temperatura aumentar até 2°C. A produtividade de localidades tropicais e subtropicais será reduzida a um terço dos níveis atuais, com o aumento de pragas e doenças nas plantações, um aumento da demanda e custo da água para irrigação, além da salinização e a desertificação do solo nas áreas centrais mais secas. Este cenário deverá aumentar a desigualdade e a pobreza da população em áreas rurais e elevar a insegurança alimentar;
- Saúde pública: O risco de exposição à malária pode aumentar 18% a cada elevação de 1°C na temperatura, com aumento de incidência da doença de 8% em 2050 para 23% em 2100; já a incidência de dengue pode chegar a 21% em 2050 e 64% em 2100. Também é esperado o aumento da desnutrição em decorrência da perda agrícola;
- Recursos Hídricos: Mudanças nos padrões da precipitação e disponibilidade e distribuição temporal da vazão nos rios; secas e enchentes mais frequentes e intensas deverão afetar as taxas de recarga de águas subterrâneas, podendo ter impactos sobre a disponibilidade para consumo, com a falta de água se tornando um dos principais problemas enfrentados nas áreas urbanas. A população mais pobre será mais vulnerável aos impactos de cortes da distribuição de água potável, de acesso à rede de esgoto, e à contaminação da

água, entre outros. Estima-se que, em 2055, entre 60 e 150 milhões de pessoas sofrerão estresse hídrico na região;

- Indústria: Os custos com energia, construção e integridade e segurança de infraestrutura exigirão que o setor se submeta a novas regulações e padrões vinculados ao clima. As atividades que dependem de recursos hídricos, tais como mineração, indústrias de energia e serviços sanitários poderão enfrentar problemas adicionais decorrentes da escassez de água;
- Turismo: O aumento da temperatura, a escassez e degradação de recursos hídricos e o incremento das doenças tropicais irá gerar um impacto negativo elevado nos dividendos gerados pelo turismo, especialmente as áreas costeiras em decorrência do aumento do nível do mar;
- Setor Energético: Afetado negativamente, tanto no que diz respeito à base de recursos energéticos e aos processos de transformação, quanto aos aspectos de transporte e consumo de energia;
- Áreas rurais: Impacto da mudança climática na produção agrícola, migrações e interação com áreas urbanas; reversão na tendência de crescimento econômico em regiões mais vulneráveis do ponto de vista socioeconômico, como o Nordeste.

NOBRE (CGEE 2008) ainda ressalta que a economia brasileira tem forte dependência de recursos naturais renováveis, com mais de 50% do PIB estando associados a esses, principalmente por intermédio da agricultura, hidroeletricidade, biocombustíveis, bioenergia, energia eólica, energia solar, entre outros, de modo que apresenta uma vulnerabilidade potencialmente alta às mudanças climáticas que possam eventualmente diminuir a utilização de recursos naturais renováveis. Não obstante, o país ainda apresenta grande desigualdade social e regional, com cerca de 50% da população considerada pobre, tornando-se particularmente vulnerável às mudanças climáticas que se projetam, especialmente as populações rurais do semiárido do Nordeste e os habitantes pobres das periferias das cidades brasileiras e das áreas costeiras com baixas elevações. Essa sinergia de vulnerabilidades naturais e humanas ainda pode intensificar os danos aos sistemas nacionais.

Outro estudo que avalia a questão na região é o desenvolvido pela Comissão Econômica para a América Latina e Caribe (CEPAL, 2015), que identifica evidências de mudanças já ocorridas e elenca as esperadas, descreve as ações de adaptação e seus

custos, além de estabelecer o panorama de emissões mundial e discute questões importantes para a governança das mudanças climáticas.

Após a identificação das alterações climáticas e dos impactos adversos esperados sobre os diferentes sistemas naturais e humanos, almeja-se identificar quais as opções de ação que a sociedade pode escolher para evitar ou diminuir estes efeitos indesejados.

5.4. Mitigação e adaptação aos impactos das mudanças climáticas

A humanidade busca diferentes caminhos possíveis, baseados nas premissas do desenvolvimento sustentável, que almejam tanto aumentar a resiliência dos sistemas como minimizar a magnitude dos impactos das mudanças climáticas. Para o IPCC (2014a), eles incluem processos iterativos para garantir que a gestão eficaz dos riscos possa ser implementada e sustentada mundialmente. As ações de mitigação reduzem tanto a taxa de alteração quanto a magnitude do aquecimento, de modo que aumentam o tempo disponível para adaptação a um determinado nível da mudança de clima. Atrasar ações de mitigação podem reduzir as opções para caminhos mais resistentes às alterações climáticas futuras.

Maiores taxas e magnitude de mudanças climáticas aumentam a probabilidade de exceder os limites de adaptação, o que ocorre quando as medidas para se evitar riscos intoleráveis para um ator ou para as necessidades de um sistema não são possíveis ou não estão disponíveis no momento. Os limites à adaptação emergem da interação entre a mudança climática e constrangimentos biofísicos e/ou socioeconômicos. Em algumas partes do mundo, respostas insuficientes aos impactos emergentes já estão minando as possibilidades para o desenvolvimento sustentáveis. São necessárias diversas transformações nas decisões econômicas, sociais, tecnológicas e políticas para se alcançar caminhos de desenvolvimento resilientes o suficiente ao clima para acompanhar as alterações climáticas inevitáveis. (IPCC, 2014a)

Quando a informação disponível sobre os cenários de alterações climáticas é cruzada com as fraquezas e vulnerabilidades, e ainda são identificados os riscos de impactos adversos de magnitude não desprezível, é possível planejar a adoção de medidas para a mitigação e adaptação. A próxima etapa lógica engloba a decisão de quais são as ações possíveis que apresentam as melhores expectativas de eficiência, além de onde, como e quando devem ser implementadas. KLEIN *et al.* (1999) afirmam que as respostas a estas questões dependem da orientação das políticas locais, regionais e nacionais,

prevalecendo os planos de desenvolvimento e gestão existentes, os quais formam o amplo contexto na qual a adaptação está inserida. Critérios importantes que influenciam a adoção de tais ações incluem custo-eficácia, equidade social e sustentabilidade ambiental.

Apesar dos impactos das alterações climáticas se apresentarem heterogeneamente no espaço, as causas do aquecimento atmosférico são encontradas na escala global. Deste modo, a abordagem de ações de mitigação só apresentará uma eficácia considerável se tomadas em larga escala, com estratégias de gestão *top-down*, condizentes com acordos, políticas, planos e programas nos níveis internacionais e nacionais. Já as ações de adaptação apresentam uma maior eficácia quando estruturadas de forma a abranger as características locais, normalmente desenvolvidas no âmbito de projetos, formuladas especificamente para atender as necessidades do sistema para qual foi idealizada, mas sempre em concordância com as diretrizes das hierarquias governamentais superiores. A PNMC (2009) corrobora tal percepção, afirmando que as ações de adaptação são percebidas localmente, já que são específicas, dificultando sua replicação em outros lugares, enquanto que a mitigação tem seus resultados refletidos em níveis globais.

Por outro lado, WEST *et al.* (2009) resumizam alguns princípios gerais para adaptação, englobando a gestão da resiliência e das mudanças. A nível nacional, princípios que facilitam a adaptação incluem: (1) gestão em escalas adequadas, e não necessariamente as escalas de conveniência ou tradição; (2) uma maior colaboração entre os órgãos e entidades governamentais; (3) abordagens racionais para estabelecer prioridades de ação; e (4) a gestão com a expectativa de mudanças nos ecossistemas, ao invés de tentar mantê-los semelhantes ao passado. Também elencaram as principais barreiras e oportunidades, agrupadas em quatro categorias: (1) legislação e regulamentação, (2) políticas e procedimentos de gestão, (3) capital humano e financeiro, e (4) da informação e ciência.

Uma boa medida da capacidade de adaptação a potenciais mudanças futuras no clima é verificar como populações enfrentam a variabilidade natural do clima atual e no passado histórico. Como aponta NOBRE *et al.* (2008), uma profunda diferença na resposta à variabilidade e aos extremos climáticos é distinguível entre nações desenvolvidas e em desenvolvimento. O Brasil pode não se encontrar entre os países mais vulneráveis do mundo às mudanças climáticas, como quase todos os da África, sul da Ásia e as pequenas ilhas oceânicas (principalmente relacionado ao acesso à água e a inundações), mas apresenta vulnerabilidades socioeconômicas e ambientais significativas

às mudanças climáticas, exemplificada pelas periódicas secas do Nordeste, as enchentes e inundações, os deslizamentos em encostas em regiões metropolitanas e serranas. Assim, a vulnerabilidade do Brasil às mudanças climáticas prováveis será igualmente alta, podendo prejudicar as bases do desenvolvimento sustentável nacional se ações de gestão adequadas não forem tomadas.

Serão abordadas na sequência as questões da governança brasileira das mudanças climáticas, com ênfase nas medidas de adaptação, seguido de exemplos destas ações para a preservação de remanescentes naturais.

5.4.1. Elementos da governança brasileira para mitigação e adaptação às mudanças climáticas

Em prol de se enfrentar o problema dos impactos adversos da mudança antrópica do clima, diversos países buscaram estabilizar a concentração GEE na atmosfera em níveis tais que evitem a interferência perigosa com o sistema climático. Os principais fundamentos dessa iniciativa internacional são a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), a qual também busca estimular e desenvolver medidas de adaptação frente aos impactos da mudança do clima, e o Protocolo de Quioto.

Uma das principais obrigações dos países signatários da CQNUMC é a elaboração e atualização periódica do Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Agora, na elaboração do 3 ciclo deste processo, em 2004 foi divulgada a primeira Comunicação Nacional Brasileira (MCTI, 2005), com estimativas dos valores de emissão e remoções referentes ao período de 1990 a 1994 e destacando que, nesse último ano, 77% das emissões de CO₂ se deram em função das mudanças de uso do solo e do desmatamento. A segunda (MCTI, 2010) ratificou esse quadro e ampliou o período até 2005, ano em que a participação do uso da terra permanece praticamente a mesma, equivalendo a 76,8% das emissões de CO₂ pelo Brasil. (PBMC, 2014)

No Brasil, foram criados dois fóruns de governança para implementar e gerenciar a agenda de políticas públicas voltadas para a mudança do clima, a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC) e o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM). O CIMGC, criado em 1999, tem a finalidade de coordenar as ações de governo decorrentes da participação brasileira na CQNUMC, além de atuar como a autoridade nacional designada para a aprovação de projetos de MDL pelo

Protocolo de Quioto. O CIM, criado em 2007, tem como atribuições principais a elaboração e implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (Decreto presidencial nº 6.263, de 21 de novembro de 2007). Em 2008, o CIM elaborou o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, composto por um conjunto de ações governamentais setoriais visando a mitigação e a adaptação aos efeitos da mudança do clima. Também foram estabelecidos dois instrumentos financeiros para fomento de ações de mitigação e adaptação: o Fundo Amazônia e o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC).

Na 15ª Conferência das Partes (COP 15) da CQNUMC, realizada em 2009 em Copenhague, o Brasil firmou compromissos voluntários de implementar ações de mitigação de emissão de GEE, englobando cinco preceitos principais para o país:

- Mitigação: metas ambiciosas de redução de GEE, entre 36,1% e 38,9% abaixo do cenário *business as usual* para 2020;
- Adaptação: realizar uma abordagem abrangente e flexível para medidas de adaptação e meios de implementação que contemple nas ações almejadas a diversidade de características e capacidades, incluindo financiamento e tecnologia;
- Financiamento: destinação de recursos para financiar a adaptação, restabelecendo o equilíbrio dos fundos no regime de mudança climática, além de avaliar as contribuições obrigatórias dos países desenvolvidos como parte dos seus compromissos na CQNUMC;
- Transferência de tecnologia: investimento em inovações tecnológicas e transferência de tecnologia, com ênfase na cooperação Sul-Sul e triangular;
- Visão compartilhada: ponto de vista compartilhado sobre uma meta global de redução de emissões que leve em conta as responsabilidades comuns, porém diferenciadas.

Estes compromissos foram consolidados pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Esta define os instrumentos para implementação destes compromissos, entre eles, a Comunicação Nacional à CQNUMC, os inventários de emissões e os mecanismos de financiamento. A lei também aborda o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões e os Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima, os quais visam subsidiar tecnicamente a

transição do Brasil para uma economia de baixo carbono. Importante ressaltar que estes planos também visam reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e antrópicos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima. Os seguintes Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação já foram concluídos ou estão em elaboração:

- Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal – PPCDAM (MMA, 2013b);
- Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado – PPCerrado (MMA, 2014);
- Plano Decenal de Energia – PDE 2023 (BRASIL, 2014);
- Plano de Agricultura de Baixo Carbono - Plano ABC (MAPA, 2012);

Plano Setorial de Mitigação da Mudança Climática para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação - Plano Indústria;

- Plano de Mineração de Baixa Emissão de Carbono – PMBC;
- Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação da Mudança do Clima – PSTM (BRASIL, 2013b);
- Plano Setorial da Saúde para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima;
- Plano de redução de emissões da Siderurgia.

Todos esses segmentos da atividade econômica terão que cumprir metas gradativas de redução de emissões antrópicas quantificáveis e verificáveis, considerando-se as especificidades de cada um deles, inclusive por meio do MDL e das Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas – as NAMAs.

Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PMBC; 2014), é importante notar que diversas instituições federais já haviam sido criadas por normas anteriores à aprovação da PNMC, o que impôs alguns desafios de coordenação e articulação com o novo modelo proposto pela lei. A PNMC estabeleceu uma estrutura institucional de coordenação e implantação de seus preceitos da Lei, a qual inclui: I - o CIM; II - a CIMGC; III - o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC); IV - a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais - Rede Clima; V - a Comissão de Coordenação das Atividades de Meteorologia, Climatologia e Hidrologia (CMCH).

O FNMC ou Fundo Clima foi criado pela Lei nº 12.114/2009 e regulamentado pelo Decreto nº 7.343/2010. Trata-se de uma entidade de natureza contábil, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, e que tem como objetivo assegurar recursos para apoio a

projetos ou estudos e financiamento de empreendimentos que visem à mitigação da mudança do clima e à adaptação à mudança do clima e seus efeitos.

Por sua vez, o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC) é uma instância consultiva criada pelo Decreto nº 3.515, de 20 de junho de 2000, e alterado por outros dois decretos em 28 de agosto e 14 de novembro de 2000. Seu objetivo principal é conscientizar e mobilizar a sociedade brasileira para a discussão e uma tomada de posição frente aos problemas decorrentes da mudança do clima por gases de efeito estufa. O FBMC é o principal espaço de participação da sociedade civil na discussão sobre a política climática e no posicionamento brasileiro para as negociações internacionais.

Já a Comissão de Coordenação das Atividades de Meteorologia, Climatologia e Hidrologia (CMCH), foi instituído pelo Decreto Nº 6.065, de 21 de março de 2007. É um órgão colegiado integrante da estrutura do MCTI, que busca a coordenação, o acompanhamento e a contribuição para a avaliação da execução das atividades de meteorologia, climatologia e hidrologia, bem como a tarefa de promover sua articulação com as ações de governo nas áreas espacial, oceanográfica e de meio ambiente. Ainda visa a formulação de políticas, diretrizes, critérios, normas e regulamentos que busquem orientar as atividades em meteorologia, climatologia e hidrologia, para conferir-lhes maior eficiência.

Na esfera estadual, segundo o PBMC (2014), em 2012, dos 27 estados brasileiros, 17 já possuíam lei sancionada ou projeto de lei para regulamentar a política estadual de mudanças climáticas, desenvolvidas de forma autônoma. Ainda assim, regiões que apresentam as maiores vulnerabilidades são as menos providas de políticas estaduais de mudanças climáticas; como exemplo, a região Norte, possui duas políticas estaduais, a do Amazonas e do Tocantins, e no Nordeste, somente 22% da região é amparada por tais políticas.

Este arcabouço de leis, planos, programas e instituições cobre, a grosso modo, abrangem a principal instrumentação brasileira que lida com a questão das mudanças climáticas e seus impactos, assim como engloba a base de fomento de ações para a mitigação e adaptação nos diversos níveis de governo. No entanto, situações onde planos, políticas e programas não são traduzidos a ações concretas não são incomuns. Assim, é imprescindível que exemplos práticos e aplicados sejam identificados, de forma a auxiliar neste processo.

Deste modo, serão abordadas ações de adaptação aplicadas ao foco deste trabalho, os remanescentes naturais e a biota relacionada.

5.4.2. Adaptação de remanescentes naturais aos impactos da mudança do clima

As mudanças climáticas são um novo tipo de ameaça que muitas vezes ainda não são consideradas pelos gestores de áreas protegidas. Seus efeitos diretos e indiretos vão tanto causar danos ao ecossistema como vão alterar como as ameaças tradicionais devem ser gerenciadas. HANNAH (2011) ressalta que, por ser um processo global, as mudanças climáticas penetram todas as partes da reserva, nunca sobre o controle dos gestores, de modo que a escolha de ações deve ser focada na modificação dos efeitos sobre os fatores que interagem com as alterações. Estes fatores são as ameaças, as perturbações, as espécies de interesse presentes e o turismo, os quais serão alterados em maior ou menor grau de acordo com a magnitude de alteração.

Basicamente, as ações de adaptação são alocadas em três tipologias que se superpõem: as que buscam assegurar a presença de áreas de habitat adequado e vias de dispersão e migração; as que almejam reduzir os estressores não climáticos (o que já é parte do manejo tradicional); e aquelas que focam a gestão das populações movendo fisicamente organismos com seu reestabelecimento em lugares mais propícios, incluindo opções de armazenamento.

Antes de abordar exemplos de gestão sobre a biota, serão discutidas as suas influências sobre a o gerenciamento das UCs. A redução de estresses não climáticos aumenta a capacidade dos ecossistemas para sobreviver e se adaptar às mudanças climáticas, uma vez que geralmente são sinérgicos. A identificação de todos os vetores de mudança e as áreas e recursos prioritários permite a adoção de medidas específicas que aumentem a resiliência dos ecossistemas em risco. Enquanto existe pouco o que gestores da vida selvagem podem fazer quanto o aumento atmosférico de CO₂ e as alterações climáticas relacionadas, BRODIE *et al.* (2013) afirma que eles podem influenciar a vulnerabilidade de populações a estressores climáticos.

As ameaças tradicionais a estas áreas incluem a alteração do uso do solo, desmatamento, caça ilegal, poluição e espécies invasivas. A influência das mudanças climáticas pode exacerbar os riscos de danos causados por estes vetores. Por exemplo, as áreas agricultáveis podem perder produtividade com as alterações climáticas, aumentando a pressão econômica sobre os limites de UCs ou para a extração de madeira; ainda,

espécies invasoras e pragas podem ser favorecidas pelas novas condições ambientais, exigindo mais recursos para seu combate efetivo. Muitas vezes, o modo mais eficiente (inclusive monetariamente) de lidar com essas questões são ações de adaptação preventivas. Em certas situações pode ser mais barato erradicar uma espécie invasiva antes que as novas condições climáticas causem sua explosão demográfica, o que multiplica o gasto de recursos necessário. Não obstante, ações sempre devem levar em conta o entorno das reservas; apesar de elevar o esforço de gestão e o orçamento, a eficácia das ações e economia futura pode ser consideravelmente melhorada quando se entende a dinâmica da UC com seu entorno.

A gestão de perturbações como fogo, pastoreio e eventos climáticos extremos (nevascas, granizo, tempestades de vento, etc.) poderá ser drasticamente alterada. Incêndios podem se tornar mais frequentes e/ou intensos, e ainda podem facilitar a colonização indireta de outras espécies, causando até uma alteração do tipo fitofisionômico dominante no local, como a passagem de florestas para campos.

As mudanças climáticas podem alterar ou dificultar a gestão de espécies endêmicas, invasoras ou migratórias, além de introduzir outras de interesse. Espécies exóticas podem prejudicar seriamente interações ecológicas existentes no meio ambiente, incluindo a polinização de plantas e culturas (ver SCHWEIGER *et al.*, 2012). Tal situação pode desencadear a necessidade de manejo de populações que anteriormente estavam estáveis. Cada espécie apresenta sua própria resposta às alterações ambientais, de modo que os gestores de UCs devem estar atentos aos impactos sobre aquelas de interesse e aos objetivos de criação e manutenção das reservas; por exemplo, se o objetivo principal da criação de uma reserva da biosfera em um fragmento isolado de Mata Atlântica para a preservação das borboletas *Charonias theano* (Lepidoptera: Pieridae), ameaçadas de extinção (FREITAS *et al.*, 2011), caso ocorra uma alteração significativa no clima, esta população necessitará de ações de manejo ou até de realocação para outros lugares, ou poderá se extinguir por completa.

Em relação ao turismo, a gestão dos locais mais resilientes à perturbação humana podem variar com as mudanças climáticas, como por exemplo o aumento da vulnerabilidade da reserva com incremento no número de episódios de fogo anuais, incluindo a suscetibilidade a invasão de outras espécies, precisando assim redefinir as regiões de visitação e alteração locacional da infraestrutura de recepção.

Não obstante, a criação de novas áreas para a preservação apresenta novas dificuldades de priorização em um sistema em constante alteração ambiental. HELLER & ZAVALETA (2009) consideram que as questões de tamanho, localização, adições ou reconfigurações da forma de UCs são pré-adaptações às mudanças climáticas projetadas. As novas escolhas devem ser baseadas em novas questões locais (disposição no espaço frente às alterações) como na resistência às alterações das mudanças climáticas; a combinação destes dois fatores acarreta na denominação da área em questão a ser chamada de Refúgio (NEWMAN *et al.*, 2011), importantes tanto na micro quanto na macroescala. Uma das formas de identificação de refúgios é a sobrevivência de populações às alterações climáticas históricas com poucas alterações.

As mudanças climáticas impactam sobre a eficácia do desenho de reservas para a conservação da biodiversidade. Os resultados do estudo de PEARSON & DAWSON (2005) sobre dispersão a longa distância de plantas, os quais podem ser extrapolados para a biota como um todo, inferem que os critérios tradicionais da forma e disposição espacial que maximizariam a efetividade destas áreas podem ser alterados ou até invertidos em cenários de alteração climática. Pelos princípios biogeográficos, os desenhos de reservas de mesma área total devem:

- A) Apresentar a menor quantidade de disjunções possíveis, uma vez que várias pequenas reservas tendem para suportar um menor número de espécies do que uma única grande reserva de área igual, de acordo com a relação da área de espécies;
- B) Ser agrupadas o mais próximo umas das outras, quando as reservas disjuntivas são inevitáveis, de modo a maximizar as taxas de imigração entre reservas;
- C) Apresentar uma forma geral o mais circular o quanto possível, de modo a minimizar as distâncias de dispersão de espécies dentro da reserva;

Em cenários de mudanças climáticas, é preferível que se tenha diversas áreas espalhadas no eixo das alterações previstas, de modo a permitir uma maior chance de que algumas das áreas apresentem condições adequadas para a adaptação das populações, ou seja, maior heterogeneidade ambiental, assim como a alteração do formato neste eixo, com a orientação ao longo de um gradiente de clima (por exemplo, gradiente de altitude) é mais eficaz do que a orientação transversal a um ambiente sem variação (ROUX *et al.*, 2008). A distância entre elas também favorece a adaptabilidade, abrangendo uma maior variação

climática. Ainda é mencionado que os corredores florestais podem ter sua eficácia grandemente reduzida, até questionando a sua aplicação a curtas distâncias, uma vez que podem facilitar a entrada de espécies invasoras e acabar prejudicando ainda mais os objetivos de conservação.

A Tabela 9 e a Figura 15 apresentam na sua esquerda as características geométricas das formas de UC preferíveis em uma situação sem alterações climáticas; quando considerações de adaptação às novas condições ambientais são aplicadas, as formas da direita são favorecidas.

Tabela 9: Princípios geométricos para o desenho de reservas da natureza. PEARSON & DAWSON (2005), adaptada.

Situação	Conservação tradicional	Conservação para adaptação climática
(A)	Uma grande UC única	Várias UCs menores
(B)	UCs próximas	UCs espalhadas no eixo de movimento das mudanças climáticas
(C)	UCs de forma circular	UCs alongadas

Algo que deve ser frisado é que estas alterações de formato exigem um manejo ativo destas populações, as quais são necessárias quando as dispersões naturais para adequação do nicho não são efetivas para acompanhar as alterações climáticas, seja por causa de barreiras antrópicas (desmatamento, áreas urbanas), biogeográficas (rios, montanhas, distância, etc.) ou em decorrência de elevada velocidade climática. Ainda assim, algumas prioridades para a escolha de novas UCs continuam iguais, como a escolha de áreas bem preservadas.

Em muitas UCs, sob cenários plausíveis das alterações climáticas, uma fração significativa da biota não terá mais uma população viável dentro de seus limites atuais. Uma consideração apontada pelo IPCC (2014a) é que a maior parte da biodiversidade existe fora das áreas protegidas, sendo a região da matriz (área externa) muito importante, principalmente quando é mais barato adquirir terrenos nas áreas de adequação bioclimática futura do que corrigir as dimensões das UCs atuais. Não obstante, mesmo que a rede de UCs existente possa conter diferentes espécies no futuro, estas ainda terão utilidade em climas futuros, uma vez que seu número está longe de ser ideal para a proteção da biodiversidade, mesmo sob o clima atual.

LOARIE *et al.* (2009) complementa que a velocidade das mudanças climáticas é um fator de grande relevância espacial. Em paisagens com baixas velocidades, as áreas protegidas de tamanho moderado podem ser adequadas para os ecossistemas

acompanharem o clima em movimento. Em outras partes, como as áreas planas, outras ações devem ser realizadas, como as ações assistidas de dispersão de plantas e animais, ou aumentar o tamanho das áreas protegidas através de corredores ecológicos e novas reservas.

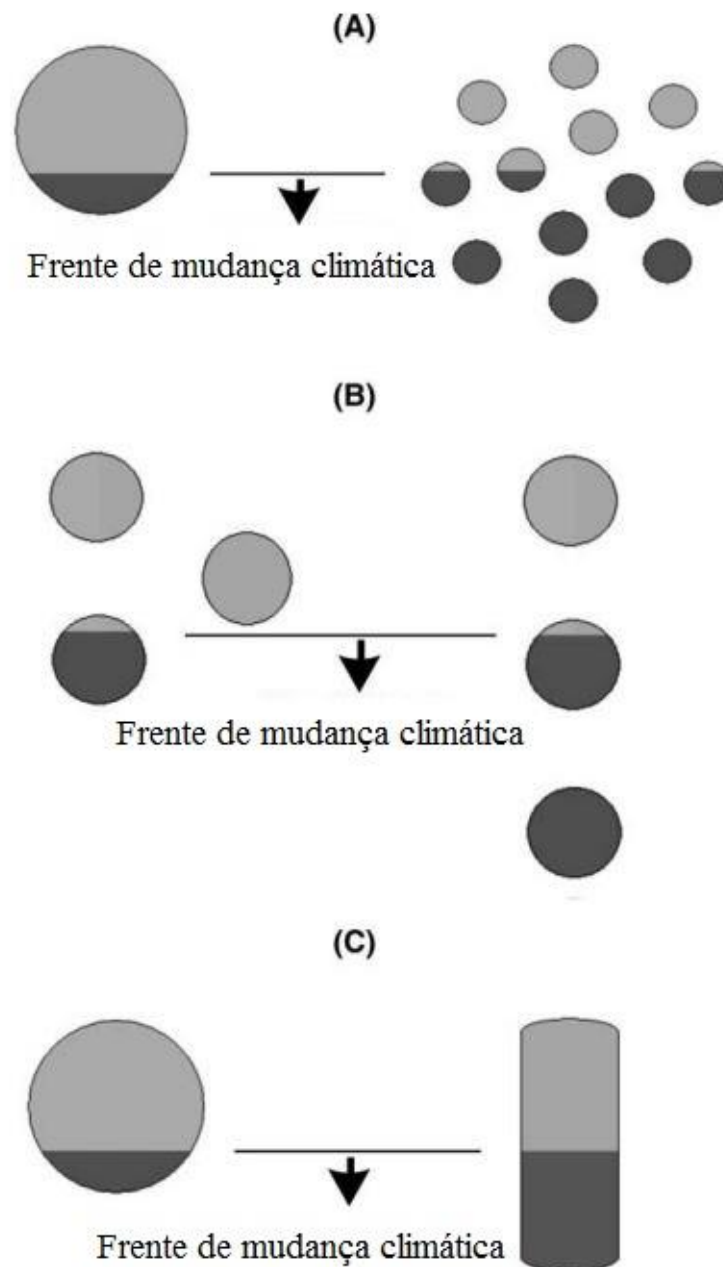


Figura 15: Princípios geométricos para o desenho de reservas da natureza. Ao lado direito, os desenhos que favorecem a adaptação em um cenário de mudanças climáticas. A parte mais escura indica a região com clima adequado antes e após as mudanças, e a área total de cada representação é igual. PEARSON & DAWSON (2005), adaptada.

Outras considerações na delimitação de novas UCs em um panorama de mudanças climáticas incluem o favorecimento de áreas com elevada heterogeneidade espacial, permitindo assim diversos microclimas para possivelmente permitir minimizar os

deslocamentos espaciais de populações para acompanhar climas mais favoráveis. NEWMAN *et al.* (2011) aponta que alguns estudos favorecem que novas reservas sejam feitas em áreas de elevado endemismo, enquanto que outros indicam as áreas de maior diversidade, como os *hotspots* de biodiversidade. O planejamento em escala regional passa a ser mais eficaz do que o tratamento individual das áreas, porque é a rede de habitats e áreas protegidas que confere resistência ao sistema natural (HELLER & ZAVALA, 2009).

Em relação às UCs marinhas, MOLINO *et al.* (2015) sugerem que a estabilidade milenar dos padrões existentes de diversidade marinha globais, contra o qual os planos de conservação são avaliados, deve mudar rapidamente ao longo do século, em resposta ao aquecimento do oceano. Neste panorama de alterações climáticas que transcendem as fronteiras jurisdicionais, os esforços de conservação proativas devem ser feitos em escalas adequadas de governança, visando a eficácia do planejamento e ordenamento espacial eficaz, reforçando a necessidade do fomento e implementação de quadros regionais de conservação, inclusive com ações de cooperação entre países.

Ações de adaptação para remanescentes naturais

Quanto às ações de adaptação para as UCs, HANNAH (2011) resume as principais sugestões para gerentes considerarem frente às mudanças climáticas:

- Atentar aos efeitos das mudanças climáticas sobre os objetivos de gestão atuais;
- Observar atentamente a processos, espécies e ameaças que podem surgir em decorrência das alterações, antes sem importância para a gestão;
- Planejar a gestão das UCs para períodos maiores (10 a 20 anos, em contraste aos 3-5 anos atuais);
- Considerar interações entre objetivos de gestão que podem ser sensíveis às mudanças climáticas;

Apesar da adaptação de sistemas naturais ser de base autônoma, as ações humanas podem diminuir as vulnerabilidades existentes e aumentar as capacidades destes sistemas. O IPCC (2014a) descreve a adaptação humano-assistida como uma intervenção deliberada com a intenção de aumentar a capacidade do organismo, ecossistema, ou sistema socioecológico alvo para sobreviver e funcionar a um nível aceitável na presença de alterações climáticas; é uma adaptação planejada, ativamente realizada para este fim.

Ações de restauração de ecossistemas são uma forma efetiva de se conseguir aumentam a área disponível para a adaptação das espécies e a sua resiliência às mudanças (BRODIE *et al.* 2013). Estas também podem ser consideradas como parte de uma estratégia global de adaptação, uma vez que os serviços ambientais providenciados por áreas bem conservadas apresentam benefícios sociais, econômicos e culturais para os sistemas humanos, como a regulação climática, sequestro de carbono, prevenção de enchentes e proteção contra a erosão dos solos.

Ações de migração assistida são propostas quando a fragmentação de habitats limita o potencial de migração ou quando as taxas de migração naturais são inferiores à velocidade de mudança climática. O IPCC (2014a) as resume em três grupos: (1) tentativa de manter ou melhorar o habitat ou ambiente existente para que as espécies não têm que mover; (2) manutenção ou melhora de corredores de migração, incluindo sua gestão ativa para melhorar a sobrevivência ao longo da margem móvel de distribuição; e (3) o deslocamento direto de espécies ou subpopulações geneticamente distintas.

Ações de conectividade com a criação, melhora e manutenção de corredores ou redes ecológicas é uma estratégia de baixo arrependimento¹⁹, em parte porque também é útil para minimizar os efeitos negativos da fragmentação de habitat sobre a dinâmica populacional. Esta abordagem é ampla, com a vantagem de melhorar o potencial de migração de um grande número de espécies, sendo globalmente mais eficiente do que a migração assistida de espécies individuais. HANNAH (2011) aponta que esta abordagem apresenta algumas restrições, principalmente na escala continental. A paisagem é geralmente antropicamente dominada, dificultando estabelecer conexões por vastas áreas, de modo que o melhor seria evitar a necessidade de migrações de longa distância por meio do refreamento das mudanças climáticas através da mitigação. Ainda, aumentos de conectividade de habitat nem sempre melhoram a dinâmica populacional de espécies alvo, as quais podem não utilizar os corredores; ainda, estes podem acarretar em uma queda de diversidade em fragmentos pela facilitação do deslocamento de espécies invasoras e disseminação de doenças.

Espécies migratórias exigem uma atenção especial quanto aos seus trampolins ecológicos. Áreas preservadas usadas historicamente como paradas nas rotas de

¹⁹ Ações de adaptação de baixo arrependimento são aquelas que, mesmo na ausência de mudanças climáticas, apresentam resultados positivos. IPCC 2014a.

deslocamento podem ser alteradas em cenários de mudanças climáticas, em especial nos recursos de alimentação e refúgio disponíveis, tanto pelas alterações abióticas como na alteração das datas de início e término das migrações. COX (2011) afirma que para muitos, se não a maioria das aves migratórias, a mudança climática está afetando diferencialmente as áreas utilizadas durante temporadas de reprodução e na migração. Como HANNAH (2011) aponta, ações de adaptação específicas devem ser feitas para que esses ciclos não se desencontrem, com potenciais danos ao ecossistema de parada e às espécies migratórias. Este mesmo autor afirma que o planejamento da conectividade pode ser auxiliado por meio de programas, com o cálculo de novas áreas a serem protegidas para a finalidade de criação de cadeias de migração, múltiplos corredores ecológicos que formam caminhos redundantes, permitindo a seleção pelas espécies aquele que mais lhe agrada e superar distúrbios pontuais, como incêndios. O tamanho dos trampolins deve considerar também o tamanho mínimo da área de vida das espécies alvo, o que irá aprofundar os critérios de seleção. Algo a ser lembrado é que a coordenação dessas áreas não deve ser restrita por barreiras políticas, é necessária uma integração regional entre os diversos atores para atingir os objetivos de conservação e adaptação.

Para a gestão de populações animais, BRODIE *et al.* (2013) ressalta que não se deve considerar somente estudos sobre a alteração dos limites de distribuição como suficiente, mas sim entender os detalhes demográficos das populações quanto às alterações das condições abióticas, uma vez que são mais acuradas e precisas para identificar como estas variações alteram as taxas demográficas e os riscos de extinção. HANNAH (2011) complementa que ecossistemas com a manutenção de sua teia trófica, inclusive com os predadores de topo, podem ser mais robustos às mudanças climáticas do que aqueles controlados por disponibilidade de alimentos ou às variações abióticas, uma vez que o equilíbrio de predador-presa evita o a explosão demográfica de algumas espécies, com potencial dano ambiental.

A prática da migração assistida de espécies-alvo cuidadosamente selecionadas pode minimizar o risco de impactos indesejáveis sobre as comunidades existentes ou funções ecossistêmicas. NEWMAN *et al.* (2011) indica que as populações presentes em ecótonos ou próxima deles devem receber uma atenção especial nesta questão. Como representam áreas transicionais entre duas zonas climáticas ou biomas, as populações locais podem ter traços genéticos distintos que podem as deixar mais adaptadas às mudanças climáticas. Por outro lado, argumenta-se que a história da introdução intencional de espécies mostra

resultados imprevisíveis, com muitos casos levando a impactos desastrosos. Para MCLACHLAN *et al.* (2007), antes de qualquer ação deste tipo, devemos buscar responder 3 perguntas:

- 1) Existe um limite demográfico que implica a adoção da migração assistida?
- 2) Que tipo de espécies devem ser priorizadas para este deslocamento?
- 3) Como estas populações devem ser introduzidas para minimizar efeitos ecológicos adversos?

Não obstante, dependendo da magnitude e velocidade das mudanças climáticas, o número de espécies que irão precisar de migração assistida para sua sobrevivência a longo prazo pode facilmente subjuagar capacidade de financiamento em cenários de elevadas emissões. O trabalho de HOEGH-GULDBERG *et al.* (2008) apresenta um fluxograma de auxílio a decisão para a migração assistida que aborda questões de plausibilidade, custo, ética, logística, probabilidade de extinção, entre outras.

Por fim, a conservação *ex situ* de recursos genéticos vegetais e animais fora do ambiente natural, como jardins zoológicos, programas de reprodução em cativeiro, bancos de sementes, ou bancos genéticos tem sido amplamente defendida como um seguro contra as mudanças climáticas e outras fontes de perda de biodiversidade e empobrecimento genético.

Uma abordagem crescente sobre estas ações é a baseada em ecossistemas, a qual oferece uma opção que integra o uso da biodiversidade e serviços ecossistêmicos em estratégias de adaptação às alterações climáticas, gerando benefícios tanto para as comunidades locais como para a mitigação e gestão do carbono. Opções que se utilizam das capacidades adaptativas ecológicas locais, como a manutenção e restauração das zonas húmidas e costeiras para absorver ou controlar o impacto das alterações climáticas nas zonas urbanas e rurais, podem ser meios eficientes e eficazes de adaptação, tanto fisicamente quanto financeiramente. Como o IPCC (2014a) enumera, eles podem fornecer tanto benefícios para a biodiversidade como para os sistemas humanos através da proteção de viveiros de peixes, sumidouros de carbono, gestão florestal integrada para adaptação, uso de agroecossistemas em atividades de ecoturismo, proteção e gestão dos solos e da água, e gestão direta de espécies.

Neste âmbito, a infraestrutura verde, como telhados naturados, pavimentos permeáveis e parques urbanos podem melhorar o gerenciamento de águas pluviais e

reduzir o risco de inundações nas cidades, além de mitigar efeitos de ilha de calor, sequestro de carbono e proteção da vida silvestre urbana. O IPCC (2014a) ressalta que uma das principais barreiras à essa abordagem é a falta de padrões e metodologias comparáveis às abordagens de engenharia, demonstrando, assim, a necessidade de mais diálogo entre a engenharia e comunidades ecológicas.

Como um panorama geral da literatura, o trabalho de HELLER & ZAVALETA (2009) verificou 524 artigos que mencionam ações de adaptação e os organizou por frequência de citações em 113 categorias; as com 10 ou mais (quantidade) são identificadas abaixo:

- Aumentar a conectividade através da concepção de corredores, remoção de barreiras de dispersão, localizar as reservas próximas umas das outras, reflorestamento (24);
- Integrar as alterações climáticas nos exercícios de planejamento, como as reservas, surtos de pragas, calendário de colheita, limites da pastagem, programas de incentivo (19);
- Mitigar outras ameaças, como espécies invasoras, fragmentação, a poluição (17);
- Estudos sobre a resposta das espécies à mudança climática quanto a sua fisiologia, comportamento e demografia (15);
- Praticar manejo intensivo para proteger populações (15);
- Deslocar espécies (15);
- Aumentar o número de reservas (13);
- Resolver os problemas de correspondência das escalas espaciais das modelagens, gerenciamento e experimentos para melhoria da capacidade preditiva (12);
- Melhorar a cooperação interagências e a coordenação regional (12);
- Aumentar e manter programas básicos de monitoramento (11);
- Prática de manejo adaptativo (11);
- Proteger áreas maiores, aumentar o tamanho das reservas (11);
- Criar e gerenciar áreas de amortecimento em torno de reservas (10);

Outra ampla fonte de informação sobre exemplos destas ações são os Programas Nacionais de Ações de Adaptação (NAPA), da CQNUMC, que auxilia no processo de

identificação pelos países menos desenvolvidos das atividades prioritárias que respondam às suas necessidades urgentes e imediatas de adaptação às alterações climáticas, as quais, se ainda mais atrasadas, podem aumentar a vulnerabilidade e/ou os custos futuros. O banco de dados do projeto NAPA contém:

- Índice de projetos por país, incluindo os custos;
- Índice de projetos por setor, incluindo os custos;
- Lista de perfis de projetos agrupados por setor.

Com esta variada gama de ações possíveis e as especificações espaciais, a escolha daquelas mais adequadas para cada caso pode ser complexa. Assim, o IPCC (2014a) organizou algumas considerações para auxiliar o processo de tomada de decisão; a ação de adaptação considerada é:

- Eficaz na redução da vulnerabilidade e no aumento da resiliência?
- Eficiente (aumenta os benefícios e reduzir os custos)?
- Equitativa, especialmente aos grupos vulneráveis?
- Integrada com metas, programas e atividades sociais mais amplas?
- Inclui a participação, engajamento e apoio dos atores relacionados?
- Está em conformidade com as normas e tradições sociais?
- Tem legitimidade e aceitabilidade social?
- É sustentável?
- É flexível e responde ao feedback e aprendizado?
- É adequadamente projetada quanto ao escopo e prazo?
- Provavelmente irá evitar as armadilhas da má-adaptação?
- É robusta contra uma ampla gama de cenários climáticos e sociais?
- Existem recursos disponíveis para sua implementação?
- Foram consideradas as necessidades de mudanças transformadoras?
- É coerente e sinérgica com outros objetivos, tais como a mitigação?

No Brasil, a PNMC (2009) afirma que a escolha dessas medidas vai depender dos impactos percebidos, das vulnerabilidades (socioeconômicas e climáticas) e das práticas (de adaptação) já adotadas, podendo abranger desde um país, um estado, município, região ou bacia hidrográfica. Essas ações devem tanto elevar a capacidade de adaptação do sistema-alvo, gerando informações e condições (regulamentação, institucional e gerencial) para apoiar a adaptação, assim como reduzir a vulnerabilidade ou explorar

novas oportunidades que surjam em decorrência dessas alterações, incluindo investimentos em infraestrutura, sistemas de gestão de riscos, promoção da informação e aumento da capacidade institucional.

Avaliação das medidas adaptativas

Após a escolha das ações adaptativas mais adequadas ao sistema-alvo, é necessário que se identifique a sua eficácia. Parte da dificuldade de como acompanhar a sua execução e eficácia, e como distingui-la do desenvolvimento tradicional é que ela não tem uma métrica simples como a mitigação, em toneladas de GEEs ou força radiativa. Ainda assim, pelo menos três métricas foram identificadas pelo IPCC (2014a). A primeira foca em indicadores de vulnerabilidade para elucidar informações sobre as suas causas e para melhor identificar as opções de adaptação; a segunda mede e acompanha o processo de implementação das ações de adaptação, tais como os gastos com a proteção costeira, o número de planos de alerta criados, ou o número de especialistas em riscos climáticos capacitados anualmente; a terceira usa ações de monitoramento e avaliação, essencial para fornecer feedback sobre a eficácia e progresso das ações, mas está entre os mais difíceis uma vez que podem levar um tempo até produzirem resultados discerníveis.

HANNAH (2011) enfatiza que este método é imprescindível para o acompanhamento dos objetivos específicos da adaptação através de variáveis diretamente associadas. Estes sistemas requerem investimentos significativos, e incluem a avaliação de temperatura, precipitação e outros equipamentos de aferição das condições abióticas, além de estudos ecológicos. Tais custos devem ser incorporados aos orçamentos das UCs e dos órgãos ambientais, e suas fontes de financiamento devem incluir os fundos de mudanças climáticas e outros instrumentos financeiros para a gestão do clima (REDD+, MDL, bolsas de carbono, entre outros).

O resultado desta avaliação de desempenho também servirá para identificar ações de resultados pobres ou inadequadas. Em geral, uma má adaptação refere-se a ações ou a inação que podem levar ao aumento do risco de resultados adversos relacionados com a alteração do clima, do aumento da vulnerabilidade às mudanças climáticas ou bem-estar diminuído no presente ou futuro (IPCC 2014a). Esta situação pode acontecer por cinco dimensões principais, identificados por BARNETT & O'NEILL (2010), as quais incluindo ações que:

- 1) Aumentam as emissões de GEE;

- 2) Sobrecarregam desproporcionalmente os mais vulneráveis enquanto privilegiam um ou mais grupos;
- 3) Apresentam altos custos de oportunidade em relação a outras alternativas;
- 4) Reduzem os incentivos para a adaptação; e
- 5) Levam a caminhos que limitam as escolhas futuras.

Outras causas de má adaptação são decorrentes da desconsideração de interações e feedbacks entre sistemas e setores afetados, principalmente pela falta de informações adequadas. Por exemplo, a conversão de mangues costeiros em fazendas de camarão pode levar ao aumento da produtividade econômica e melhorar a qualidade de vida local, diminuindo a vulnerabilidade social regional, mas também pode levar ao aumento da vulnerabilidade a inundações e tempestades, sendo preferível buscar alternativas que não gerem impactos negativos consideráveis.

6. Metodologia de vulnerabilidade de remanescentes florestais

Após a revisão bibliográfica dos conceitos relacionados às interações edafoclimáticas e vulnerabilidade, da identificação das potencialidades e limitações dos exemplos de MVP's descritos e dos cenários das mudanças climáticas, buscou-se consolidar a experiência adquirida em uma metodologia que aborde adequadamente todos os fatores necessários para determinar a vulnerabilidade de remanescentes de vegetação natural frente às mudanças climáticas. O processo da pesquisa aqui desenvolvida segue os princípios gerais do fluxo elencado por FIELD (2009), como pode ser visto na Figura 16.

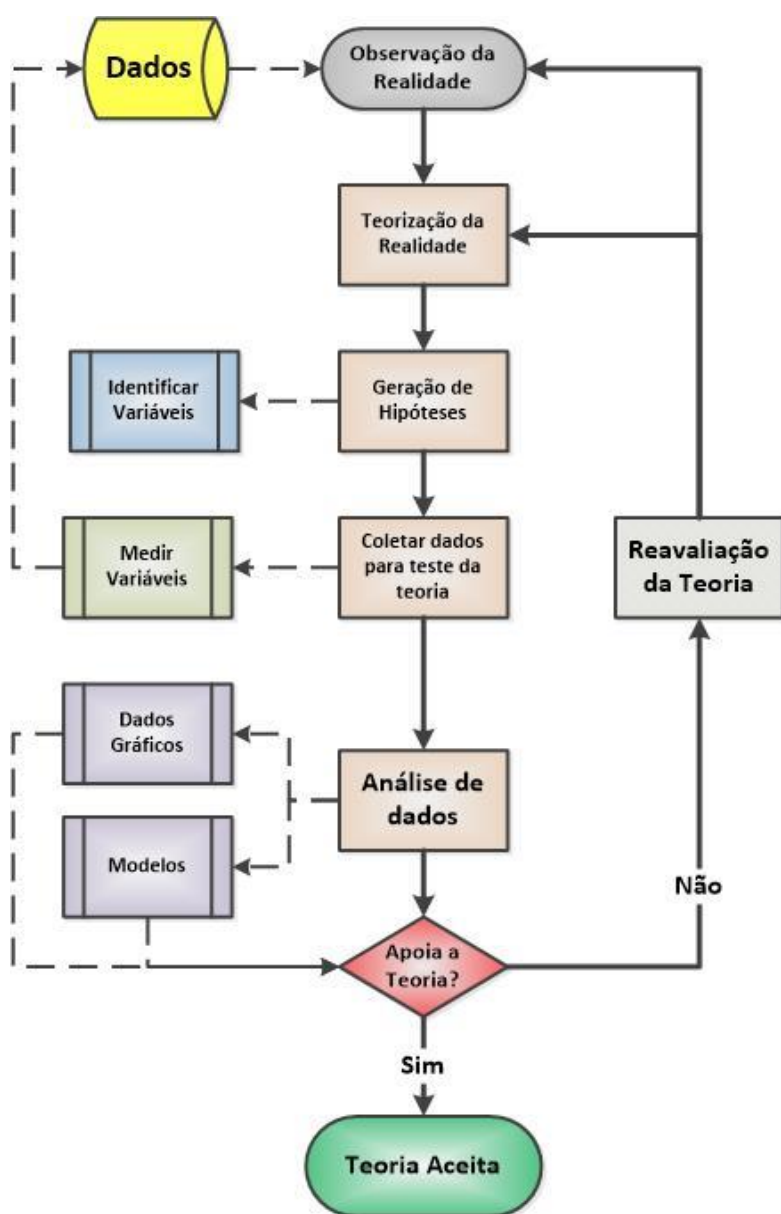


Figura 16: Etapas da pesquisa. FIELD 2009 (adaptada).

A maioria dos estudos são realizados a partir de uma observação de fenômenos, derivados tanto da curiosidade do pesquisador em melhor compreender a realidade ou para solucionar alguma dificuldade da sociedade humana. Após alguma reflexão crítica, é possível gerar explicações plausíveis para entender tais fenômenos, uma simplificação da realidade através de uma teoria. Para se avaliar a teoria idealizada, é necessário que a traduzamos em hipóteses, as quais podem ser testadas por meio de variáveis. Estas são a base fundamental da pesquisa, uma vez que apresentam unidades de medida, e por meio de um raciocínio lógico será possível comparar diferentes situações coletando os seus respectivos dados. Finalmente, será possível analisar estas informações e encaixa-las em um modelo, o qual deve ser representativo dos fenômenos observados e dar suporte (ou não) a teoria inicial.

Aplicada ao presente trabalho, ela pode ser resumida da seguinte forma:

1. Questão a ser pesquisada após observação da realidade;
 - a. Realidade:
 - i. A vegetação reflete as condições edafoclimáticas do local;
 - ii. A intensificação antrópica do efeito estufa está alterando o clima global;
 - b. Questão: A alteração do clima global por causa da intensificação antrópica do efeito estufa afetará significativamente a distribuição das fitofisionomias do Bioma Mata Atlântica?
2. Teoria que explique a sua observação inicial;
 - a. Teoria: A variação das condições edafoclimáticas de uma região altera a tipologia de vegetação presente.
3. Hipóteses a serem testadas e identificação das variáveis:
 - a. Hipótese nula: A relação entre os componentes edafoclimáticos e as fitofisionomias presentes em uma região não é estatisticamente perceptível ao ponto de se gerar um modelo de precisão aceitável;
 - b. Hipótese: A análise da interação dos componentes edafoclimáticos com as fitofisionomias presentes em uma região permite gerar um modelo de previsão aceitável;
 - i. Hipótese 1: Este modelo pode ser usado para identificar a predisposição futura da cobertura vegetal de uma região dada a variação ambiental esperada;

- ii. Hipótese 2: A predisposição futura da vegetação pode identificar as áreas remanescentes que apresentam maior vulnerabilidade às mudanças climáticas;
4. Coleta de dados das variáveis a serem aferidas:
 - a. Bases de dados utilizadas para o estudo;
5. Análise dos dados e geração do modelo:
 - a. Programas de modelagem e análise de informações geográficas.
6. Comparação da análise com a teoria:
 - a. Corroboração ou reformulação.

O primeiro passo para conseguir avaliar as possíveis interferências das mudanças climáticas nas atuais distribuições das fitofisionomias do bioma Mata Atlântica é a definição dos critérios edafoclimáticos determinantes de seus componentes. Para tanto, é necessário identificar uma área de estudo que atenda a alguns pré-requisitos:

- Se encontre predominantemente na distribuição do bioma Mata Atlântica;
- Apresente o mapeamento da vegetação pretérita frente à descaracterização antrópica atual;
- Apresente extenso trabalho de campo com pontos de controle *in situ* e análise de eventuais discrepâncias;
- Apresente um nível de detalhe da escala que seja condizente tanto com as necessidades de planejamento quanto às informações existentes;

O levantamento das informações em campo para o bioma em questão (ou qualquer bioma de grande distribuição) exige esforço de uma ampla equipe especializada na coleta e classificação de dados, com disponibilidade de tempo, recurso e inúmeras viagens. O único projeto já feito no âmbito nacional compatível com tais requisitos é o já mencionado RADAMBRASIL. No entanto, o Mapa da Vegetação do Brasil (3ª edição. IBGE, 2004) está apresentado na escala de 1:5.000.000, incompatível com a necessidade de identificação das variações sutis dos critérios determinantes da vegetação (vide item 3.2). O IBGE está em processo de digitalização das folhas de 1:250.000 do projeto RADAMBRASIL, compatíveis com a análise das questões edafoclimáticas em mesoescala. Infelizmente, tal ação ainda não está acabada, e somente parte da área abrangida pelo bioma em estudo pôde ser fornecida para o presente trabalho.

Tendo em vista a pouca disponibilidade de dados ao nível de detalhe necessário para o presente trabalho, as folhas cartográficas já digitalizadas incluem a SF21, SF22, SG21 e SG22, as quais abrangem completamente a vegetação pretérita na escala 1:250.000 do Estado do Paraná. Deste modo, optou-se por escolher este recorte territorial como estudo de caso, o qual será descrito no capítulo 8.

6.1. Programas utilizados

Para este trabalho foram utilizados diversos programas de computador, incluindo: o software IBM SPSS *Statistics* 22.0 para Windows, versão de apreciação (IBM, 2013); o software ArcGIS 10.2.2, versão de apreciação (ESRI, 2014); o software QGIS 2.2 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2014), e; o Software Microsoft Excel (MICROSOFT, 2014).

6.2. Etapa Preliminar

A partir da definição da área de estudo, buscou-se identificar as associações edafoclimáticas da vegetação local, de modo a caracterizar a situação presente e permitir a avaliação dos impactos dos cenários futuros de mudanças climáticas. A etapa preliminar envolveu a organização e processamento dos dados obtidos de diversas fontes, preferencialmente consonantes com as classificações oficiais do país, tanto nas unidades métricas quanto nas definições das classes (biomas, fitofisionomias, tipos de solo, entre outros).

As bases de informações relativas ao clima global e altitude foram provenientes do WorldClim. Esta iniciativa disponibiliza por meio de camadas ráster com resolução espacial de 30 segundos de grau²⁰ dados das áreas continentais (excluindo a Antártica) sobre a precipitação e temperatura mensais mínimas, médias e máximas (HIJMANS *et al.*, 2005; WORLDCLIM, 2013). Sua metodologia utiliza o software ANUSPLIN (*Smoothing spline surface fitting technique* - HUTCHINSON, 2004) o qual realiza a interpolação de dados com variáveis múltiplas por meio de uma delicada suavização de placas de encaixe (*thin plate smoothing splines*). As camadas climáticas foram geradas utilizando informações de estações meteorológicas para o período de 1950-2000, provenientes de diversos bancos de dados globais, incluindo o *Global Historical*

²⁰ 30 arco-segundo: quadrados de 0.93km x 0.93km = 0,86km² no equador, comumente referida como resolução " 1-km ".

Climatology Network (GHCN), a FAO, a Organização Mundial Meteorológica (WMO), o Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), a R-HydroNET, e uma série de bancos de dados menores adicionais para Austrália, Nova Zelândia, países nórdicos, Equador, Peru, Bolívia, entre outros. A altitude foi proveniente da base de dados SRTM, agregada para 30 segundos de grau.

Não obstante, esta iniciativa ainda apresenta os dados das projeções climáticas de diversos MCGs do CMIP5 para os quatro RCPs do AR5 (IPCC 2014a), todos com sua escala de trabalho aumentada (*downscaled*) para a resolução 1-km, usando as camadas interpoladas do WorldClim (versão 1.4) como base (WORLDCLIM 2013).

Dentre as variáveis utilizadas, estão incluídas a altitude, precipitação mensal (em mm), temperaturas mínima, média e máxima (em °C*10), e 19 bioclimáticas, as quais são derivadas dos valores mensais de temperatura e precipitação, a fim de gerar variáveis biologicamente significativas, como tendências anuais, sazonalidade ou limitações causadas por extremos ambientais (por exemplo, a temperatura mínima do mês mais frio, a precipitação do trimestre mais seco). As 19 variáveis Bioclimáticas estão identificadas da seguinte maneira:

- BIO1 = Temperatura média anual
- BIO2 = Amplitude térmica diária média [média mensal da (temperatura máxima - temperatura mínima)]
- BIO3 = Isotermalidade (BIO2/BIO7) *100
- BIO4 = Sazonalidade da temperatura (desvio padrão*100)
- BIO5 = Temperatura máxima do mês mais quente
- BIO6 = Temperatura mínima do mês mais frio
- BIO7 = Amplitude térmica anual (BIO5 - BIO6)
- BIO8 = Temperatura média do trimestre mais chuvoso
- BIO9 = Temperatura média do trimestre mais seco
- BIO10 = Temperatura média do trimestre mais quente
- BIO11 = Temperatura média do trimestre mais frio
- BIO12 = Precipitação anual
- BIO13 = Precipitação do mês mais chuvoso
- BIO14 = Precipitação do mês mais seco
- BIO15 = Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)

- BIO16 = Precipitação do trimestre mais chuvoso
- BIO17 = Precipitação do trimestre mais seco
- BIO18 = Precipitação do trimestre mais quente
- BIO19 = Precipitação do trimestre mais frio

Como em todas as pesquisas, a importância de selecionar adequadamente as variáveis de entrada de um modelo teórico não pode ser subestimada. Como aponta TABACHNICK & FIDELL (2006), é tentador acumular um grande número de preditores em estudos de modelagem, e, com base em um único conjunto de dados e alguns poucos testes, eliminar aqueles que não são estatisticamente significativos. Esta é uma prática amplamente adotada na comunidade de pesquisa, mas é especialmente perigosa em regressão logística porque a técnica é muitas vezes usada para tratar de questões de vida ou morte na medicina.

Neste trabalho, as importâncias das variáveis foram duplamente testadas, tanto pelos programas estatísticos quanto pela literatura, de modo que foram eliminadas somente aquelas que foram pouco relevantes à ambos critérios. Como visto no capítulo 3, as interações biológicas são complexas por natureza, e a sensibilidade de algumas espécies vegetais a pequenas mudanças em fatores ambientais específicos pode ser tão elevada que segue mascarada por outras questões. Assim, esperou-se que as seguintes variáveis apresentassem alta relevância para a análise:

- Altitude;
- BIO1 = Temperatura média anual;
- BIO5 = Temperatura máxima do mês mais quente;
- BIO6 = Temperatura mínima do mês mais frio;
- BIO10 = Temperatura média do trimestre mais quente;
- BIO11 = Temperatura média do trimestre mais frio;
- BIO12 = Precipitação anual;
- BIO14 = Precipitação do mês mais seco;
- BIO15 = Sazonalidade da precipitação;
- BIO17 = Precipitação do trimestre mais seco.

Não obstante, também foram utilizadas as informações de 2 MCGs do CMIP5. Foram escolhidos os RCPs de incremento de 4,5 W/m² e 8,5 W/m², uma vez que apresentam as condições de estabilização médio-baixa sem *Overshot* e intensificação

continuada das emissões (MOSS *et al.*, 2008). Os períodos de tempo disponíveis são relativos às médias das variáveis projetadas para o intervalo de 2041-2060 (ilustrativo de 2050) e 2061-2080 (ilustrativo de 2070).

Dentre os MCGs disponíveis, foram preferidos o MIROC5 e HadGEM2-ES. Após consulta com os pesquisadores do INPE, estes foram identificados como os modelos com boa fidelidade às condições climáticas nacionais, além de estarem em processo de regionalização para uma resolução de saída mais detalhada, o que permitirá análises futuras comparativas. Os dados disponibilizados também estão em pixels de resolução espacial de 30 segundos de grau (longitude/latitude).

O modelo de Sistema Terrestre HadGEM2 (HadGEM2-ES), é um modelo ESM de ponto de rede ponto de resolução N96, que equivale a aproximadamente 1,875 graus na direção da longitude e 1,275 graus em latitude e 38 níveis na atmosfera. No oceano, o modelo tem 40 níveis na vertical, e na horizontal a resolução varia de 1/3 graus nos trópicos a 1 grau em latitudes superiores a 30°. Sobre o ciclo do carbono na superfície, este é descrito pelo esquema de carbono no solo RothC e pela dinâmica da vegetação TRIFFID (COX, 2001), que simula a fenologia, o crescimento e a concorrência de 5 de tipos funcionais de vegetação: árvores de folhas largas, árvores de folhas em forma de agulha (relacionada à estacionalidade), grama C3, grama C4 e arbustos. Simulações feitas com e sem a vegetação dinâmica mostraram pouca diferença no clima global. O esquema diat-HadOCC identifica a troca de dióxido de carbono entre a atmosfera e a biosfera oceânica e inclui o retorno de fertilização da poeira sobre o crescimento do plâncton. O esquema UKCA é utilizado para modelar química troposférica interativamente, permitindo que varie com o clima. Por fim, é considerado que o período de um ano possui 360 dias. (COLLINS *et al.*, 2011; JONES *et al.*, 2011; the HadGEM2 DEVELOPMENT TEAM, 2011; CHOU *et al.*, 2014a).

O MIROC5 é um modelo japonês desenvolvido de modo cooperativo, conhecido como Modelo de Pesquisa Interdisciplinar sobre o Clima (MIROC), versão 5, um AOMCG. Apresenta um componente atmosférico espectral com uma resolução T85, que é de aproximadamente 150 km na horizontal, e tem 40 níveis atmosféricos verticais. Ele é acoplado ao modelo oceânico COCO 4.5 com 50 níveis de profundidade e 1° de resolução horizontal. Os fluxos radiativos são calculados por um sistema de k-distribuição de 29 bandas de absorção. O modelo de transporte da radiação espectral para espécies de aerossol, o SPRINTARS, é acoplado ao esquema de microfísica de nuvens, juntamente

com o de radiação e um esquema de convecção de cúmulos. O componente do solo, Tratamento Avançado Mínimo de Interação da Superfície e Escoamento - MATSIRO, prevê a temperatura e água em 6 camadas de solo até 14 m de profundidade, um dossel, e três camadas de neve. O gradeado da superfície é formado pela composição de três camadas, uma de vegetação potencial, a de terras cultiváveis e dos corpos hídricos. O esquema ainda considera os efeitos de albedo da neve, além da termodinâmica do gelo do mar. Considera-se neste modelo que o período de um ano possui 365 dias. (WATANABE *et al.*, 2010; CHOU *et al.*, 2014a)

6.2.1. Adequação dos dados

As bases de dados de WORLDCLIM (2014) em formato ráster, de extensão .tiff ou .bil, tanto do cenário climático presente e como dos dois MCGs de análise foram recortadas para o território do Paraná através do software QGIS, pela ferramenta *Raster> Extraction> Clipper*, utilizando os limites territoriais fornecidos pelo IBGE.

Por meio do ArcMap, cada uma destas bases sofreu uma transformação de ráster para pontos, por meio da ferramenta *Conversion Tools> From Raster> Raster to Point* ou da sequência de ferramentas *Conversion Tools> From Raster> Raster to Polygon e Geoprocessing> intersect*. Tal operação foi realizada para contornar uma restrição deste formato de arquivo. Os arquivos ráster não apresentam uma tabela de atributos que possa ser exportada, a qual será necessária para realizar as análises estatísticas. Transformando o arquivo em um shape de pontos é possível visualizar a tabela de atributos com os valores para cada uma das variáveis. Esta operação gerou, para cada variável da base de dados, 255.265 eventos de ponto uniformemente distribuídos sobre a totalidade do território continental do Paraná.

A partir do número de pontos sobre o Paraná foi criado um arquivo de vinculação de dados, um shape com uma coluna de valores entre 0 e 255.264, chamada de N255265. Tal arquivo serve para realizar as operações de *Intersect* para vincular as informações dos polígonos para os eventos de ponto. Como cada base não necessariamente apresenta o mesmo código identificador para cada evento, especialmente se existirem lacunas nos dados, é necessária uma legenda de intercâmbio entre os arquivos. Assim, cada valor da N255265 significa um pixel que corresponde uma única área do território do Paraná. Deste modo é possível a junção de todas as informações das variáveis de interesse para cada evento, produzindo uma tabela de dados climáticos que pode ser intercambiada entre

os programas estatísticos (SPSS 22 e Excel) sem perder a referência geográfica para posterior geração de mapas temáticos.

A base de dados poligonal da Vegetação Potencial e Uso e Cobertura do Solo do Paraná foi proveniente do IBGE (2014), em escala 1:250.000, em Projeção Cartográfica SAD69, cedida especialmente para este estudo pelo Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Dentre as informações presentes nesta base, incluem as informações sobre uso e cobertura do solo primária e secundária, vegetação pretérita e característica dominante de ocupação (Antrópica ou Natural). Estas informações serão relevantes para as diferentes etapas da metodologia, de modo que se executou a operação de *Intersect* com o shape de pontos N255265, criando uma nova base de dados para permitir as análises subsequentes.

Após a abertura da tabela no Excel foi constatada a necessidade de adaptações nas informações presentes, uma vez que existiam 10.592 pontos (4,15%) sem valores, o que poderia influenciar negativamente nas análises estatísticas. A partir da coluna nm_uveg, relacionada a classe atual de cobertura vegetal dominante, pode ser identificado aqueles pontos que apresentavam a classificação “Água” (3.862 pontos). Similarmente, a maioria dos pontos restantes sem informação também foi completa a partir da vegetação natural existente (6.730 pontos). Alguns poucos pontos (593 pontos) foram completados a partir da extrapolação da vegetação secundária (nm_sec1), uma vez que apresentavam a classe dominante como “Vegetação Secundária sem palmeiras”, o que não indica o tipo de fitofisionomia de acordo com IBGE (2012). Somente 132 pontos (0,051%) não apresentaram informação possível de inferir a fitofisionomia provável, com somente classes de uso do solo, como “Agricultura Cíclica”, “Agropecuária” ou “Reflorestamento”, e foram identificadas como “Indefinidas”. A Tabela 10 apresenta as classes fitofisionômicas nominais e seus respectivos códigos.

Os dados dos solos e do relevo do Paraná foram provenientes da Embrapa Solos (BHERING & SANTOS, 2008). O arquivo shape, em escala 1:250.000, apresentado na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 22 Sul e Datum Córrego Alegre, representa a distribuição geográfica dos solos de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2009). Executou-se a operação de *Intersect* com o shape de pontos N255265, criando uma nova base de dados. Das informações presentes, foram utilizadas aquelas relevantes à textura e as fases de relevo, tanto pelas questões

explicitadas no capítulo 3 quanto pela possibilidade de serem expressas de forma escalar, evitando a utilização de informações nominais que aumentam a complexidade da análise.

Tabela 10: Classes fitofisionômicas e códigos de identificação.

Classe de Vegetação Pretérta	Código
Contato Estepe/Floresta Ombrófila Mista	1
Contato Floresta Ombrófila Densa/Floresta Ombrófila Mista	2
Contato Savana/Floresta Estacional	3
Contato Savana/Floresta Ombrófila Mista	4
Estepe	5
Floresta Estacional Semidecidual	6
Floresta Ombrófila Densa	7
Floresta Ombrófila Mista	8
Formação Pioneira	9
Refúgio Vegetacional	10
Savana	11
Água	-99
Indeterminado	-99

O IBGE (2012) e EMBRAPA (2009) apresentam as classificações oficiais de classificação dos solos e do relevo no Brasil. O termo textura é empregado especificamente para a composição granulométrica da terra fina do solo (fração menor que 2 mm de diâmetro). A separação entre os grupos é feita pelas proporções do material pedológico analisado, organizado pelo tamanho das partículas, geralmente dada pela escala de Atterberg (Tabela 11) modificada.

Tabela 11: Escala de Atterberg modificada. EMBRAPA 2009

Fração	Diâmetro Médio (mm)
Argila	< 0,002
Silte	0,002 - < 0,05
Areia fina	0,05 - < 0,2
Areia grossa	0,2 - < 2

Como cada solo apresenta uma composição única de partes destas partículas de diferentes tamanhos se faz necessário criar uma classificação por Grupamentos de Classes de Textura, de modo a identificar solos com percentuais parecidos de partículas de cada diâmetro. Os diferentes grupamentos texturais são identificados segundo a classificação brasileira vigente (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2009) para o 5º nível categórico (famílias), na 1ª associação de solo nas unidades de mapeamento, sendo registrada em notação simples, binária ou ternária. Resumidamente, seguem as composições elencadas abaixo e pela Figura 17:

- Textura Arenosa - compreende as classes texturais areia e areia franca.

- Textura Média - compreende classes texturais ou parte delas, tendo na composição granulométrica menos de 35% (350g.kg^{-1}) de argila e mais de 15% (150g.kg^{-1}) de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca.
- Textura Argilosa - compreende classes texturais ou parte delas, tendo na composição granulométrica de 35% a 60% de argila (350 a 600g.kg^{-1} de argila).
- Textura muito Argilosa - Compreende classe textural com mais de 60% (600g.kg^{-1}) de argila.
- Textura Siltosa - Compreende parte de classes texturais que tenham menos de 35% (350g.kg^{-1}) de argila e menos de 15% (150g.kg^{-1}) de areia.

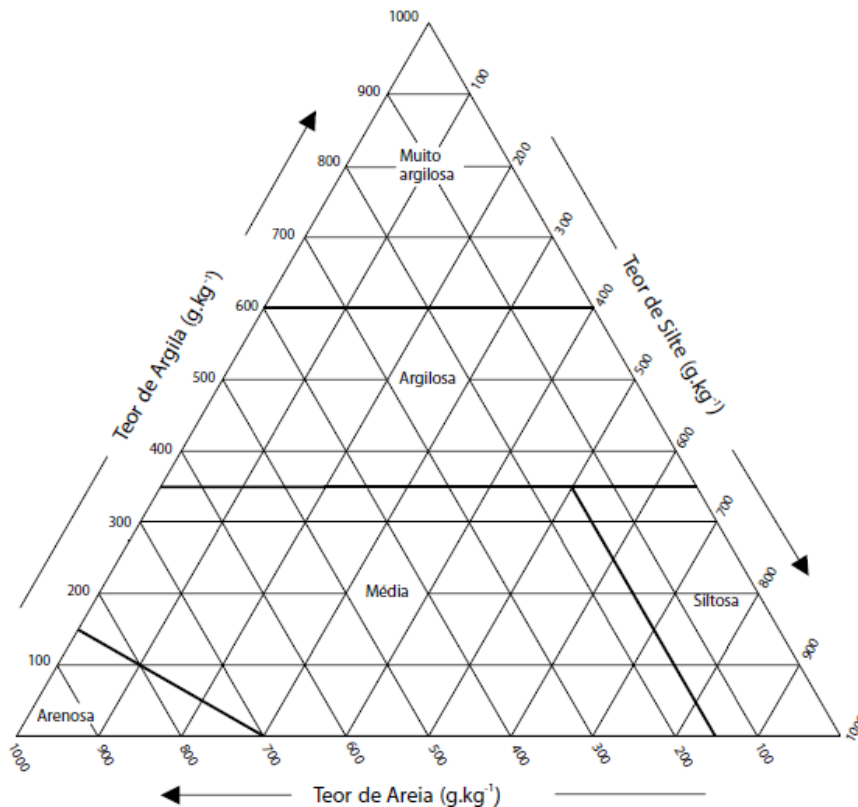


Figura 17: Triângulo textural da fração terra fina. IBGE 2009.

Para realizar esta distinção é considerado principalmente o horizonte B, ou quando não existe B, C, podendo ainda ser levado em conta no horizonte A de alguns solos. Os contrastes texturais entre horizontes dos solos são expressos por notação binária ou ternária, na forma de frações, como por exemplo, “textura média/argilosa” (binária) e “textura arenosa/média/muito argilosa” (ternária). Podem ser utilizados nas várias classes de solos para indicar variações dos grupamentos texturais em profundidade.

A partir desta classificação, as informações da tabela de textura receberam uma codificação que ordena os grupamentos em tamanho ascendente de granulometria, transformando a variável nominal em ordinal. A escala utilizada pode ser vista pela Tabela 12:

Tabela 12: Escala de Granulometria média.

Escala de Granulometria Média	Código
Água	-99
Indefinido	-99
Textura argilosa	1
Textura argilosa e média	2
Textura siltosa	2
Textura média/argilosa	3
Textura média	4
Textura arenosa/média	5
Textura arenosa	6

A mesma base ainda apresenta as Fases de Relevo, que agrega informações da declividade, comprimento de encostas e configuração superficial dos terrenos, que definem as formas dos modelados (formas topográficas). Tais distinções são empregadas para prover informação sobre praticabilidade de emprego de equipamentos agrícolas e facilitar inferências sobre suscetibilidade dos solos à erosão.

São reconhecidas as seguintes classes de relevo:

- Plano - superfície de topografia lisa ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades inferiores a 3%.
- Suave Ondulado - superfície de topografia ligeiramente movimentada, constituída por conjunto de pequenas colinas ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m), ou sucessão de pequenos vales pouco encaixados (rasos), configurando pendentes ou encostas com declives entre 3 até 8%.
- Ondulado - superfície de topografia relativamente movimentada, constituída por conjunto de medianas colinas e outeiros, ou por interflúvios de pendentes curtas, formadas por vales encaixados, configurando em todos os casos pendentes ou encostas com declives maiores que 8% até 20%.
- Forte Ondulado - superfície de topografia movimentada, com desníveis fortes, formadas por conjunto de outeiros ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas), ou por superfície entrecortada por

vales profundos, configurando encostas ou pendentes com declives maiores que 20 até 45%.

- Montanhoso - superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes, predominantemente maiores de 45 até 75%.
- Escarpado - áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, usualmente ultrapassando 75%, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias e vertentes de declives muito fortes.

Em razão dos grandes intervalos de declives estabelecidos para separação das várias classes de relevo, é possível encontrar organizações com maior nível de detalhe, ou ainda com notação binária, de modo a aumentar a diferenciação dos estudos. No caso da presente base de dados, foram encontrados 14 tipos de fases de relevo. A Tabela 13 apresenta tais nomenclaturas organizadas por nível de declividade média.

Tabela 13: Escala de Declividade média.

Fase do Relevo	Código
Água	-99
Indefinido	-99
Plano	1
Suave ondulado e plano	2
Suave ondulado	3
Suave ondulado e ondulado	4
Ondulado e suave ondulado	5
Ondulado	6
Ondulado e forte ondulado	7
Forte ondulado e ondulado	8
Forte ondulado	9
Ondulado e montanhoso	9
Forte ondulado e montanhoso	10
Montanhoso e forte ondulado	11
Montanhoso	12
Montanhoso e escarpado	13
Forte montanhoso e escarpado	14

A união das bases descritas anteriormente com somente as informações climáticas do presente gerou uma tabela contendo dados agregados da cobertura vegetal,

temperatura, precipitação, relevo e granulometria do território do Paraná. Esta tabela foi denominada TP.

De modo similar, outras tabelas foram criadas para as informações de cada MCG analisado, cobrindo os 4 cenários de forçamento radiativo de interesse. Essas tabelas receberam a seguinte nomenclatura:

- HadGem2ES
 - Ano médio 2050 e RCP 4.5 = TH54
 - Ano médio 2050 e RCP 8.5 = TH58
 - Ano médio 2070 e RCP 4.5 = TH74
 - Ano médio 2070 e RCP 8.5 = TH78
- MIROC5
 - Ano médio 2050 e RCP 4.5 = TM54
 - Ano médio 2050 e RCP 8.5 = TM58
 - Ano médio 2070 e RCP 4.5 = TM74
 - Ano médio 2070 e RCP 8.5 = TM78

A seguir serão apresentadas as três etapas da metodologia de trabalho, incluindo alguns conceitos e pressupostos necessários à compreensão dos resultados.

6.3. Etapa 1 – Modelo de Vegetação Potencial e Vulnerabilidade Climática das Fitofisionomias

A avaliação edafoclimática parte da identificação de como as variáveis bioclimáticas interagem entre si para gerar nichos multidimensionais específicos para cada fitofisionomia identificada, sendo estas um reflexo de tais condições. Assim, podemos dizer que a altitude, precipitação, temperatura e variáveis derivadas podem ser consideradas como fato gerador das fitofisionomias. Nos termos estatísticos, o primeiro grupo pode ser chamado de Variáveis Independentes ou Precursoras (VP), e o segundo, de Variáveis Dependentes ou Resultantes (VD). (TABACHNICK & FIDELL, 2006; FIELD, 2009).

A análise estatística de Regressão é aquela que permite identificar a relação matemática entre as variáveis precursoras e as resultantes. No entanto, este caso apresenta uma particularidade que interfere em como esta análise deve ser feita. As fitofisionomias são expressas nominalmente, ou seja, é uma variável qualitativa, e que pode ter mais de duas tipologias de resposta. Deste modo, é necessário que se utilize a Regressão Logística

Multinomial, uma vez que a regressão linear não é apropriada para situações na qual não existe um ordenamento entre as variáveis precursoras, e se faz necessário realizar a transformação logarítmica da VD, chamada de *Logit*²¹ (TABACHNICK & FIDELL, 2006).

BUSSAB & MORETTIN (2010) definem que o modelo de regressão linear para duas variáveis aleatórias X e Y, onde a esperança condicional de Y, dado que X = x, é uma função de x. Esta função pode ser representada pela Equação 3:

Equação 3: modelo de regressão linear.

$$Y_i = b_0 + b_1X_1 + \varepsilon_i$$

Onde o b_0 é o intercepto da reta com as ordenadas, b_1 é o coeficiente angular da linha, X é a variável precursora e ε_i é o termo residual, a diferença entre a predição da função para o termo X_i e o Y_i real.

Na regressão logística multinomial, podemos dizer que a variável categórica dependente Y, com um número i de categorias possíveis de saída, apresente K variáveis precursoras, X_1 a X_k , as quais em conjunto determinam a propensão de um evento (neste caso, um pixel com informações edafoclimáticas local-específicas) ser classificado para uma das i categorias (uma das fitofisionomias recorrentes no Paraná). Como a relação das variáveis com cada categoria não pode ser observável diretamente, então se busca realizar a análise entre as categorias, sendo uma considerada a base de comparação. A situação de base recomendada obedece a lógica de se considerar aquela categoria de maior frequência, uma vez que influencia na precisão da classificação. A relação entre cada variável precursora e a variável resultante pode ser dada de algumas maneiras, sendo que a aqui adotada é expressa pela Equação 4:

Equação 4: Regressão logística multinomial

$$P(Y_{ik}) = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k)}}$$

Os coeficientes da regressão apresentam uma característica importante do modelo logit multinomial. Como a regressão estima i-1 modelos, um para cada categoria de saída menos a de base, as estimativas dos parâmetros devem ser sempre interpretadas em

²¹ O logit é a função inversa do “sigmoide” ou função logística. Ver “*The origins and development of the logit model*”, CRAMER, 2003.

relação ao grupo de referência. A interpretação padrão do logit multinominal é que, para uma unidade de variação na VP, o logit dos resultados é esperado que se altere pela sua respectiva estimativa do parâmetro (em unidades de *log-odds*, ver adiante), dada a constância das outras variáveis no modelo.

6.3.1. Pressupostos

TABACHNICK & FIDELL (2006) enfatizam que a regressão logística é mais flexível do que as outras técnicas. Em primeiro lugar, ele não precisa de uma relação linear entre as variáveis dependentes e independentes. A regressão logística pode lidar com todos os tipos de relacionamentos, porque se aplica uma transformação log não-linear para a previsão da razão de chances. Em segundo lugar, as VPs e os erros (resíduos) não precisam ser distribuídas normalmente, assim como não precisam ter grupos com variância similar. Em terceiro lugar, não é necessária homocedasticidade²². A regressão logística ainda pode manipular dados ordinais e nominais como VPs, as quais não precisam ser métricas

Ainda assim, existem alguns fatores importantes que devem ser considerados para a utilização deste tipo de análise durante a realização de uma pesquisa. FIELD (2009) e TABACHNICK & FIDELL (2006) ressaltam tais questões, elencados abaixo:

1. Linearidade: Quando Y é uma variável categórica, essa suposição é violada, uma vez que não existe hierarquia. No entanto, a suposição de linearidade na regressão logística assume que existe uma relação linear entre todos os preditores contínuos e o resultado do *Logit*. Esta suposição pode ser testada, observando se o termo de interação entre o preditor e sua transformação logarítmica é significativa.
 - 1.1. Espera-se que tal questão seja verificada por meio dos indicadores.
2. Independência dos erros: Basicamente, isso significa que os casos de dados não devem ser relacionados, ou seja, eventos únicos.
 - 2.1. Como os dados são pontos espaciais únicos, sem repetição, não é esperado que ocorra.
3. Ausência de multicolinearidade: Basicamente, os preditores não devem apresentar uma correlatividade muito elevada. Esta hipótese pode ser

²² Os resíduos (erros) não precisam ser distribuídos normalmente. FIELD, 2009.

verificada com as estatísticas de tolerância e *Variance Inflation Factor* (VIF), os *eigenvalues*, entre outras.

- 3.1. Como diversas variáveis precursoras são de temperatura e precipitação, é esperado que apresentem correlações consideráveis, inclusive com a altitude. No entanto, GUJARATI (2004) afirma que se o único objetivo da regressão é a predição ou previsão, então a multicolinearidade não é um problema grave, porque o que será importante é o R^2 . Isto é válido quando os valores das VPs para os quais as previsões são desejadas obedecem às mesmas dependências lineares do projeto original. Assim, não serão adotadas medidas sobre esta questão.
4. Informações Incompletas: Podem ocorrer problemas na análise quando ocorrem pouca ou nenhuma frequência de eventos para todos as possibilidades de cruzamento entre VP e classes da VD. Quanto maior o número de VP, maior a chance dessa ocorrência.
 - 4.1. A quantidade de eventos avaliados supera 250.000, de modo que após a exclusão das variáveis pouco significativas espera-se um valor aceitável de células vazias. Se isto não ocorrer, um maior N de eventos analisados deve resolver esta questão.
5. Separação Completa: Isto ocorre quando uma classe da variável dependente pode ser identificada por somente uma variável, gerando um espaço multidimensional que não consegue ser avaliado quanto a este fator. Tal lacuna gera uma falta de informação de como deve ser a forma da linha de tendência da variável nesta área, podendo gerar grandes erros-padrão.
 - 5.1. Esse problema geralmente surge quando muitas variáveis são utilizadas para descrever poucos eventos, podendo ser resolvido com mais dados ou com menos variáveis.
6. Superdispersão. Isto ocorre quando a variação observada é maior do que a esperada no modelo de regressão logística. Suas causas podem decorrer quando a suposição de independência das variáveis é quebrada, ou ainda pela variabilidade nas probabilidades de sucesso decorrente de um fator externo não contemplado pelo modelo. A Superdispersão tende a limitar os erros padrão e resultar em intervalos de confiança mais restritos para os testes estatísticos das variáveis precursoras, uma vez que são calculadas pela divisão

pelo erro padrão, se tornado mais significativos do que realmente são. Similarmente, os intervalos de confiança mais estreitos superestimam o efeito dos preditores sobre o resultado, podendo aumentar a chance de erros tipo I²³. Felizmente, os parâmetros (B) não são afetados.

6.1. O Teste de Pearson (Distribuição Chi-Quadrado) e a Estatística de Desvio (*Deviance Statistic*) indicam se tal evento está ocorrendo quando sua razão para seus graus de liberdade for próxima ou superior a 2 (chamado de parâmetro de dispersão, Phi ou ϕ). Quando os testes de Pearson e de Desvio forem muito discrepantes, então também pode estar ocorrendo superdispersão. Seus efeitos podem ser reduzidos quando se pondera a escala da estatística de erro-padrão e IC, as multiplicando por um fator positivo. Recomenda-se que seja o maior valor entre a raiz da estatística de desvio ou de Pearson. HOSMER & HJORT (2002) sugerem a adoção de testes com escala ponderada quando o Chi-Quadrado for muito elevado, ocorrendo frequentemente quando se usa bases de dados muito grandes.

6.3.2. Interpretação do modelo

Uma questão importante em modelagem são as informações relevantes ao ajuste do modelo. Estas indicam se o modelo explica melhor os dados que a ausência do mesmo. A estatística de *Log-likelihood* é análoga à soma dos quadrados dos resíduos em regressão múltipla, uma vez que pode ser interpretada como um indicador de quanta informação inexplicável existe depois que o modelo foi ajustado. O *Log-likelihood* (Verossimilhança de Log) é baseado na soma das probabilidades associadas aos resultados previstos e reais (TABACHNICK & FIDELL, 2007). Deste modo, grandes valores de verossimilhança indicam modelos estatísticos finais mal ajustados, porque quanto maior, mais observações inexplicadas existem. Outras opções semelhantes são *Akaike's information criterion* (AIC) e o *Schwarz's Bayesian information criterion* (BIC). Tais indicadores servem para a comparação entre modelos diferentes, como aqueles com VP distintas. A diferença entre

²³ Um erro tipo I ocorre quando acreditamos que existe um efeito genuíno em nossa população, quando na verdade não há. Usando o critério de Fisher, sua probabilidade é 0,05. Este valor é conhecido como o nível α . Erros tipo II ocorrem quando acreditamos que não há nenhum efeito na população e na realidade existe. Sugere-se que a probabilidade máxima aceitável seria 0,2 (ou 20%) - isto é chamado o nível de β (FIELD, 2009).

os modelos a cada entrada de variável indica o quanto o modelo ganhou precisão quando comparado a situação de base, e a significância inferior a 0,05 corrobora a melhora. Todos se encontram na área de Testes de razão de verossimilhança (*Model fitting*) da análise.

Serão utilizados dois índices para medir o *Goodness-of-fit* (boa adequação aos dados), como o teste de Pearson (Distribuição Chi-Quadrado). Estes testes verificam se os valores previstos do modelo diferem significativamente dos valores observados. Se estas estatísticas não são significativas ($p > 0,05$), então os valores previstos não são significativamente diferentes dos valores observados, o que indica uma boa adequação aos dados. Por outro lado, se elas são significantes ($p < 0,05$), isso indica que as previsões são diferentes dos eventos observados, uma adequação ruim. Ambos os testes devem ter valores similares, do contrário, tal diferença entre estas estatísticas pode ser causada por superdispersão. Outra causa seria que a estatística de Pearson pode ser muito inflada pela ocorrência de frequências muito baixas ²⁴(a questão das informações incompletas)

Na regressão logística existem algumas medidas para avaliar o Tamanho de Efeito (*Effect Size*²⁵) da regressão linear múltipla. Na regressão linear, R^2 representa a quantidade de variação na VD explicada pelo modelo proposto sobre a quantidade de variação total a ser explicada. Para os modelos de regressão com uma variável dependente categórica, não é possível calcular uma única estatística que tem todas as características de R^2 no modelo de regressão linear, de modo que são calculadas aproximações. Os Testes de R^2 de NAGELKERKE (1991), MCFADDEN (1974) e COX & SNELL (1989) são considerados Pseudo- R^2 ²⁶, medições do Tamanho de Efeito da regressão logística. Os valores variam de 0, indicando que as VPs não predizem a VD, e 1, inferindo que o modelo a prediz com exata precisão. O que constitui um valor alto de R^2 varia entre as

²⁴ O que pode acontecer quando existem frequências de cruzamento entre variáveis iguais a 0, com um percentual elevado de células vazias na matriz. O SPSS avisa este percentual. Grandes parâmetros de dispersão podem ocorrer por razões diferentes da superdispersão, como por variáveis ou interações omitidas, ou ainda variáveis precursoras que violem a linearidade com o *logit*.

²⁵ Denomina-se a medição objetiva (e geralmente padronizada) do tamanho do efeito proveniente da manipulação experimental do estudo ou da força de interação entre variáveis analisadas. A padronização permite a comparação entre diferentes experimentos, mesmo com a utilização de variáveis ou escalas de medição (FIELD, 2009).

²⁶ O R^2 de COX & SNELL se baseia na probabilidade de log para o modelo em comparação com a probabilidade de log para um modelo de linha de base. No entanto, com os resultados categóricos, que tem um valor máximo teórico de menos de 1, para um mesmo modelo "perfeito"; O R^2 de NAGELKERKE é uma versão corrigida de Cox & Snell que ajusta a escala da estatística para cobrir toda a gama 0-1; O R^2 de MCFADDEN é uma outra versão, com base nos kernels *log-likelihood* para o modelo intercepto e o modelo final.

diferentes áreas de aplicação. COHEN (1988) afirma que os valores de $\pm 0,1$ representar um efeito pequeno, $\pm 0,3$ é um efeito médio e $\pm 0,5$ um efeito grande, podendo ser extrapolado para os intervalos de 0,1 a 0,3 como pequeno, 0,3 a 0,5 como médio e acima de 0,5 como grande. FIELD (2009) comenta que estes valores nunca devem ser interpretados fora do contexto da literatura que respaldou a investigação. Embora essas estatísticas podem ser sugestivas por conta própria, eles são mais úteis quando comparando modelos concorrentes para os mesmos dados. Por fim, deve ser lembrado que estes Pseudo- R^2 são relacionados à estatística de Wald (a seguir), com a qual compartilha as mesmas ressalvas.

A Estatística de Wald (X^2 - também uma Distribuição Chi-Quadrado) é usada para determinar se cada VP melhora significativamente a previsão de cada classe da VD. Ela é calculada pela razão ao quadrado entre o coeficiente de regressão (B) estimado para cada VP pelo seu erro padrão. Recomenda-se que este indicador seja utilizado com precaução quando o B for grande, uma vez que o erro padrão tende a tornar-se inflado, o que acarreta no aumento da probabilidade de rejeitar uma VD significativa (ou seja, maior propensão a causar erros do Tipo II). Sua significância deve ser inferior a 0,05 (ver MENARD, 1995).

A interpretação dos resultados da Regressão Logística Multinomial utiliza um índice chamado de Razão de Chance ou *odds ratio* ²⁷(“Exp(B)”). Este índice significa a razão entre a chance de ocorrência de um evento dado um valor de VP (X) e a ocorrência do mesmo evento quando se altera em uma unidade o valor da VP (X). O *odds* (ou chance) de um evento é definido pela probabilidade deste evento ocorrer dividido pela probabilidade de que não ocorra. As equações 14 a 16 ilustram esta diferença:

Equação 5: Probabilidade de um evento na Regressão Logística Multinomial.

$$P(evento\ y) = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 X_1)}}$$

Equação 6: Chance de um evento na Regressão Logística Multinomial

$$Odds = \frac{P(evento\ y)}{1 - P(evento\ y)}$$

²⁷ Aqui se preferiu manter a nomenclatura *odds*, para não gerar confusão com o termo probabilidade e chance, permanecendo a nomenclatura usada pelo SPSS. Pode ser encontrado *odds* como chance ou possibilidade, e *odds-ratio* como razão de chances ou razão de possibilidades.

Equação 7: Razão de chance de um evento na Regressão Logística Multinomial

$$\Delta odds = \frac{p_y}{1 - p_y} / \frac{p_y}{1 - p_y}$$

Os coeficientes, B, para as variáveis precursora, são os logaritmos naturais dos odds-ratio: odds-ratio = e^B . Portanto, uma alteração de uma unidade na parte de preditor multiplica as probabilidades por e^B . Este componente pode ser interpretado da seguinte forma: se o valor for maior do que 1, então isso indica que, quando o preditor X aumenta, aumentam as chances da categoria em questão Y ocorrer. Por outro lado, um valor inferior a 1 indica que quando o preditor aumenta, as chances de ocorrência de Y diminuem, favorecendo a categoria de referência. Tal interpretação somente é confiável caso a diferença da margem inferior (*lower bound*) e a margem superior (*upper bound*) do IC de $\text{Exp}(B)$ seja inferior a 1,0.

Por exemplo, um *odds-ratio* de 1,5 significa que o aumento de uma unidade da variável precursora multiplica por 1,5 vezes as chances de ocorrência da categoria em questão do que a categoria de referência, ou seja, a razão de probabilidades é aumentada em 50%. Um odds-ratio de 0,8 indica que o aumento de uma unidade da variável precursora multiplica por 0,8 vezes as chances de ocorrência da categoria em questão do que a categoria de referência, ou seja, a razão de probabilidade da categoria em questão é reduzida em 20%. (TABACHNICK & FIDELL, 2006).

CHINN (2000) apresentou uma transformação dos valores da razão de possibilidade para uma aproximação ao indicador de tamanho de efeito, o que permite uma interpretação mais direta dos valores. Esta estatística, agora chamada de R^2C , varia de aproximadamente -1 a 1, de interpretação similar ao R^2 , sendo o sinal negativo informativo do favorecimento da alteração à categoria em questão (Y) ou à categoria de referência com o aumento dos valores da VP. A fórmula utilizada é a seguinte:

Equação 8: R^2C

$$R^2C = \frac{\ln(\text{Exp}(B))}{1,81}$$

Sendo:

- R^2C = o tamanho de efeito;
- $\text{Exp}(B)$ = a razão de possibilidade.

O critério para considerar uma VP como uma das principais discriminantes da transição entre cada par de categorias de vegetação será o R^2C com um valor no mínimo pequeno de tamanho de efeito (de 0,1 a 0,3, pequeno; 0,3 a 0,5, médio; acima de 0,5, grande)

Segundo HUBERTY (1984), é necessário que se responda ao final do processo a seguinte questão: o número de unidades corretamente classificadas pelo modelo é significativamente maior do que o número corretamente classificado ao acaso? Esta análise, chamada de Precisão da Classificação, compara o percentual de eventos alocados em cada classe do que foi efetivamente observado com o previsto matematicamente pelo modelo. Busca-se então atingir uma meta de classificação, a melhora esperada na predição deste modelo quando comparado ao acaso. Diversos pesquisadores usam o padrão de 25% de melhora (MORRISON, 1969; HUBERTY, 1984; SCHLOTTMANN, 1989; COSTEA, 2003; WHITE, 2013).

Para realizar matematicamente esta comparação existem dois métodos usuais. Quando o tamanho dos grupos é similar, pode ser usado adequadamente o critério de oportunidade proporcional (COP). Considerando que os tamanhos de amostra são reflexos de características da população, a frequência de eventos para um determinado grupo é representada pela proporção do tamanho do grupo para a amostra total. Tal proporção é calculada pela soma quadrada das proporções de cada grupo na amostra. (HUBERTY, 1984; MORRISON, 1969).

Por outro lado, se o tamanho das amostras é bastante diversificado, o critério da máxima chance (CMC) é preferido, o qual é estimado através da atribuição da predição de todos os eventos à classe de maior frequência observada. (HUBERTY, 1984; MORRISON, 1969).

Após elucidar alguma das características de avaliação do método escolhido, serão apresentadas as etapas que envolvem o uso dessa ferramenta no SPSS 22.

6.3.3. Regressão Logística Multinomial no SPSS

O início do processo ocorreu com a importação da tabela TP para o SPSS. Deve ser lembrado que cada linha (também chamado de evento) apresenta as informações relativas a cada coluna (também chamadas de variável). Na aba do SPSS denominada *Variable View* é possível atribuir diversas características às variáveis. Cada uma das

variáveis foi complementada tanto com a sua forma de mensuração (Escalar, Ordinal ou Nominal) como com seu papel na análise (Entrada ou Saída), etapa necessária para o processo.

Em seguida, a informação das distribuições das variáveis foi listada através do comando *Analyze> Descriptive Statistics> Frequencies*. As estatísticas requisitadas incluem a média, mediana, moda, desvio padrão, variância, amplitude, mínimo, máximo e os índices de alteração da normalidade da distribuição (Assimetria ou *Skewness*; Curtose ou *Kurtosis*). Ambos índices se aproximam de zero em uma distribuição normal. Os valores positivos de assimetria indicam um empilhamento de eventos à esquerda da distribuição, enquanto que os valores negativos indicam um empilhamento à direita. Os valores positivos de *kurtosis* indicam uma distribuição pontuda e de calda longa, enquanto que os valores negativos indicam uma distribuição plana e cauda curta. No entanto, como afirma FIELD (2009), estes testes apresentam limitações com grandes amostras, uma vez que é relativamente fácil obter resultados significativos a partir de pequenos desvios da normalidade, mesmo que isso não seja importante o bastante para influenciar qualquer procedimento estatístico que se aplicam aos dados. Ao final, o mesmo autor afirma que em análises de grandes amostras (acima de 40), a distribuição de amostragem será normal de acordo com o teorema do limite central.

Estas informações fornecem as características gerais dos dados, permitindo assim as bases para uma investigação aprofundada. Alguns padrões evidenciados neste passo são pré-requisitos para a customização de parâmetros das próximas análises, além de permitir que o pesquisador veja a forma/características de suas variáveis e auxilie na escolha da metodologia mais adequada para testar sua teoria.

Para realizar a Regressão Logística Multinomial no SPSS, deve se executar o comando *Analyze> Regression> Multinomial Logistic*. Em seguida, na tela inicial, é necessária a entrada da variável dependente Veg, o que queremos conseguir prever, e as covariantes, todas as outras. Aqui se faz necessário elucidar a tomada de três decisões cruciais para a análise, envolvendo diretamente os preceitos teóricos:

- A regressão multinomial exige a comparação binária, sendo necessário escolher uma categoria de base. Isso pode ser exemplificado da seguinte forma: um pixel pode ter qualquer classificação quanto à fitofisionomia que representa, mas somente uma. Assim, será inferido a probabilidade dele

pertencer à base (0), ou outra, (1), com uma comparação binária contra cada categoria válida. Assim, poderá ser inferida a categoria que apresenta a maior probabilidade de *fitness* para o pixel em questão dado os valores das variáveis precursoras. FIELD (2009) recomenda a escolha da categoria de base aquela com maior frequência, reforçando a necessidade das análises descritivas iniciais.

- No campo das variáveis covariadas devem ser inseridas aquelas que apresentam maior relevância para a amostra. Essa escolha deve ser baseada em conhecimento prévio da literatura e experimentos anteriores. Neste caso, o capítulo 4 descreveu o que as diversas referências indicam como variáveis relevantes para a determinação da fitofisionomia, incluindo as informações da Classificação da Vegetação Brasileira (IBGE 2012a). Cruzando com as bases de dados disponíveis, espera-se que as de maior relevância sejam as relacionadas aos estresses hídricos e de estacionalidade. No entanto, para não descartar uma possível correlação significativa, serão introduzidas todas as variáveis dependentes e, caso necessário, será feita uma triagem para identificar aquelas mais relevantes e retirando as de menor contribuição, rodando novamente a análise com menos variáveis visando a simplificação\aprimoramento do modelo.
- Dentre as categorias nominais (classes fitofisionômicas) da variável resultante Veg existem aquelas que devem ser excluídas da análise (marcadas como -99), incluindo os pontos não-classificados e as superfícies de águas interiores. Não obstante, a numeração de 1 a 4 apresenta regiões de contato, áreas de transição entre fitofisionomias, as quais não foram passíveis de se determinar a dominante. Tal inespecificidade pode gerar um aumento de imprecisão no modelo, e pode ser recomendado a sua supressão, caso não representem um percentual elevado da área de estudo. Por outro lado, como almeja-se identificar a alteração da predisposição da vegetação frente às mudanças climáticas, manter essas classes pode gerar uma maior sensibilidade aos possíveis impactos nas distribuições, com a diminuição da dominância de algumas fitofisionomias na região.

Em seguida, foi escolhido o modelo de como seria realizada a interação entre as variáveis, e optou-se pela opção *Full Factorial*²⁸ e a inclusão do intercepto no modelo²⁹. Dentre as opções em *Statistics*, foram escolhidas o pseudo R², resumo, informações de ajuste, a tabela de classificação, a qualidade do ajuste, as estimativas de razão de verossimilhança e um intervalo de confiança de 95%. Em *Criteria* foram mantidas as opções padrões. Nas *Options* foi realizado o ponderamento da escala pela estatística de Pearson, uma vez que o SPSS indicou 80% dos cruzamentos com células vazias (grande número de variáveis e pouca frequência de algumas categorias). Em *Save* foram marcadas as opções com a inclusão dos valores previstos da vegetação pelo modelo nas variáveis (*Predicted category*) e a exportação do script do modelo, chamado de Edafo0, para poder ser replicado com as outras tabelas de dados provenientes do WorldClim.

6.3.4. Cruzamento da modelagem com os Cenários do SR5

As análises dos MCGs podem ser iniciadas replicando o script do Edafo0 para os dados dos modelos. Cada base de dados dos 8 cenários estudados (TH54, TH58, TH74, TH78, TM54, TM58, TM74, TM78) foi importada pelo SPSS, utilizando o valor de -99 para os casos faltantes.

Para realizar a comparação dos diferentes cenários foi necessário a inclusão da variável da vegetação prevista pelo Edafo0 para os dados de TP em cada planilha de dados dos MCGs. Esta variável, agora chamada de PRE_TP, é a situação de base que será contrastada com a resultante do modelo para cada RCP do MIROC5 e do HadGem2ES. Esta operação foi realizada pelo SPSS (*Data > Merge Files > Add Variables*), o qual inseriu os valores destas variáveis ancoradas nos valores de N255265, aquela que identifica o mesmo evento (pixel) em todas as tabelas, servindo como variável chave para o procedimento de união.

Partindo da premissa que não se espera alterações nas variáveis Altitude, Relevo e Textura decorrentes das mudanças climáticas, elas podem ser consideradas constantes. No entanto, como foram inseridas para a determinação do modelo, precisam ser inseridas

²⁸ O modelo *Main-effects* apresenta os principais efeitos de covariância e de cada variável com a variável resultante, mas não há efeitos de interação. Um modelo *Full Factorial* contém todos os efeitos principais e todas as interações fator-a-fator, mas não contém interações covariadas.

²⁹ FIELD (2009) ressalta que para se produzir um modelo com o melhor ajuste aos dados de entrada é necessário executar a análise com a constante inclusa. Sem esta opção, a regressão seria forçada a cruzar o ponto de origem (ou seja, Y é 0 quando X é 0).

neste passo, mantendo a lógica e precisão da equação. A aplicação de Edafo0 foi executada pelo comando *Utilities> Score assistant*.

Anterior à aplicação do modelo foi realizada a análise de frequências para as variáveis BIO1-BIO19, similar ao que foi feito para os dados da TP, de modo a auxiliar a interpretação dos resultados. Também foi realizada uma análise de Tabelas Cruzadas (*Analyze> Descriptive Statistics> Crosstabs*) entre a variável PRE_TP e as variáveis precursoras de cada tabela para saber o número de eventos que sofreram alterações do tipo potencial de cobertura fitofisionômica, tanto a quantidade geral como a comparação par a par entre as classes. Não obstante, foi criada uma coluna chamada de Alteração, relacionada à ausência (1) ou existência (0) de alteração potencial de cobertura fitofisionômica (*Transform> Calculate Variable*). Sua análise de frequências informou o percentual de eventos totais (pontos) que sofreram alteração, e ainda serviu para a geração do mapa de alteração para cada cenário. Estes últimos foram decorrentes da transformação dos valores de pontos em pixels, revertendo-os ao tamanho original por meio da ferramenta *Conversion Tools> To Raster> Point to Raster* do ArcGIS.

O último passo envolveu o cruzamento das informações da variável Alteração com cada município. Através da operação *Intersect*, a tabela N255265 recebeu a adição de uma coluna que correlaciona os códigos municipais a cada evento. A partir da análise de frequências no software Excel foi contabilizado o número de eventos com alteração potencial da cobertura fitofisionômica dentro de seus limites, cujo percentual total determinou o Índice de Alteração Fitofisionômica Potencial (IAFP), obedecendo a classificação da Tabela 14 abaixo:

Tabela 14: Classes do Índice de Alteração Fitofisionômica Potencial (IAFP).

% Alteração	IAFP
< 10%	1
>= 10% a < 20%	2
>= 20% a < 30%	3
>= 30% a < 40%	4
>= 40% a < 50%	5
>= 50% a < 60%	6
>= 60% a < 70%	7
>= 70% a < 80%	8
>= 80% a < 90%	9
>= 90%	10

Cada cenário climático de ambos MCGs estudados receberam um mapa com a classificação de seus municípios de acordo com o IAFP, representando a vulnerabilidade climática individual da cobertura vegetal, organizados no anexo 8.

6.4. Etapa 2 – Vulnerabilidade Socioeconômica da vegetação remanescente do Paraná

Nesta etapa foi realizada a análise da vulnerabilidade socioeconômica da vegetação remanescente a partir de variáveis socioeconômicas, chamadas agora de VSE. A escolha destas se baseou na literatura, identificando os principais vetores do desmatamento para a região. O capítulo 5 e o capítulo 7 forneceram diversas considerações sobre as fragilidades locais que influenciam a vulnerabilidade da vegetação do Paraná ao desmatamento desde o início de sua ocupação, elencando como principais colaboradores o aumento demográfico, a agropecuária, o extrativismo vegetal, a pobreza, a valorização imobiliária das propriedades rurais e a baixa instrução.

Utilizou-se as seguintes bases de dados municipais do IBGE para abordar os temas elencados:

- Extrativismo³⁰ – Será utilizada a produção de Lenha, em m³, para o ano de 2011, proveniente da publicação Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (2011);
- População – Será utilizada a informação do Censo Demográfico (2010) para a variação da população rural e total entre os anos de 2000-2010;
- Renda – Será utilizada a informação do Censo Demográfico (2010) para o rendimento nominal médio de pessoas maiores de 10 anos e o número de horas médias da jornada semanal de indivíduos de 10 a 17 anos;
- Alfabetização – será utilizada as informações do Censo Demográfico (2010) para obter a taxa percentual de pessoas de 10 anos ou mais analfabetas;
- Agropecuária - será utilizada as informações do Censo Agropecuário (2006) para obter a quantidade de estabelecimentos agropecuários nos municípios e as suas áreas de lavoura permanente e pastagens naturais;

A base de informações municipais de valor imobiliário das propriedades agrárias veio da Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB), do Departamento de Economia Rural, que produz a Pesquisa de Preços de Terras Agrícolas

³⁰ Os municípios Boa Ventura de São Roque, Farol, Guaratuba, Inácio Martins, Paranaguá e Pontal do Paraná não apresentavam quantidades de lenha para o ano de 2011, de modo que foram utilizados os valores referentes a 2013. Os municípios de Antonina, Guaraqueçaba, Matinhos e Morretes não apresentaram informações para esta variável, de modo que então se usou a média estadual da produção de lenha de 33.555,10 m³.

(SEAB 2014) para atender às Leis 8.629, de 25/02/93, sobre dispositivos Constitucionais relativos à reforma agrária, e N° 9.393, de 19/12/96, que dispõem sobre o imposto sobre a Propriedade Territorial. São apresentados os dados de 2004 a 2014 referentes aos valores gerais médios para o município, não tendo como base uma determinada região. Estes se encontram diferenciados em 4 tipos de classes:

- Mecanizada - São áreas destocadas, sem restrições para o preparo do solo e plantio, cuja declividade (topografia) permite operações com máquinas e implementos agrícolas motorizados, podendo estar sendo cultivada ou em pousio, independente da cultura existente, incluindo várzea sistematizada.
- Mecanizável - São áreas cuja declividade do solo (topografia) permite operações com máquinas e implementos agrícolas motorizados, ou seja, não mecanizada, devido à presença de vegetação adensada (mata ou capoeira), resto de desmatamento (tocos, troncos e galhos) e várzea não sistematizada (úmida).
- Não mecanizável - São áreas cujo relevo e/ou profundidade do solo são desfavoráveis à execução de operações ou práticas agrícolas com máquinas e implementos motorizados, permitindo, porém, o plantio manual ou a tração animal. São consideradas também áreas não mecanizáveis, as reservas legais, tendo em vista que as mesmas só poderão sofrer algum tipo de desmatamento e/ou corte, mediante um plano de Manejo Sustentável, com projeto devidamente aprovado pelo IAP e/ou IBAMA.
- Inaproveitáveis - São áreas totalmente inaproveitáveis para atividades agropecuárias, constituídas de solos pedregosos, muito rasos ou inundáveis periodicamente, despenhadeiro, pirambeira, penhascos, etc., com relevo íngreme ou reserva de Preservação Permanente, podendo servir apenas como abrigo e proteção de fauna e flora silvestre, como ambiente para recreação ou para fins de armazenamento de água.

Somente a classe Mecanizada apresenta valores para todos os municípios, de modo que foi escolhida como referência, utilizando o ano de 2014 como base. Alguns municípios apresentavam valores por tipo de terra, variando de 1 a 4 valores.

O SOSMA forneceu através dos seus Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica (SOSMA, 2011, 2013, 2014) o percentual do desmatamento entre os anos 2008-2013, pela análise das comparações entre imagens orbitais subsequentes.

Em prol de se certificar da existência de relações entre as demais VSE e a taxa de desmatamento foi realizada uma análise comprobatória de covariância no SPSS (*Analyze > Covariance > Bivariate*), principalmente após as considerações de YOUNG (2005) sobre a baixa influência da variação populacional. Somente foram incluídas como VSE aquelas que apresentaram significância estatística ($p < 0,05$).

Após esta etapa discriminatória as variáveis selecionadas foram importadas para o software ArcGIS. Tal processo se deu pelo comando *Join* das colunas com a identificação municipal de cada tabela. Como cada fonte de dados usa uma nomenclatura ligeiramente diferente foi criada uma tabela que correlaciona cada uma destas tabelas com o código do município e a tabela N255265, garantindo a exatidão da correspondência.

Em seguida, cada variável teve seus valores distribuídos em 10 classes ordinais de agrupamento por meio do método de Quebras Naturais ou Distribuição de Jenks (1967). Este método tem como objetivo reduzir a variância intra-classes e maximizar a variação inter-classes, ou seja, busca uma maneira de otimizar a distribuição dos valores observado dentro do número de classes pré-estabelecido. Deste modo, cada município apresentou uma graduação de 1 a 10 para as variáveis de interesse, sendo 1 a situação de menor vulnerabilidade e 10 a de maior.

Por fim, através da multiplicação cruzada dos valores de cada classe das variáveis de interesse para os municípios foi obtida uma pontuação, a qual varia de 1 até 10^x , sendo x o número de variáveis. Com base nos valores obtidos foi realizado um novo agrupamento dos municípios por Jenks em 10 classes ordenadas, sendo 1 a situação de menor vulnerabilidade e 10 a de maior. A tabela resultante apresenta o índice representativo da vulnerabilidade socioeconômica de cada município, agora chamado de IVSE, o qual foi ilustrado graficamente por meio de um mapa.

6.5. Etapa 3 – Vulnerabilidade da Vegetação Remanescente do Paraná frente às Mudanças Climáticas

A última etapa da metodologia envolveu o cruzamento dos dados do IVSE com os valores do IAFP para cada cenário através da ferramenta de *Intersect* do software ArcGIS. Em seguida, cada município teve estes dois valores multiplicados, obtendo uma coluna

com valores de 1 a 100 pontos, os quais foram ordenadas em 10 classes por Jenks, representativas do Índice de Vulnerabilidade Antrópica Fitofisionômica do Paraná, chamado agora de IVAF, sendo 1 o mínimo e 10 o máximo. Os resultados seguem a mesma escala de classificação para cada um dos 4 cenários dos 2 MCGs utilizados, de modo que podem ser comparados entre si diretamente. A escala do IVAF está discriminada na Tabela 15.

Tabela 15: Classes do Índice de Vulnerabilidade Antrópica Fitofisionômica do Paraná (IVAF).

Valor	IVAF
< 10	1
>= 10 a < 20	2
>= 20 a < 30	3
>= 30 a < 40	4
>= 40 a < 50	5
>= 50 a < 60	6
>= 60 a < 70	7
>= 70 a < 80	8
>= 80 a < 90	9
>= 90	10

Para compreender a influência dessa vulnerabilidade sobre os remanescentes vegetais do Paraná, os valores do IVAF municipais para cada cenário foram multiplicados por um índice representativo da densidade (hectares/área municipal total) de remanescentes de cada município, chamado agora de IDRM. Os valores do IDRM, identificados a partir das áreas de Vegetação Dominante na base de cobertura e uso do solo do IBGE (2014), foram separados em 10 classes a partir do método de Jenks, sendo o 1 relativo à menor densidade e o 10 à maior densidade de remanescentes.

A identificação dos municípios de maior densidade de vegetação natural como aqueles de maiores multiplicadores pode ser percebida a princípio como um equívoco. No entanto, o presente estudo se encontra focado na vulnerabilidade da vegetação aos impactos antrópicos, sendo os remanescentes os receptores. Deste modo, quanto maior a preservação natural de uma região, mais recursos naturais a serem cobiçados, mais biodiversidade a ser perdida, mais a se perder com a conversão fitofisionômica decorrente das alterações climáticas, demandando que apresentem os valores mais elevados.

O produto do IVAF pelo IDRM gerou um novo índice, representativo da Vulnerabilidade Antrópica dos Remanescentes do Paraná, agora chamado de IVAR. Os resultados serão apresentados por meio de mapas para cada um dos 4 cenários dos 2 MCGs utilizados, seguindo a mesma escala de classificação, de modo que os resultados podem ser comparáveis entre si. A escala do IVAR está discriminada na Tabela 16.

Tabela 16: Classes do Índice de Vulnerabilidade Antrópica dos Remanescentes

Valor	IVAR
< 10	1
>= 10 a < 20	2
>= 20 a < 30	3
>= 30 a < 40	4
>= 40 a < 50	5
>= 50 a < 60	6
>= 60 a < 70	7
>= 70 a < 80	8
>= 80 a < 90	9
>= 90	10

6.5.1. Cálculo das Emissões Potenciais de CO₂

As estimativas das emissões antrópicas líquidas de CO₂ associadas às mudanças do uso do solo podem ser calculadas por uma grande variedade de metodologias. O IPCC (2006), em seu Guia para Inventários de GEE Nacionais, buscou padronizar este apanhado da literatura para aprimorar as informações mundialmente geradas sobre o tema, de modo a permitir um entendimento detalhado das causas das emissões e atender ao compromisso assumido pelos países signatários da CQNUMC.

Recomendou-se que cada nação adapte as fórmulas e valores de referência à sua realidade, uma vez que existem distintas condições edafoclimáticas e socioambientais. Deste modo, o MCT (2010) publicou a Segunda Comunicação Nacional à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, a qual apresenta em sua segunda parte tanto a metodologia como os resultados do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal.

A metodologia proposta pelo MCT (2010) aborda diversos setores de atividade, mas no presente estudo somente será relevante o de Mudança do Uso da Terra e Florestas, relacionado às estimativas das emissões e remoções de gases de efeito estufa associadas ao aumento ou diminuição do carbono na biomassa acima ou abaixo do solo pela alteração do uso da terra. Dentre os compartimentos considerados na análise podemos citar: a biomassa viva acima do solo; a biomassa viva abaixo do solo (raízes); os galhos finos e folhas mortas (serapilheira fina); os galhos grossos mortos (serapilheira grossa); o carbono de solo.

A metodologia adotada para o Brasil apresenta uma grande complexidade, referida como o *Tier 3* do IPCC (2006), a qual exige observações espacialmente explícitas de mudança do uso da terra. Tal severidade de detalhamento é justificada pela grande

relevância das emissões associadas à Mudança do Uso da Terra e Florestas relatadas na Comunicação Inicial do Brasil à Convenção (MCT, 2010). Os cálculos estão norteados em dois princípios básicos:

- O fluxo presumido de CO₂ com a atmosfera é igual às mudanças nos estoques de carbono nos solos e na biomassa existente;
- As mudanças nos estoques de carbono podem ser estimadas através da identificação das mudanças do uso da terra com suas práticas responsáveis, com a subsequente quantificação de seu impacto entre dois períodos de tempo.

O balanço de carbono nos compartimentos entre o intervalo de tempo analisado pode ser separado em dois processos paralelos, destacados a seguir:

- A estimativa das emissões e remoções relativas à mudança de estoque de biomassa viva (acima e abaixo do solo) e matéria orgânica morta (serapilheira fina e grossa); e
- A estimativa das emissões e remoções relativas à mudança de estoque do carbono do solo.

O cálculo destas emissões utiliza como base as seguintes equações (MCT, 2010):

Equação 9: Mudança no estoque de carbono da biomassa viva de uma área.

$$\Delta C = \sum_{ijk} [A_{ijk} * (C_I - C_L)_{ijk}]$$

Onde:

- ΔC : é a mudança no estoque de carbono (tC/ano);
- A: é área de terra (ha);
- ijk : índices que correspondem ao tipo de clima i , tipo de vegetação j e prática de manejo k ;
- C_I : taxa de ganho de carbono (tC/ha/ano);
- C_L : taxa de perda de carbono (tC/ha/ano);

Equação 10: Alteração do estoque de carbono da biomassa viva no tempo

$$\Delta C = \sum_{ijk} (C_I - C_L) / (t_2 - t_1)_{ijk}$$

Onde:

- C_{t1} : estoque de carbono no instante t_1 (tC);
- C_{t2} : estoque de carbono no instante t_2 (tC);

A metodologia para estimativa da variação no carbono do solo toma como referência o valor de carbono médio do solo sob vegetação primária para as distintas associações solo-vegetação encontradas no país (ver MCT, 2010). A equação geral para o cálculo da variação do carbono do solo é seguinte:

Equação 11: Variação do carbono do solo.

$$ES_i = C_{solo} * [fc(t_0) - fc(t_{10})] * (T/2)/20$$

Onde:

- ES_i : Emissão líquida do polígono i no período T devido à variação no carbono do solo (tC);
- A_i : Área do polígono i (ha);
- C_{solo} : Conteúdo de carbono solo sob a associação solo-vegetação do polígono (tC/ha);
- $fc(t)$: fator de alteração de carbono de solo no instante t (adimensional);

O fator de alteração de carbono é definido pela Equação 12.

Equação 12: fator de alteração de carbono

$$fc(t) = fLU * fMG * fI$$

Onde:

- fLU : fator de alteração de carbono pelo uso da terra;
- fMG : fator de alteração de carbono pelo regime de manejo;
- fI : fator de alteração de carbono pelas adições de matéria orgânica.

Para o presente estudo optou-se por realizar uma simplificação da metodologia nacional, estimando somente as emissões potenciais da alteração dos compartimentos da biomassa viva e morta. Tal simplificação, incluindo a opção de não se calcular a variação do carbono no compartimento solo, foi decorrente dos seguintes fatores:

- Falta de informação sobre os critérios de reclassificação dos solos adotada pelo MCT³¹;
- Falta de informação quanto ao tipo ou ausência de manejo nos remanescentes vegetais;
- Falta de informação quanto ao nível de preservação dos remanescentes vegetais;
- Falta de estimativa quanto ao tempo necessário para ocorrer a alteração da vegetação remanescente decorrente das mudanças climáticas;
- Adoção da premissa de que a alteração da cobertura vegetal remanescente nos cenários analisados será exclusivamente decorrente das mudanças climáticas;

Deste modo, o cálculo do balanço de carbono decorrente da alteração fitofisionômica para cada cenário de mudança climática avaliado foi realizado pela seguinte fórmula:

Equação 13: Balanço de carbono decorrente da alteração fitofisionômica.

$$\Delta C = \sum_f [A_n * (D_{fTx} - D_{fTP})_j]$$

Onde:

- ΔC : é a mudança no estoque de carbono da vegetação remanescente (tC);
- n: Número de pixels de vegetação remanescente;
- A_n : Área do pixel analisado (ha);
- f: Fitofisionomias do Paraná consideradas;
- D_{fTP} : Densidade de carbono da fitofisionomia da TP (tC/ha);
- D_{fTx} : Densidade de carbono da fitofisionomia dos cenários analisados (tC/ha)

Os valores das densidades de carbono em biomassa por hectare para as fitofisionomias consideradas foram obtidos da Segunda Comunicação Nacional (MCT, 2010). Para aquelas classes com diferenças de densidade entre extratos de altitude (ex. Montana e Submontana) se realizou uma média para os valores, uma vez que não se

³¹ As classes SBCE (2009) foram reclassificadas pelo MCT (2010) em seis grandes grupos de solos: Solos com argila de atividade alta (S1), Latossolos com argila de atividade baixa (S2), Não-Latossolos com argila de atividade baixa (S3), Solos arenosos (S4); Solos hidro mórficos (S5) e Outros Solos (S6).

utilizou a diferenciação por curva de altitude. Na Tabela 17 apresentam-se os valores das densidades de carbono utilizadas para cada classe.

Tabela 17: Densidade de carbono por hectare das fisionomias vegetais no bioma Mata Atlântica. MCT 2010 (adaptada).

Fitofisionomia	Código	tC/ha
Estepe Gramíneo-Lenhosa	5	4,3
Floresta Estacional Semidecidual	6	140,09
Floresta Ombrófila Densa	7	134,29
Floresta Ombrófila Mista	8	115,165
Savana Gramíneo-Lenhosa	11	16,3

Para continuar a análise dos dados da tabela de remanescentes foi necessário identificar as áreas de cada pixel relativo à superfície do território do Paraná. Tal operação foi calculada pelo software ArcGIS em dois passos. O primeiro foi a conversão da tabela N255265 em vetores, transformando cada pixel em um polígono único, o qual mantém as tabelas de atributos com as informações da vegetação prevista de cada cenário. Esta operação foi feita através da ferramenta *Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon* do ArcGIS.

O segundo passo, já no arquivo *shape* poligonal da N255265, foi realizado a partir da função da tabela de atributos *Calculate Geometry > Area*, após a alteração do sistema de coordenadas geográficas para sistema de coordenadas projetadas (UTM WGS84 – Zona 22s; Projeção Transversa de Mercator). Os valores para cada linha foram determinados em hectares.

Os cálculos da variação do estoque de biomassa da vegetação remanescente foram realizados no software Excel, onde a fitofisionomia potencial prevista para cada cenário foi comparada ao estimado pela PreTP por meio de análise de Tabelas Cruzadas. Com estas informações, utilizando-se os valores médios de carbono por hectare do MCT (2010) para cada fitofisionomia, será estimada a emissão de GEE decorrente da alteração da cobertura do solo para os cenários analisados, tanto em Gigagramas de carbono (Gg C) como de CO₂ (Gg CO₂). A Tabela 18 apresenta os valores da alteração entre as fitofisionomias, sendo a comparação da transição de linha para a coluna.

Tabela 18: Emissão potencial de carbono da alteração fitofisionômica, em tC/ha.

	5	6	7	8	11
5	0	-135,79	-129,99	-110,865	-12
6	135,79	0	5,8	24,925	123,79
7	129,99	-5,8	0	19,125	117,99
8	110,865	-24,925	-19,125	0	98,865
11	12	-123,79	-117,99	-98,865	0

7. Estudo de caso: o estado do Paraná.

7.1. O estado do Paraná

O Estado do Paraná está situado na região sul do país e, segundo IBGE, apresenta uma área de 199.307,945 km², com uma extensão Norte-Sul superior a 468 km e a 674 km Leste-Oeste. Faz divisa com Mato Grosso do Sul, ao noroeste, a qual segue a calha do rio Paraná até a desembocadura do rio Paranapanema; com São Paulo, ao norte e nordeste, com a divisa acompanhando o rio Paranapanema desde sua foz, depois o rio Itacaré, subindo pelo morro Itapirapuã e seguindo o rio de mesmo nome até o rio Ribeira, prosseguindo pelo rio Pardo e seu afluente rio Capivari, e a partir daí acompanha divisores de água até o rio Ararapira, chegando ao oceano; com o Oceano Atlântico, ao leste, com 107 km de litoral; com Santa Catarina, ao sul, desde a foz do rio Saí-Guaçu, ao qual acompanha até o rio Negro, seguindo este até o rio Iguaçu, de onde passa a margear a rodovia de União da Vitória até o rio Jangada, posteriormente seguindo o divisor de águas da serra da Fartura até Barracão. Ainda faz fronteira com o Paraguai a oeste e a Argentina ao sudoeste. (MAACK 2012)

Tabela 19: Coordenadas geográficas dos pontos extremos do Paraná. MAACK 2012.

Pontos extremos	Latitude	Longitude
Norte ³²	22° 31' 06" S	52° 08' 12" W
Sul	26° 42' 58" S	51° 26' 09" W
Leste	25° 12' 30" S	48° 01' 15" W
Oeste	25° 26' 30" S	54° 37' 38" W

Quanto à divisão política, este estado tem como sua capital a cidade de Curitiba, e está subdividido em 10 mesorregiões e 399 municípios, com ilustrados pela Figura 18. Apresenta uma população estimada de 11.081.692 (85,3% urbana), a qual usufrui de um rendimento nominal *per capita* médio de R\$ 1.210,00, IDH médio de 0,749 (2010), e uma densidade demográfica de 55,02 habitantes por km² (IBGE 2014b). Seus ancestrais apresentam descendências de várias etnias: poloneses, italianos, alemães, ucranianos, holandeses, espanhóis, japoneses e portugueses, além de imigrantes do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Minas Gerais (IPARDES 2011). A economia paranaense corresponde a R\$ 255.927 milhões, 5,8% do PIB nacional, perfazendo um PIB *per capita*

³² Existe divergência entre os valores atribuídos ao ponto extremo norte, sendo este a média das controvérsias. MAACK 2012.

de R\$ 24.194,79 em 2012, acima do valor de R\$ 22.645,86 referente à média do Brasil (IBGE 2014a).



Figura 18: Regiões Geográficas do Paraná segundo a Lei estadual nº 15.825/08. Fonte: IPARDES 2011 (modificada)

Segundo IPARDES (2011), a produção agrícola do Paraná é diversificada, sendo o maior produtor nacional de grãos, além de sobressair nas culturas de cana-de-açúcar, milho, soja, mandioca, trigo e frutas. Em relação à pecuária, a avicultura apresenta 27% do total de abates do país, enquanto que no segmento de bovinos atinge 4,1% e 19,7% no de suínos. A indústria do Paraná atingiu R\$ 67,4 bilhões em 2011, com predomínio dos segmentos de veículos automotores, alimentos e refino de petróleo. O setor de serviços exhibe grande participação dos ramos de comércio, administração pública e atividades imobiliárias. Quanto às exportações, o Paraná respondeu por US\$ 18,15 bilhões, quinta posição entre os estados brasileiros; nas importações, recebeu um total de US\$ 8,2 bilhões provenientes principalmente da China, Argentina, Estados Unidos e Alemanha.

Ainda IPARDES (2011), as economias municipais da Região Metropolitana de Curitiba estão entre as maiores do Estado, com Curitiba, São José dos Pinhais e Araucária

apresentando um elevado dinamismo industrial e de serviços, os PIBs mais proeminentes do Paraná. No interior do Estado, Londrina e Maringá proeminente setor de serviços, assim como forte presença da agroindústria; em Foz do Iguaçu, sobressaem as atividades ligadas ao turismo e à produção de energia elétrica, enquanto que Paranaguá se destaca pelas atividades ligadas ao Porto.

7.1.1. Ambiente físico do Paraná

Ambientalmente, o Paraná é frequentemente descrito pela classificação de REINHARD MAACK (2012), geógrafo que dedicou boa parte de sua vida ao conhecimento desta porção brasileira. Ele divide o estado nas suas cinco grandes regiões de paisagens e subzonas naturais, baseadas nas posições de escarpas, vales de rios e divisores de águas. Esta situação pode ser ilustrada pela hipsometria (Figura 20) e pelo mapa (Figura 19) das regiões do estado em questão, enumeradas abaixo:

1. A zona litorânea
 - a. Orla marinha
 - b. Orla da serra
2. A serra do mar
3. O primeiro planalto
 - a. O planalto de Curitiba
 - b. A região montanhosa de Açungui
 - c. O planalto de Maracaná
4. O segundo planalto ou planalto de Ponta Grossa
 - a. A região ondulada do paleozoico
 - b. A região das mesetas do mesozoico
5. O terceiro planalto ou o planalto do *trapp* do Paraná
 - a. Os blocos planálticos de Cambará e São Jerônimo da Serra
 - b. O bloco do planalto de Apucarana
 - c. O bloco do planalto de Campo Mourão
 - d. O bloco do planalto de Guarapuava
 - e. O declive do planalto de Palmas

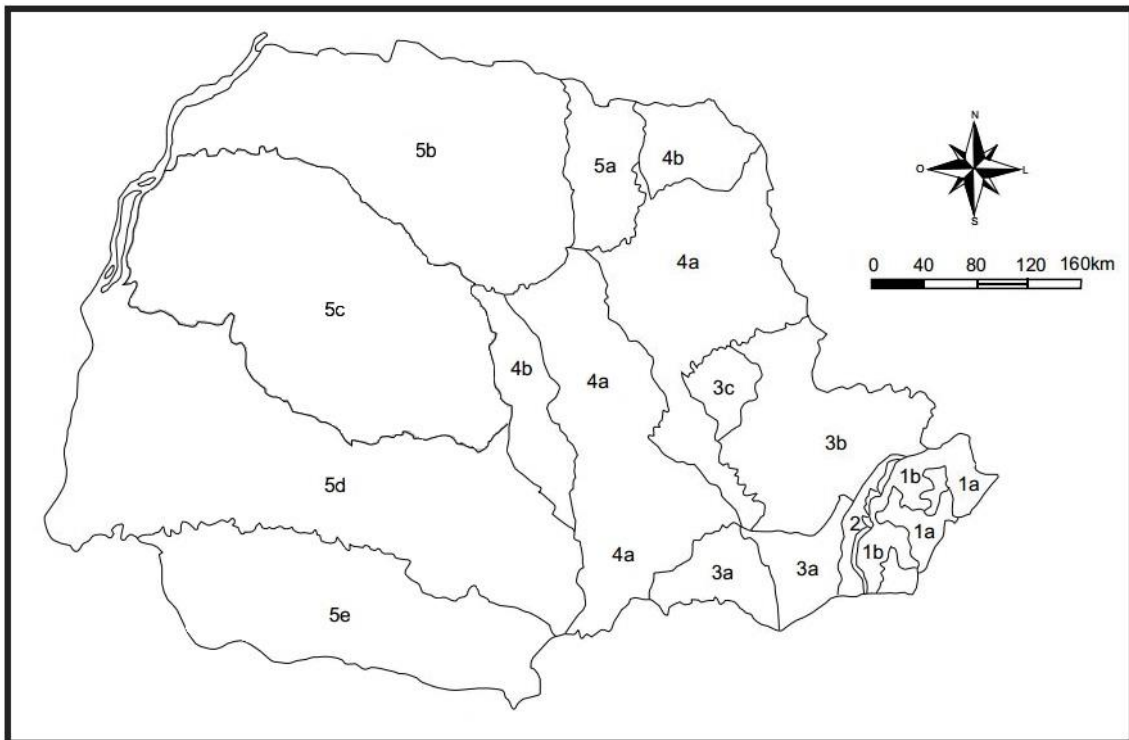


Figura 19: Regiões geográficas naturais do Paraná segundo Reinhard Maack. IAP 2003 (modificada).

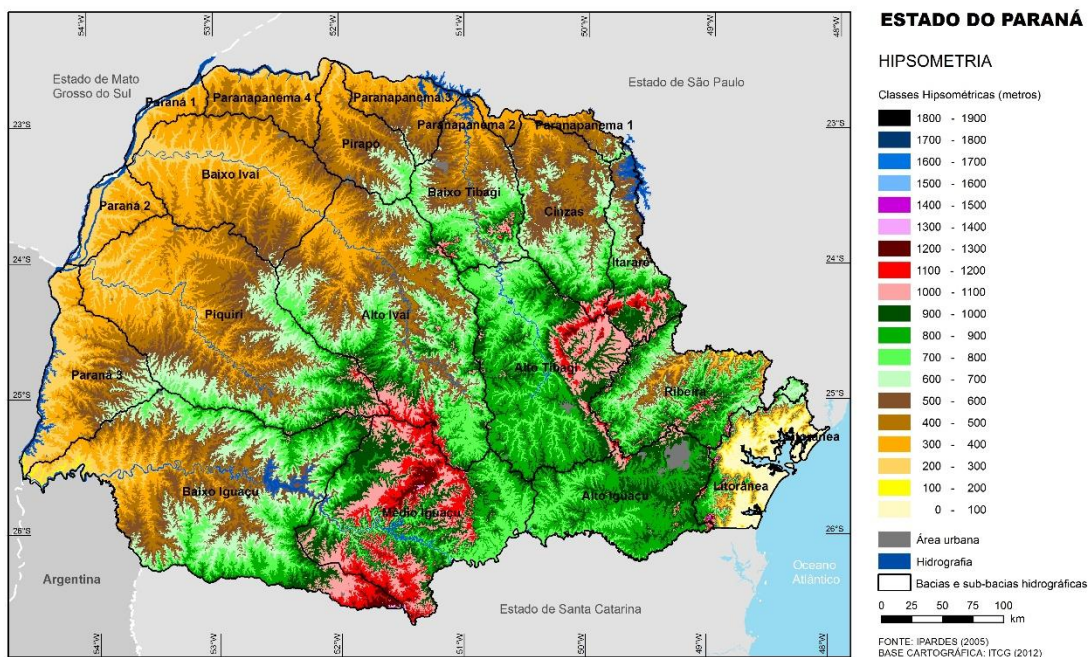


Figura 20: Hipsometria do Paraná. IPARDES 2011.

O Paraná apresenta uma predominância de planaltos e escarpas (ou *cuesta*³³) de estratos, com uma declividade suave na direção noroeste e oeste, enquanto que a leste é abrupto devido às linhas estruturais geológicas, formando uma grande escarpa de falhas do complexo cristalino. Esta marca a divisão entre a zona litorânea e os planaltos interiores, apresentando as planícies litorâneas (1a) e a zona montanhosa litorânea (1b).

O primeiro planalto, mais a leste, apresenta uma formação sedimentar paleozoico de arenitos do devoniano. Limitado pela serra do Mar a leste, apresenta ao sul uma região plana e de suaves ondulações (3a) onde se encontra a capital Curitiba; ao norte um recorte de elevações acompanhando o divisor de águas Iguaçu-Ribeira (3b), com forte talhado do leito do rio Açungui; a região do planalto entre os municípios de Pirai do Sul e Castro, as mais elevadas dessa zona, apresentam maior resistência, delimitadas pelo maior divisor de águas entre a bacia do Paraná e o Atlântico (3c).

O segundo planalto ou planalto dos Campos Gerais, predominantemente de sedimentos paleozoicos, é separado a leste pelo primeiro degrau de escarpa ou escarpa devoniana, composta de arenito. Apresenta uma paisagem majoritariamente uniforme, suavemente ondulada, composta de sedimentos do devoniano, carbonífero e do permiano (4a). No entanto, próximo a porção norte da serra da Boa Esperança e ao município de Prudentópolis, aparecem mesetas das camadas gonduânicas no encontro do segundo com o terceiro planalto, assim como restos de sedimentos triássicos, diques e capas de rochas eruptivas básicas do vulcanismo (4b).

O terceiro planalto, delimitado a leste pela serra da Boa Esperança, também chamada de escarpa “triássico-jurássica”, se encontra dividido em diversos blocos delineados pelos grandes rios ali existentes (Paraná, Iguaçu, Ivaí, Piquiri, Paranapanema e Tibagi). A parte mais a noroeste, próximo a Cambará, apresenta uma área de planalto retalhado por rios (5a); a região setentrional do *trapp*³⁴ do Paraná recebe o nome de planalto de Apucarana (5b); a média se encontra entre os rios Ivaí e Piquiri, chamada de bloco planáltico de Campo Mourão (5c); a meridional entre os rios Piquiri e Iguaçu. O divisor de águas do declive entre a região do Iguaçu e o Uruguai é chamada de 5e.

³³ As *cuestas* ou homoclinal são o afloramento de flancos de dobra, que apresentam um lado escarpado e o outro em declive suave. GUERRA & CUNHA 2011.

³⁴ Grande derrame de lavas básicas causado por intensa atividade vulcânica. GUERRA & CUNHA 2011.

7.1.2. Classificação Climática

MAACK (2012) afirma que as zonas climáticas do Paraná são determinadas por um conjunto de fatores. Em relação a latitude, o estado se encontra majoritariamente na zona subtropical, com uma pequena porção tropical ao norte do trópico de Capricórnio. Entretanto, os perfis N-S e L-O cortam desde regiões tropicais úmidas até temperadas com geadas, sofrendo grande influência da variação da altitude. Assim, este autor elencou quatro fatores principais para a determinação climática da região, sendo estes:

1. A oscilação ou migração das massas de ar de baixa pressão da Zona Atlântica Equatorial e Tropical para a região sul, decorrentes da posição do sol durante o verão;
2. A orientação dos anticiclones do Atlântico Sul da Zona Polar para as regiões norte durante o inverno permite a infiltração de massas de ar frio de frente polar;
3. Os ventos alísios de SE, que, com a variação de sua intensidade durante o ano, influenciam nos limites máximos de influência das massas de ar de baixa pressão e da frente polar, assim como das chuvas orográficas na região da serra do Mar;
4. A corrente marítima quente do Brasil, expandindo a abrangência do clima tropical quente e úmido para baixo dos 26° de latitude sul, assim como o aumento da estabilidade da temperatura decorrente da saturação da umidade do ar, com a maritimidade influenciando toda a parte leste do estado.

A partir dos dados meteorológicos existentes, e compondo um mapeamento a partir de outras classificações, o Estado do Paraná foi dividido por MAACK (2012) de acordo com o sistema de Köppen, mas com maior completude. Este sistema utiliza as seguintes siglas:

- A – Clima chuvoso tropical;
- C – Clima chuvoso temperado quente;
 - a – Temperatura do mês mais quente $> 22^{\circ}$;
 - b - Temperatura do mês mais quente $< 22^{\circ}$;
 - f – sempre úmido com chuva o suficiente em todos os meses (>1000 mm anuais) e mês mais seco com no mínimo 60 mm de chuva;
 - h – Clima tropical original modificado pela altitude;

- t – Clima transitório entre dois tipos de clima;
- w – período mais seco no inverno; o mês mais chuvoso tem 10 vezes mais precipitação que o mês mais seco.

Assim, foram identificados quatro tipos climáticos predominantes no Paraná, diferenciados pela localização do Estado, pelas temperaturas, e os ciclos de chuva, exemplificados pela Figura 20:

- 1Af (t): Zona tropical marginal; mata pluvial e faixas de mangrove (manguezais); culturas tropicais; sem geadas noturnas;
- 7-CFa (h) e periodicamente 5-Cwa: Zona tropical marginal; andar subtropical de planaltos tropicais; mata pluvial; região em alguns anos periodicamente secos no inverno (clima de savanas tropicais); culturas tropicais; raras geadas noturnas (2 a 3 em 10 anos);
- 7-Cfa: Zona subtropical úmida; mata pluvial e mata de araucária acima de 500m; geadas noturnas periodicamente (0 a 3 anuais);
- 7-Cfb: Zona temperada sempre úmida; mais de 5 geadas noturnas anualmente.

No litoral, predomina o clima tropical super-úmido Af (t), sem estação seca. A Serra do Mar desempenha um importante papel na formação das condições climáticas, interpondo-se como uma barreira para o deslocamento das massas de ar de origem atlântica. Ao encontrar o anteparo formando por aquela escarpa, as massas de ar úmidas provenientes do oceano elevam-se, resfriam-se e condensam-se originando intensas e frequentes precipitações pluviométricas sobre sua vertente oriental. Nas regiões norte, oeste e sudoeste predomina o clima subtropical úmido mesotérmico Cfa, com verões quentes, sem estação seca, com poucas geadas. Na região noroeste predomina o clima Cfa (h) com invernos secos. Na região de Curitiba, nos campos gerais e sul, ocorre o clima Cfb com verões brandos, sem estações secas e ocorrem geadas severas.

As figuras 21 a 25 apresentam de forma detalhada as informações sobre as temperaturas médias anuais, temperaturas médias trimestrais, precipitações médias anuais e precipitações médias trimestrais para o Estado do Paraná, provenientes do Atlas do potencial eólico do Paraná (COPEL, 2007).

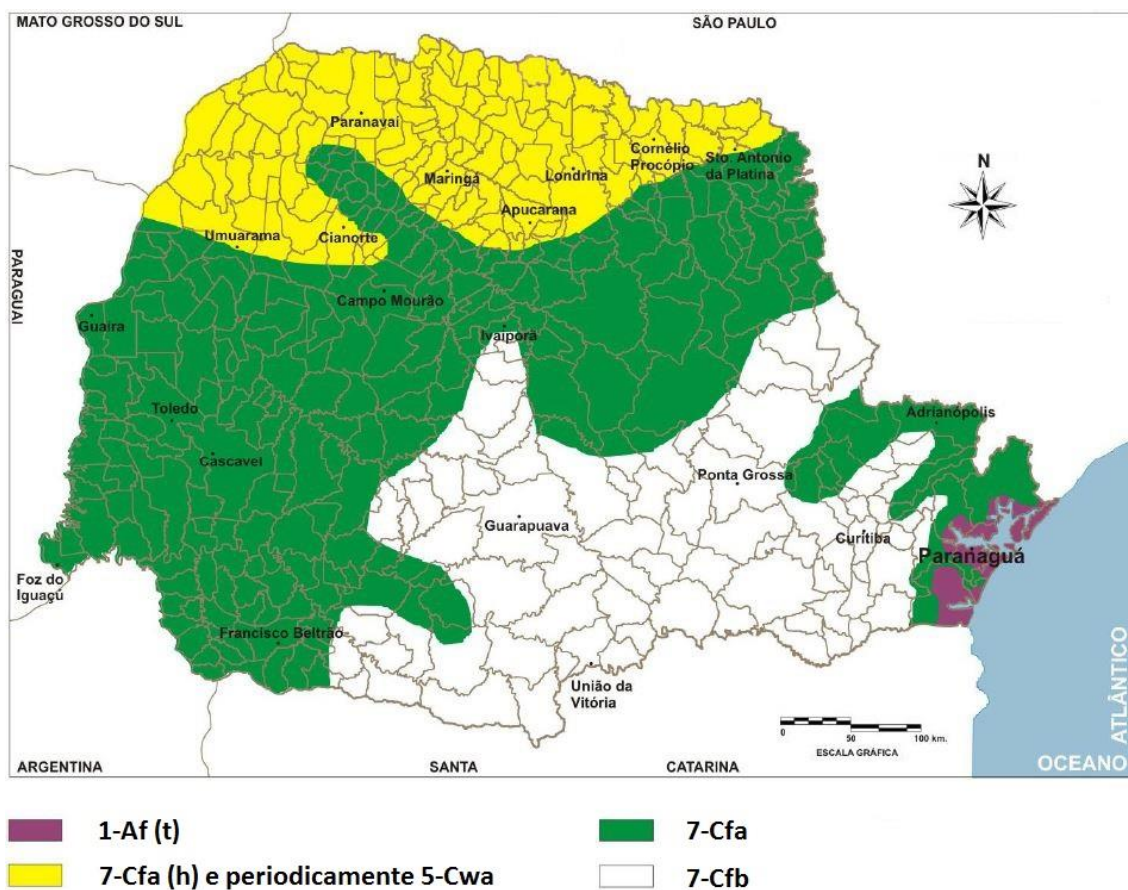


Figura 21: Divisões climáticas do Paraná segundo o sistema de Köppen, completados por Reinhard Maack. PORECATU, 2006 (modificada).

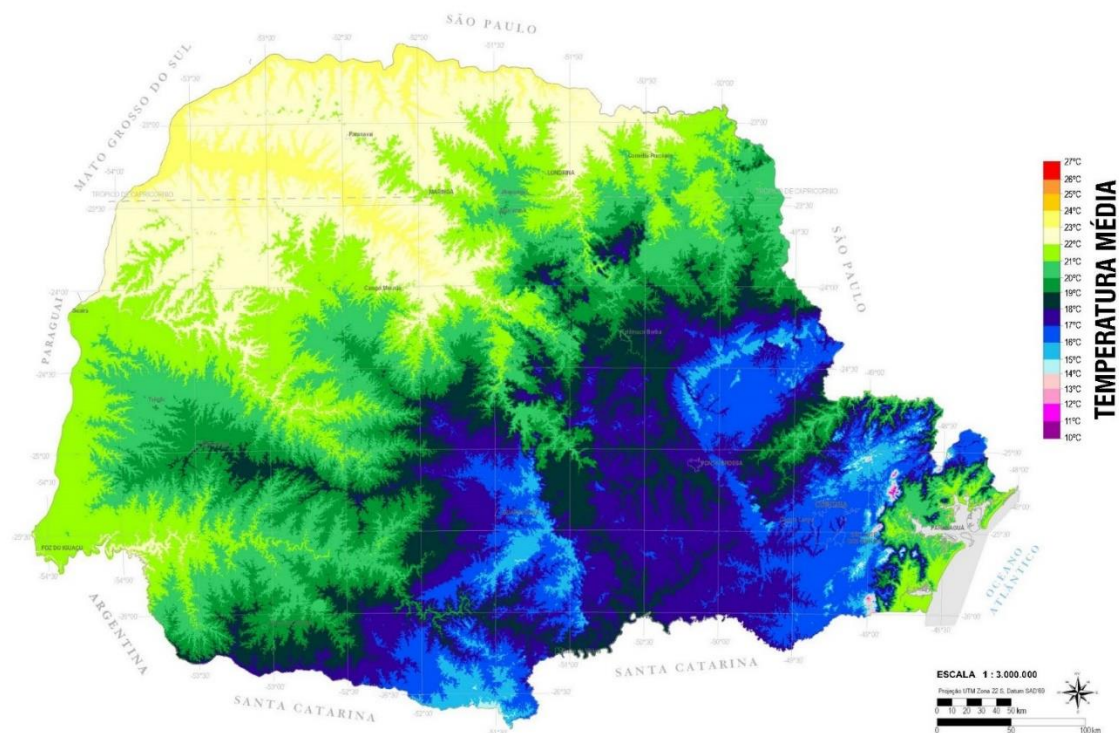


Figura 22: Temperatura média anual do Paraná. COPEL, 2007 (modificada).

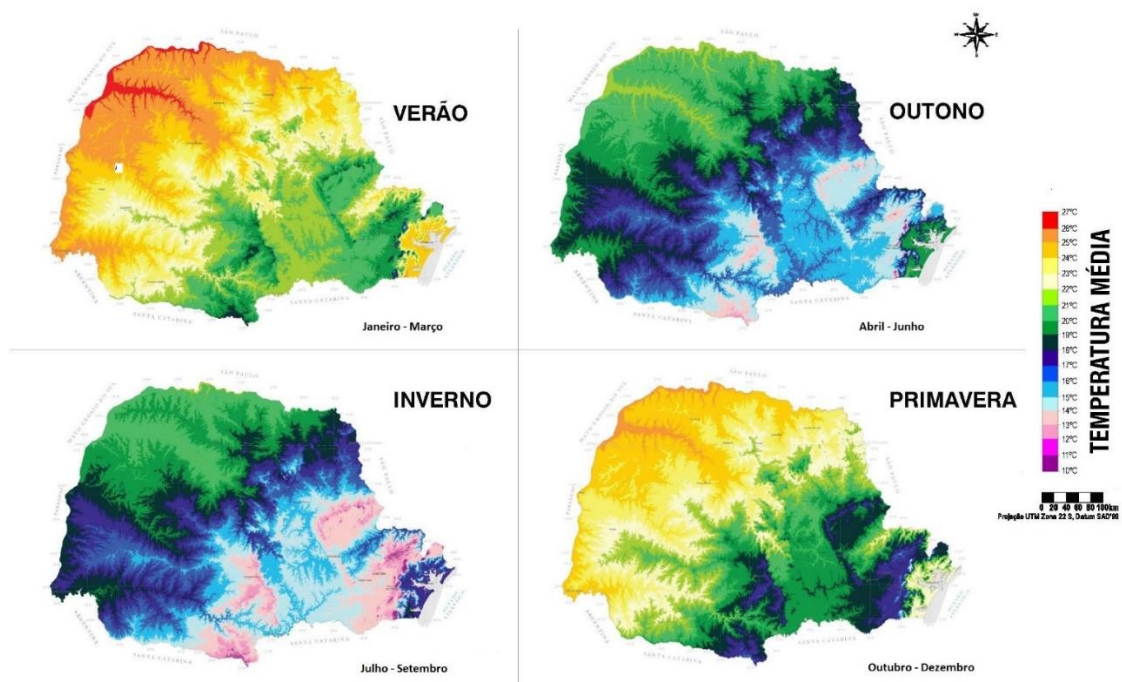


Figura 23: Temperatura trimestral média do Paraná. COPEL, 2007 (modificada).

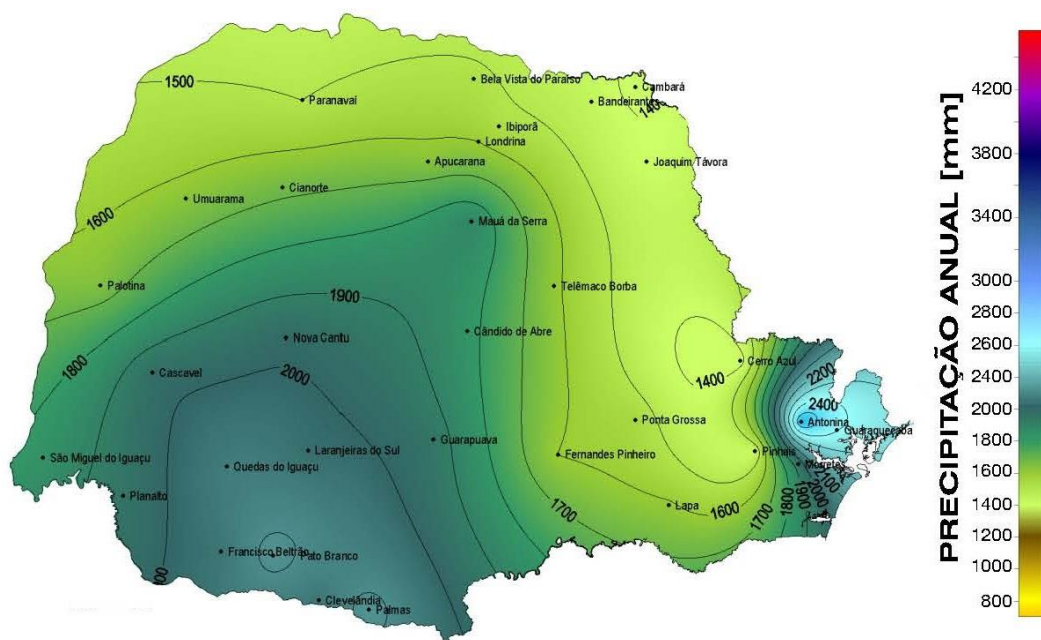


Figura 24: Precipitação anual média do Paraná. COPEL, 2007 (modificada).

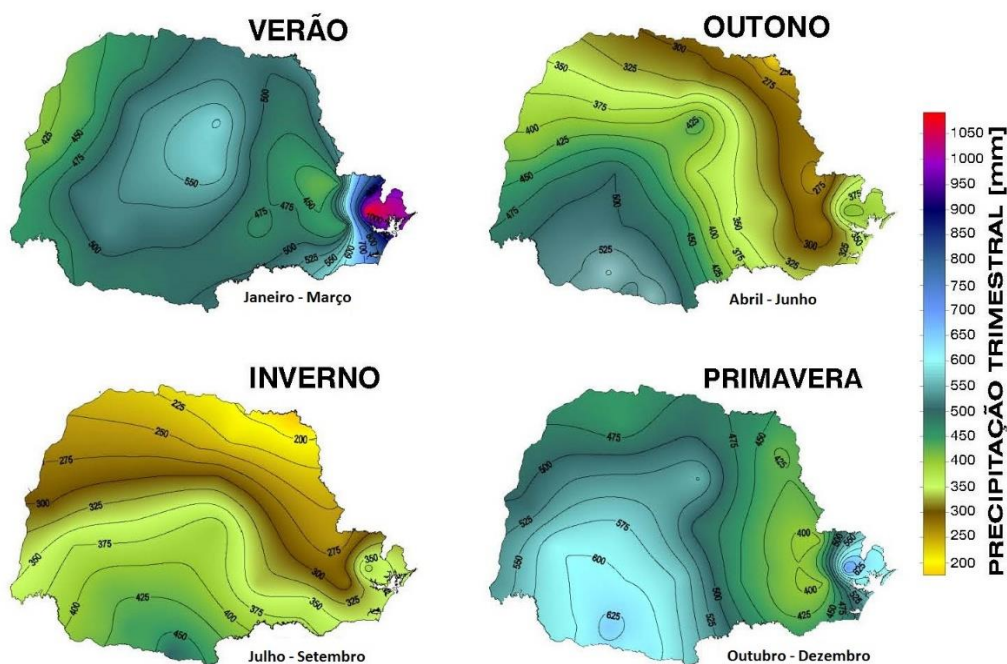


Figura 25: Precipitação trimestral média do Paraná. COPEL, 2007 (modificada).

7.1.3. Sistema Hidrogeográfico

A Região Hidrográfica do estado Paraná é constituída por dois sistemas principais, separados majoritariamente pela serra do Mar. O maior, com 186.321 km², corre para o interior do continente e deságua no sistema do rio Paraná, geologicamente mais antigo, e o menor, com 14.674 km², desagua no Oceano Atlântico pelo Vale do Ribeira (MAACK, 2012). Fisicamente, este é dividido em 16 Bacias Hidrográficas. Dentre os rios mais importantes do estado podemos citar: o rio Paraná, com 4.695 km desde sua nascente no rio Paraíba até a barra do rio da Prata; o rio Paranapanema e seus afluentes, rio Tibagi, das Cinzas, Laranjinhas, Pirapó e Bandeirantes que abrangem 55.530 km² do território; o rio Ivaí, com percurso de 685 km; o rio Piquiri, com 485 km; rio Iguaçu, com cerca de 910 km; o rio Ribeira e seus afluentes; o rio Pardo e o Capivari.

A Resolução 49/06 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Paraná agrupou suas bacias hidrográficas em 12 Unidades Hidrográficas, como podemos ver na Figura 26. Até o momento, foram implementados 11 comitês de bacia no estado, identificados na Tabela 20 em conjunto com seus instrumentos de criação, população residente e quantidade de municípios que a compõe. A coluna “Cód” da tabela associa a quais unidades hidrográficas (Figura 26) o comitê descrito apresenta correlação.

Tabela 20: Comitês de Bacia implementados no Estado do Paraná. CBH 2015 (adaptada).

Cód.	Comitê	Instr. de Criação	Data Criação	Área Aprox.	Pop.	Nº Mun.
2	CBH do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira - PR1	Dec. 5.878	13/12/2005	20.000	3.547.000	36
5 e 4	CBH do Rio Tibagi - PR2	Dec. 5.361	13/06/2002	24.900	1.549.000	46
11 ³⁵	CBH do Rio Jordão - PR3	Dec. 5.790	13/06/2002	5.000	203.000	7
10	CBH Paraná III - PR4	Dec. 2.924	05/05/2004	8.000	728.000	26
6	CBH dos Rios Pirapó, Paranapanema 3 e 4 - PR5	Dec. 2.245	03/03/2008	12.800	848.000	58
3	CBH Norte Pioneiro - PR6	Dec. 5.427	22/09/2009	16.400	507.000	42
8	CBH do Baixo Ivaí e Paraná I - PR7	Dec. 3.048	19/10/2011	14.600	594.000	53
1	CBH Litorânea - PR8	Dec. 5.759	30/08/2012	5.600	265.000	11
7	CBH do Alto Ivaí - PR9	Dec. 8.859	04/09/2013	23.200	652.000	54
12	CBH Baixo Iguaçu - PR10	Dec. 8.923	10/09/2013	26.600	771.000	74
9	CBH dos Rios Piquiri e Paraná II - PR11	Dec. 8.924	10/09/2013	26.400	580.000	69

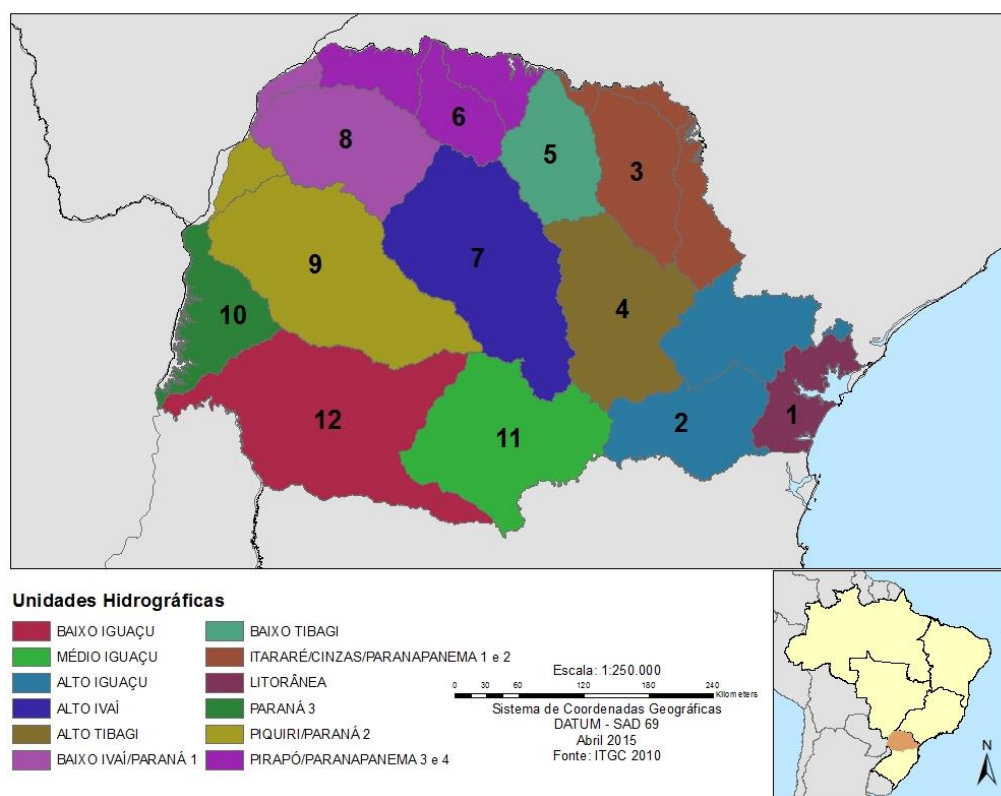


Figura 26: Unidades Hidrográficas do Paraná.

³⁵ A PR3, o CBH do Rio Jordão somente atua na porção norte da unidade hidrográfica do Médio Iguaçu. A maior parte desta unidade não apresenta ainda um comitê de bacia.

7.1.4. Cobertura vegetal do Paraná

O estado do Paraná apresenta uma vegetação variada que incluem matas, campos limpos, cerrados, orlas de mangues e restingas. No quaternário antigo, (início do pleistoceno) os campos limpos e cerrados (plantas C4) revestiam grande parte de seu território como as fitofisionomias padrão de um clima alternante entre o semiárido e o semiúmido com baixas temperaturas e períodos acentuados de seca (BEHLING *et al.*, 1998, 2005, 2007a, 2007b; VIDOTTO, 2007; PASSEDA *et al.*, 2004, 2010; LEONHARDT & LORSCHUITTER, 2010; JESKE-PIERUSCHKA, 2011; MAACK, 2012). Nesta época, passaram a acontecer as variações climáticas do pleistoceno, possivelmente atreladas com o período interglacial de Riss-Wuerm e a glaciação Wuerm, com quatro períodos semiáridos interrompidos por três úmidos. É possível associar as épocas semiáridas e estépicas secas com períodos de glaciação, e as épocas semiúmidas com chuvas bem distribuídas com os períodos interglaciais. Com o aumento da precipitação no quaternário recente (em torno de 3000 AP³⁶), as florestas (plantas C3), com notável expansão a partir das áreas de declives de escarpas e dos vales de rios (em especial da mata de araucária após 1000 AP), passaram a sobrepujar o domínio dos campos, os quais se mantiveram estáveis em áreas mais secas. BEHLING & PILLAR (2007), OLIVEIRA (2007) e MAACK (2012) afirmam que a intervenção humana impediu o avanço das matas por meio das queimas regulares de limpeza dos campos (feitas desde a ocupação humana por ameríndios a partir de 7400 AP), pastagem e uso de madeira. Assim, pode-se dizer que as matas são uma formação secundária mais recente, e os campos naturais não são derivados do desmatamento, mas sim fitofisionomias remanescentes de outras condições climáticas.

MAACK (2012) realizou uma reconstrução da cobertura vegetal do estado do Paraná para as condições climáticas atuais (Figura 27), e chegou aos seguintes valores aproximados³⁷ das fitofisionomias existentes:

- Mata pluvial tropical-subtropical – 94.044 km²;

³⁶ AP (Antes do Presente), o mesmo que BP (*Before Present*), remete a contagem anterior à data de referência de 1950, ano de descoberta de datação com rádio carbono. IPCC, 2013.

³⁷ O total para a superfície do estado do Paraná aqui é de 201.203 km², ligeiramente diferente do revisto pelo mesmo autor no livro de 2012.

- Mata de araucária nos planaltos e na região da mata subtropical acima de 500 m – 73.780 km²;
- Campos limpos e campos cerrados (estepes de gramíneas baixas e arbustivas) – 30.532 km²;
- Vegetação das várzeas e pântanos – 1.761 km²;
- Vegetação das praias, ilhas, restinga e vegetação das regiões altas da serra – 529 km²;
- Áreas das baías com faixas de mangue – 557 km².

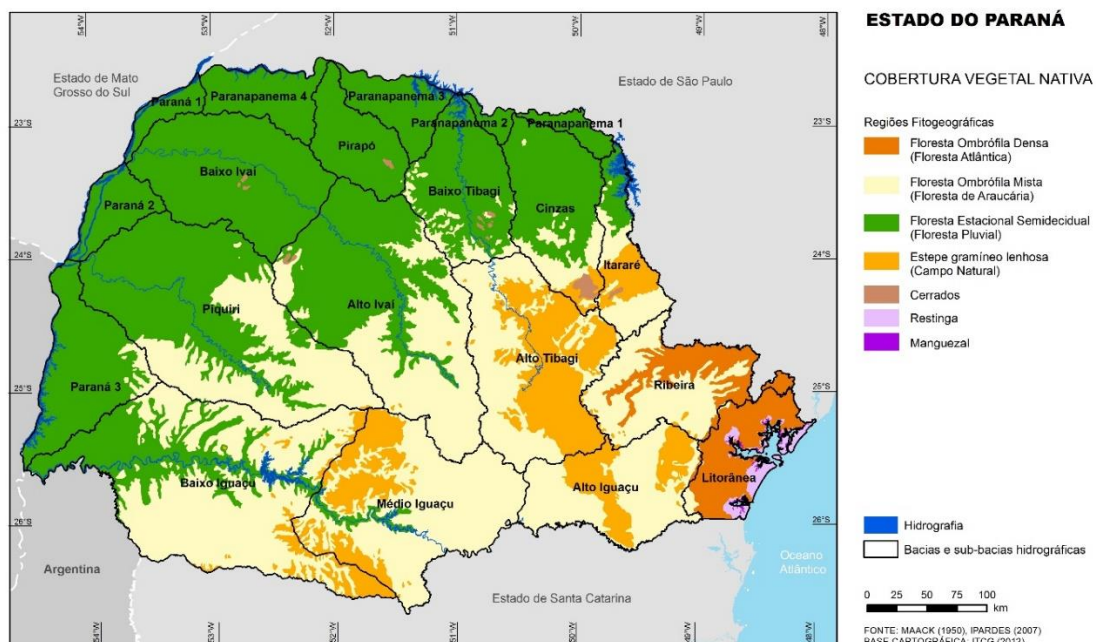


Figura 27: Reconstrução da cobertura vegetal do estado do Paraná segundo Maack (1950). Retirado de IPARDES (2012)

7.2. Histórico de ocupação e remanescentes atuais

A ocupação do estado do Paraná se deu por diferentes ciclos econômicos e foi descrita por diversos autores (GALINDO-LEAL & CÂMARA, 2005; CAMPANILI & PROCHNOW, 2006; SONDA & TRAUZYNSKI, 2010; MAACK, 2012), os quais servem de embasamento para os parágrafos a seguir.

O primeiro momento foi iniciado pelo litoral, com o aproveitamento das condições portuárias naturais da área de Paranaguá (1648), o que proporcionou a descoberta das jazidas auríferas no primeiro planalto, impulsionando a ocupação das Cabeceiras do Alto

Iguaçu e seus afluentes. Assim, esta colonização seguiu em direção ao oeste, impulsionado pelo ciclo da mineração de ouro pelo leito dos rios da região nos séculos XVII e XVIII. Estes rios também foram importantes para duas situações: fomentaram o transporte e escoamento da produção e suas planícies férteis serviram como as primeiras áreas agricultáveis.

Paralelamente ao aumento da população, ocorreu a intensa extração de madeira, fazendo com que as áreas de planície próximas aos grandes rios e o início das encostas fossem as mais degradadas. Aliado a isso, na metade do Séc. XIX, se iniciou o ciclo da erva mate, propiciando a destruição das formações florestais. Em torno em 1820 ocorreram dificuldades na comunicação entre Buenos Aires e o Paraguai. A região platina, grande consumidora de erva-mate, passou então a ser abastecida pela erva-mate paranaense (chamada de congonha), podendo ter representado 85% da economia paranaense. O movimento de ocupação acompanhou a calha do rio Iguaçu pelo segundo planalto, intensificado pela construção da ferrovia Curitiba-Paranaguá, terminada em 1885, ligando a região ao porto de exportação. Esta atividade pode ser considerada como o início do desmatamento da floresta ombrófila mista.

O segundo momento correspondeu à ocupação do território ocidental orientada pela política da implantação de colônias de imigrantes europeus principalmente no Primeiro e no Segundo Planalto, marcada pela fundação de um núcleo de imigrantes alemães às margens do Rio Negro, pelo Barão de Antonina em 1829. O solo arenoso da planície litorânea não é apto à agricultura, e com a facilidade na transposição da Serra do Mar, com a construção da estrada da Graciosa (1873) e a estrada de ferro (1885) e da iniciou-se a exploração madeireira, culminando com a intensa atividade agropecuária e mais tarde com o reflorestamento de exóticas, passando por diferentes ciclos econômicos. O estabelecimento desta situação foi coincidente com os primórdios do ciclo da madeira, com a extração de araucária, imbuia, cedro e canelas, e as regiões de solos mais férteis e planas foram intensamente degradadas, as quais abrigavam as florestas mais exuberantes e de maior diversidade. Por volta de 1900, todo o planalto de Curitiba já se encontrava devastado.

Outra origem do desmatamento pode ser atrelada ao sistema de produção primitivo utilizado na agricultura. Os caboclos, ocupantes do interior do Paraná, dedicavam-se à criação de animais (suínos, muars, equinos, bovinos) no interior da floresta, sem terras tituladas, os quais necessitavam de lavouras anuais para alimentação. Era prática comum

o desmate, seguido da queima dos resíduos, com posterior abandono da área com o esgotamento da fertilidade natural, permitindo a regeneração da floresta. Os colonos, por outro lado, usavam o sistema de rotação da terra, em glebas de 10 a 20 alqueires, e com o alastramento da colonização, novas áreas de floresta eram derrubadas, sendo substituídas por culturas anuais.

A partir da Primeira Guerra Mundial (1914-1918), consolidou-se o mercado da araucária, tanto interno como externo, com exportações para Buenos Aires, impulsionado também pela chegada dos trilhos da Estrada de Ferro São Paulo-Rio Grande à União da Vitória em 1910, com o extrativismo abrindo o sul paranaense. A exportação deste bem ultrapassou a já declinante erva-mate, e a partir de 1930, com a entrada dos caminhões, a indústria madeireira foi espalhada pelo interior do estado, antes instalada próxima às margens das ferrovias.

Pouco tempo depois, o ciclo do café irrompeu nas terras de solo basáltico, nas regiões do Norte paranaense (3º Planalto) auxiliado pela Ferrovia dos Ingleses (São Paulo-Rio Grande), com a frente cafeeira avançando desde SP até o Rio Tibagi. A combinação das excelentes condições do solo com o sucesso dos empreendimentos colonizadores no Norte do Estado (principalmente a empresa *Paraná Plantations*), os quais levaram a criação de cidades planejada com uma infraestrutura básica de estradas e assistência ao produtor, impulsionou a ocupação territorial desta região pouco explorada por aproximadamente 40 anos (1920-1960). A destruição das matas pluviais no norte e oeste do Paraná e sua substituição por cafezais, sem deixar reservas de matas ou florestas de proteção das nascentes, causou a irregularidade de chuvas na região (aumento do coeficiente de variação das precipitações), já identificados por MAACK (2012) e com previsões de secas, enchentes, assoreamento de rios e poluição das águas.

Da região mais ao sul se iniciou uma outra frente colonizadora, com a recebendo migrantes do Norte do Paraná (excedentes das lavouras de café) e, principalmente, de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. Entre 1940 e 1950, a estrutura de propriedade da terra, baseada em sucessão familiar, gerou um excedente de mão de obra no Rio Grande do Sul com a redução do tamanho das unidades produtivas. A população gaúcha que migrou para o Sudoeste e Oeste Paranaense foi a principal responsável pelas transformações demográficas, econômicas, culturais e sociais ocorridas na região, com padrões de produção de uma economia de subsistência dos habitantes de origem italiana e alemã, intensificado pelo isolamento por falta de ligação viária. Nesta região se iniciou

o ciclo do binômio porco/milho (produção de milho e da criação de suínos), concomitante com o auge do ciclo da madeira (entre 1937-1950), este atrelado ao avanço da cultura cafeeira, e a consolidação da modernização agrícola nos países então chamados subdesenvolvidos e início da fase de industrialização da agricultura no pós-guerra. Uma catástrofe ambiental digna de nota foi o incêndio de 1963, que consumiu grande parte da floresta nativa remanescente, cerca de 964.900 ha.

Com a modernização do setor primário e a diversificação das culturas na região, estes ciclos foram substituídos pelo predomínio do ciclo econômico da soja, inicialmente conjugado com o trigo e posteriormente de caráter monocultural exportador por todo o território paranaense.

Para MAACK (2012), a perda da área de mata nativa original, de 167.824 km² foi de 119.688 km² de até 1965, sendo 79.888 km² destruídos nos últimos 30 anos. SONDA & TRAUCZYNSKI (2010), com base nos dados de MAACK, determinou os percentuais estimados da cobertura de florestas nativas a partir de 1890, com aproximadamente 80%, seguido dos de 1930 (77%), 1937 (70%), 1950 (48%), 1955 (41%), 1960 (33%), 1965 (29%). GUBERT (1988 *apud* SONDA & TRAUCZYNSKI, 2010) complementa estes valores para o ano de 1980 (11,9%) e 1990 (5,20%).

Segundo SOSMA (2014), o Paraná apresenta uma cobertura de vegetação natural em 2013 de 2.550.639 ha (aproximadamente 13% do estado), já descontados os 2.221 ha desmatados (0,09%) no ano anterior. Mais especificamente sobre a vegetação de florestas naturais (matas primárias ou secundárias em avançado estágio de regeneração), seus remanescentes ocupam 2.310.110 ha, e a Tabela 21 apresenta o decremento observado nos últimos 30 anos. A Figura 28 identifica os remanescentes considerados pelo IBGE (2014), além de ressaltar os municípios que incorporam os dois maiores parques do estado.

O desenrolar do processo de colonização do estado marcou fortemente o desenvolvimento dos objetivos das UCs existentes atualmente. Durante este período, os títulos de terras exigiam que 25% dos imóveis permanecessem como reserva, apesar disto nunca ter sido cumprido à risca. Ainda assim, na demarcação das glebas destinadas à colonização, reservavam-se áreas com diferentes finalidades, incluindo a pesquisa agrônômica, viveiro de produção de mudas, horto florestal, ocupação por terceiros, entre outras. O que remanesceu dessas áreas foi a origem de algumas das atuais UCs do Paraná.

Tabela 21: Decremento histórico das matas do Paraná. SOSMA 2014.

Período	Decremento (ha)	Decremento anual (ha)
2012 a 2013	2.126	2.126
2011 a 2012	2.011	2.011
2010 a 2011	1.339	1.339
2008 a 2010	3.248	1.624
2005 a 2008	9.978	1.996
2000 a 2005	28.238	5.648
1995 a 2000	177.816	35.563
1990 a 1995	84.609	16.922
1985 a 1990	14.424	28.848

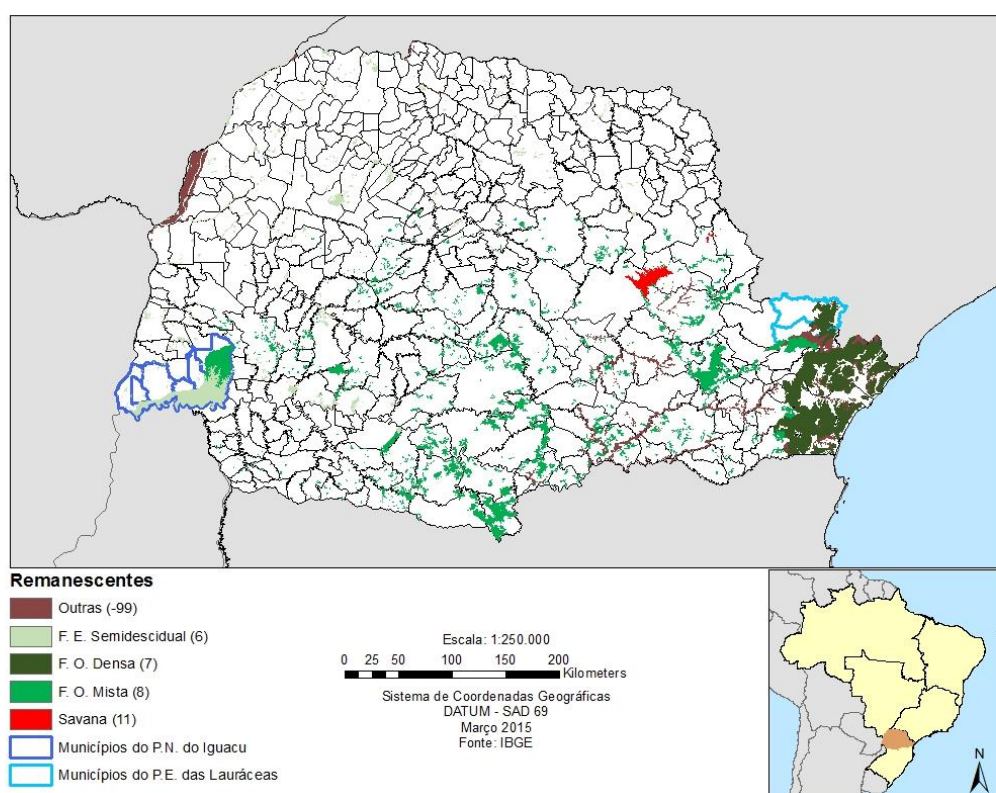


Figura 28: Remanescentes vegetais do Paraná e municípios abrangentes de seus dois maiores parques.

Em 1977 foi criado o Departamento de Parques e Reservas no Instituto de Terras e Cartografia e tinha por finalidade administrar os Parques e Reservas do Estado do Paraná, com o objetivo de proteger estas áreas de especulação e as reservar para a conservação da biodiversidade. Em um primeiro momento, buscou-se a instituição de um sistema para recategorizar estas áreas e contemplar todas as escorregões existentes no Estado do Paraná. Em seguida, foram planejadas outras UCs com critérios mais claros quanto ao tipo de manejo em que as mesmas devem ser incluídas, considerando também quais os atributos naturais, históricos e culturais presentes que necessitem ser resguardados, ainda que quase exclusivamente nestes remanescentes coloniais. (PARANÁ 2009b).

Segundo o Instituto Ambiental do Paraná (IAP 2015), existem no Estado 68 unidades de conservação estaduais, que somam 1.205.632,0862 hectares de áreas conservadas, das quais 45 são unidades de conservação de Proteção Integral e 23 unidades de conservação de Uso Sustentável. Existem também 244 RPPN cadastradas, perfazendo um total de 52.463,7150 hectares de área conservada, distribuídas por 98 municípios. Também merecem destaque as Reservas Legais das propriedades rurais, as quais constam de no mínimo 20% da área total. A denominação de reserva legal veio a partir da Lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989, que introduziu, também, a exigência de averbação ou registro da reserva legal à margem da inscrição da matrícula do imóvel, sendo vedada “*a alteração de sua destinação, nos casos de transmissão, a qualquer título, ou desmembramento da área*”. Esta deve estar localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, que não seja a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas.

Como resultado do processo involutivo das florestas, outro passivo ambiental foi consolidado. A erosão no estado do Paraná passou a afetar intensamente os recursos hídricos, exigindo esforços no tocante a sua recuperação e proteção. Não obstante, os remanescentes florestais do Paraná, mesmo as UCs, apresentam uma reduzida extensão territorial e encontram-se isoladas, o que gera problemas para a manutenção da variabilidade natural das espécies, da diversidade genética, dos ecossistemas e dos processos naturais (PARANÁ 2009B). Como exemplo de remanescentes naturais das épocas de colonização foram escolhidas as duas maiores UCs do estado: o Parque Nacional do Iguaçu e o Parque Estadual das Lauráceas.

O Parque Nacional do Iguaçu possui 185.262,5 ha. Seu nome é derivado do rio que o atravessa e das mundialmente conhecidas Cataratas do Iguaçu. A palavra iguaçu é de origem guarani e significa água (i) grande (guaçu). O Parque resistiu ao desbravamento da região para abertura de fronteiras agropecuárias e à exploração de madeira, sendo a única grande mancha de vegetação remanescente na porção continental do estado. Ele se encontra totalmente no bioma Mata Atlântica, com suas formações florestais diferindo com as características de altitude, solos e clima. A parte mais baixa do parque (200m), ao sul, é coberta por Floresta Estacional Semidecidual, cujas árvores perdem folhas no inverno. Ao Norte ocorre a Floresta Ombrófila Mista com araucária, onde as altitudes alcançam mais de 600m. Ao longo dos rios que cortam o Parque, formam-se florestas

mais baixas, com 8 a 15m de altura, com uma menor riqueza de espécies e árvores adaptadas a enchentes periódicas. Além das áreas com florestas, existem locais sujeitos à inundação por longos períodos, como lagos formados por nascentes de rios e banhados, onde predominam capins, arbustos e árvores baixas, as Formações Pioneiras de Influência Fluvial. (IBAMA 1999; IAP 2015).

O Parque Estadual das Lauráceas (PEL) é o maior entre os 22 parques estaduais do Paraná, com aproximadamente 27.524 ha. Seu nome foi motivado pela grande ocorrência de exemplares da família botânica “Lauraceae” (canelas em geral) na área onde se encontra a Unidade. O Estado do Paraná havia transferido uma área de terras de 44.057 ha, nos municípios de Bocaiúva do Sul e Adrianópolis, para um processo colonizatório. Devido ao relevo montanhoso e às dificuldades de acesso à gleba a colonizar, a empreitada foi um fracasso, principalmente na região norte da gleba, onde hoje encontra-se o PEL. Está totalmente inserido no bioma Mata Atlântica e apresenta uma composição fitofisionômica de 5,47% de Contato entre Floresta Ombrófila densa e Floresta Ombrófila Mista e 94,53% de Floresta Ombrófila Densa. Encontra-se no 1º Planalto Paranaense, com relevo montanhoso e vales profundos (cotas altimétricas entre 100 m e 1.226 m). Predomina o clima Cfb: subtropical úmido mesotérmico, com ocorrência de geadas severas e frequentes, sem estação seca definida. Sua temperatura média anual varia entre 17°C e 18°C, com uma pluviosidade de 1400 a 1500 mm/ano e umidade relativa elevada (80% a 85%). (PARANÁ 2002b; IAP 2015).

Outra UC que apresenta destaque no contexto deste trabalho é o Parque Estadual do Cerrado, uma vez que é o único remanescente de Cerrado do Paraná legalmente protegido como UC e um dos poucos fragmentos deste tipo de formação vegetal no sul do Brasil. CARMO (2006) afirma que há um consenso pelos pesquisadores brasileiros que extensas áreas de cerrado estão sendo perdidas sem um conhecimento detalhado dos aspectos florísticos e fitossociológicos, especialmente no Paraná, já que as áreas de cerrado são de dimensões restritas e muitas destas completamente descaracterizadas ou antrópicas. A área do parque fazia parte de patrimônio particular, e grande parte do cerrado da região do entorno já havia sido desmatada para dar lugar às pastagens e lavoura. Este parque, como seu nome mesmo diz, está localizado em área de vegetação clássica de Cerrado, com suas distintas fitofisionomias em apenas 420,40 ha. Contudo, outras fisionomias também acompanham essa tipologia vegetacional, formando uma composição interessante de distintas associações e ambientes de grande relevância

conservacionista, praticamente única no Brasil. No Parque Estadual do Cerrado pode-se exclusivamente evidenciar a presença de cerrado ladeado de floresta de galeria com ocorrência de *Araucaria angustifolia*. (PARANÁ 2002c)

7.3. Legislação sobre mudança do clima e integração com instrumentos de gestão do Paraná

Buscou-se realizar aqui uma ampla pesquisa sobre a real penetração de considerações sobre as Mudanças Climáticas na governança estado do Paraná. O principal marco legislativo é de 25 de abril de 2012, a lei nº 17.133 que instituiu a Política Estadual de Mudança do Clima. Ela tem como objetivos incentivar e implementar ações de controle e redução progressiva das emissões antrópicas por fontes e setores e a remoção por sumidouros; incentivar, implementar e monitorar políticas públicas para desenvolvimento de processos técnicos e tecnologias baseadas em recursos renováveis; identificar e avaliar os impactos das mudanças climáticas, definindo e implementando medidas de adaptação nas comunidades locais, e; estimular mecanismos financeiros e políticas públicas para o desenvolvimento de projetos florestais relacionados à captura de carbono.

Não obstante, esta mesma lei instituiu o Comitê Intersecretarial de Mudanças Climáticas (CIMC) do Estado do Paraná, doravante responsável pela orientação, apoio e com a elaboração do Plano Estadual sobre Mudança do Clima, o qual deve abordar 4 eixos temáticos (I - mitigação; II - vulnerabilidade, impacto e adaptação; III - pesquisa e desenvolvimento; IV - educação e divulgação), além de auxiliar o Estado nos planejamentos de políticas públicas relacionados ao tema.

Deve-se notar que a lei nº 17.133 exige a realização da Comunicação Estadual do Paraná a cada cinco anos (ainda dentro de seu primeiro prazo, de 2012 a 2017) em conformidade com métodos recomendados pelo IPCC, contendo o inventário estadual de emissões por fontes e setores de emissão e remoção de gases de efeito estufa; o Plano para Ações Emergenciais – PAE, com avaliação de vulnerabilidades e necessidades de adaptação aos impactos adversos causados por eventos climáticos extremos; e as referências a planejamentos estratégicos e políticas públicas específicas para o enfrentamento da mudança do clima, incluindo aspectos de mitigação e de adaptação.

Dentre as outras legislações relacionadas às mudanças climáticas no estado do Paraná podem ser citadas:

- Decreto nº 9.085, de 04 de outubro de 2013. Regulamenta a Lei nº 17.133, de 25 de abril de 2012, que institui a Política Estadual de Mudança do Clima, e dá outras providências.
- Resolução SEMA nº 028/2013, de 22 de julho de 2013, que institui a composição do Comitê Gestor do Programa BIOCLIMA PARANÁ.
- Decreto nº 7.520, de 04 de março de 2013, aprova o Regulamento do Fórum Paranaense de Mudanças Climáticas Globais, instituído pela Lei nº 16.019, de 19 de dezembro de 2008 e dá outras providências.
- Lei nº 17.441, de 26 de dezembro de 2012, estabelece diretrizes para o desenvolvimento de agricultura com baixa emissão de carbono no Estado do Paraná.
- Lei nº 17.133, de 25 de abril de 2012, institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima no estado do Paraná, fixa seus princípios, objetivos, instrumentos e suas diretrizes.
- Lei nº 17.134, de 25 de abril de 2012, institui o Pagamento por Serviços Ambientais, em especial os prestados pela Conservação da Biodiversidade, integrante do Programa Bioclima Paraná, assim como dispõe sobre o Biocrédito.
- Decreto nº 4.381, de 24 de abril de 2012, dispõe sobre a criação do Programa BIOCLIMA PARANÁ de conservação e recuperação da biodiversidade, mitigação e adaptação às mudanças climáticas no Estado do Paraná e dá outras providências.
- Lei nº 16.019, de 19 de dezembro de 2008, institui o Fórum Paranaense de Mudanças Climáticas Globais, com os objetivos que o especificam e adota outras providências.

Através do programa BIOCLIMA PARANÁ (PARANÁ, 2015), o Governo do Estado busca a conservação, recuperação da biodiversidade e intervenções para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, por meio de incentivos e novos mecanismos de gestão ambiental, com ênfase a operacionalização da remuneração por desmatamento evitado (REDD+) e pagamentos por serviços ambientais (PSA). Alguns de seus objetivos merecem destaque, como: mapeamento de áreas de vulnerabilidade ambiental; monitoramento das mudanças climáticas e seus impactos sobre a biodiversidade, ecossistemas e organismos por meio de indicadores consistentes, e; o

estímulo de projetos de recuperação ambiental em áreas estratégicas para a restauração (como corredores ecológicos) associados à captura de carbono, inclusive em UC's. No entanto, não foram achadas informações concretas sobre a efetividade deste programa, com a descrição de resultados e ações aplicadas em sua decorrência.

Em contato com a SEMA/PR, este projeto está em andamento, mas não conforme sua projeção inicial. Efetivamente, somente as seguintes ações foram listadas: o projeto de restauração está delegado ao Mata Ciliar, desenvolvido pelo IAP; o Inventário Florestal do estado está em construção; sobre o PSA, estão sendo realizados três projetos pilotos nas bacias do Miringuava, do Piraquara e Iapó.

A falta de consideração das mudanças climáticas nos instrumentos de gestão pode ser percebida em diversos exemplos. O novo Código Florestal (lei federal nº 12.651/2012) estabeleceu um prazo de cinco anos para que todos os estados elaborem e aprovem seus ZEEs, segundo metodologia do MMA (2006). Em síntese, o ZEE tem como objetivos:

- Subsidiar a elaboração de planos, programas e políticas e propor alternativas para a tomada de decisões, segundo o enfoque da compatibilização entre as atividades econômicas e o ambiente natural;
- Identificar incongruências e afinidades entre as políticas nacionais de meio ambiente e de desenvolvimento;
- Reunir esforços de sistematização de dados e informações para subsidiar, por exemplo, o licenciamento ambiental e a ação governamental de controle do desmatamento;
- Identificar oportunidades de uso dos recursos naturais, estabelecendo os parâmetros necessários para sua exploração;
- Identificar e analisar problemas ambientais, tais como áreas degradadas, usos inadequados e exploração irregular;
- Propor diretrizes legais e programáticas de caráter conservacionista e de desenvolvimento sustentável.

Como elaborado nos capítulos anteriores, a proteção do ambiente natural, a recuperação de áreas degradadas e o desenvolvimento sustentável podem ser afetados diretamente pelas mudanças climáticas. No entanto, em todo o documento, a única menção ao tema é na questão da fragmentação de habitats, que pode ser intensificada com a alteração climática, mas sem causar nenhuma implicação nos produtos esperados ou no

zoneamento em si, mesmo quando são exigidos mapas sobre a fragilidade natural potencial. A SEMA-PR está coordenando a elaboração do ZEE estadual baseado nestes documentos, e após a análise de todo o material disponível pela secretaria, também não foi encontrada nenhuma consideração sobre mudanças climáticas.

Os planos de manejo de UCs também foram analisados. O conceito de plano de manejo da Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) o descreve como: *“Documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma Unidade de Conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da Unidade”*. Seus objetivos incluem:

- Contribuir para a conservação das variedades de espécies biológicas e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais;
- Proteger as espécies ameaçadas de extinção;
- Contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais;
- Promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais;
- Promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento;
- Proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica;
- Proteger as características relevantes de natureza geológica, morfológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural;
- Recuperar ou restaurar ecossistemas degradados;
- Proporcionar meio e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental;
- Valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica;
- Favorecer condições e promover a educação e a interpretação ambiental e a recreação em contato com a natureza; e
- Proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente.

Novamente, fica claro que as mudanças climáticas apresentam riscos diretos às UCs, uma vez que podem alterar drasticamente os ecossistemas e gerar extinções de espécies, em especial com a intensificação de eventos climáticos extremos. ZELLER (2008) complementa que, apesar de existirem informações sobre o clima da descrição dos planos de manejo, estas informações não são utilizadas para auxiliar na gestão dos parques, com exceção da vigilância contra incêndios.

O plano do parque nacional Iguaçu (IBAMA, 1999) não menciona explicitamente as mudanças climáticas, mas considera os fenômenos El Niño e La Niña, os quais precisam ser acompanhados por pesquisas para verificar situações que ameaçam os recursos da área, especialmente a exacerbação dos efeitos de fragmentação e comprometimento da sucessão na recuperação das áreas perturbadas, assim como situações extremas de chuva e seca, que representam problemas para o parque.

O plano de manejo do parque estadual das Lauráceas (PARANÁ, 2002) também não incorpora considerações sobre as mudanças climáticas em seus programas, mesmo ativamente monitorando impactos através da identificação de variações ou alterações ambientais.

O plano de manejo do parque estadual Vila Rica del Espírito Santo (PARANÁ 2003b), apesar de não apresentar medidas de gestão quanto ao tema, associou o aumento do coeficiente de variação da precipitação da região, de 1,4 a 1,6%, observado por MAACK (2012), para 2,0 a 2,9%, à grande destruição da vegetação natural na área de influência do parque (inclusive junto à APAs), substituída principalmente por monoculturas de soja, milho, trigo, cana-de-açúcar e café, além de pastagens. Isto é uma indicação de que as precipitações estão mais irregulares, com ocasiões de abundância e escassez de chuva.

Já os planos de manejo do parque estadual do Monge e o do Refúgio de Vida Silvestre do Pinhão (PARANÁ, 2002e, 2006e) mencionam que, dentre os fatores que podem contribuir para o recente desaparecimento de espécies (inclusive em UCs), pode ser em parte devido às mudanças climáticas, mas não a enquadra na lista de principais ameaças nem aborda a questão em seus programas.

O plano de manejo da APA da Escarpa Devoniana (PARANÁ, 2004a) somente realiza a descrição climática, mas em nenhum lugar é mencionado as mudanças climáticas, sendo que os programas de recuperação de áreas degradadas, conservação de

ecossistemas e os de monitoramento ambiental não apresentam indícios de considerar o tema. De modo similar, outros 21 planos de manejo de UCs do Paraná foram avaliados quanto a questão das mudanças climáticas. Não foram encontrados programas ou considerações específicas sobre o tema na gestão dessas unidades, mesmo naqueles revisados recentemente, como o plano de manejo da APA da Serra da Esperança (PARANÁ, 2009a) ou o do Parque Estadual Ilha do Mel (PARANÁ, 2013b). Não obstante, os programas de incentivo a pesquisas científicas nessas áreas não têm este enfoque. Assim, pode-se inferir que a gestão de UCs no Paraná não leva em consideração em seus planos os impactos futuros das mudanças climáticas.

Os planos de bacia, instituídos pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997), têm como alguns de seus objetivos: analisar alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo; o balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos com identificação de conflitos potenciais; metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis, e; propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos. As mudanças climáticas podem ter impactos elevados sobre a disponibilidade e qualidade hídrica, modificar cursos de rios, aumentar a frequência de eventos extremos e alterar a dinâmica da população residente nas bacias hidrográficas, de modo que são de grande relevância para a gestão deste recurso. Assim, foram analisados os planos de bacia do Estado do Paraná.

O guia para formulação de planos de recursos hídricos (ANA, 2013) aborda explicitamente a questão das mudanças climáticas. Ele afirma que apesar das previsões de mudanças no clima global ainda tenham um alto grau de incerteza, alguns planos têm dedicado espaço para esse tema. Ainda, indica os principais pontos a serem abordados com destaque para,

- Subsídio aos comitês de bacia com informações sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos para incorporação à gestão;
- Fomento às ações de adaptação às mudanças climáticas no âmbito da gestão dos recursos hídricos;

- Implementação de programas de informação e comunicação social para promover a convivência da comunidade com os eventos críticos e a conscientização para adaptação aos efeitos das mudanças climáticas;
- A ampliação da rede de monitoramento hidrometeorológico para detecção de mudanças no comportamento hidrológico e sua associação a mudanças do clima.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná (PARANÁ, 2010) não apresenta considerações sobre as mudanças climáticas nos cenários, mas aborda o tema em diferentes partes. É mencionado que situações futuras de temperaturas mais altas e precipitações menores levariam a uma diminuição da oferta e qualidade da água, afetando o já frágil equilíbrio entre oferta e demanda. Deste modo, políticas de pesquisa são estimuladas para minimizar os impactos sobre os ecossistemas naturais, fonte de energia elétrica, de irrigação e pesca. Também é mencionado que a maior frequência e intensificação de eventos extremos aumenta a probabilidade de ocorrência de enchentes em centros urbanos, e a intensificação do escoamento contribui para o aumento de secas mais severas em áreas rurais. Economicamente, o aumento da temperatura poderá atuar como modificador de cultura, introduzindo novas espécies ou prejudicando culturas tradicionais. Não obstante, na avaliação dos aspectos climatológicos, dedica uma subseção para o tema, revisando os possíveis impactos e consequências das mudanças climáticas com ênfase na agricultura, além de descrever aqueles que já podem ser percebidas. O trecho abaixo merece destaque:

“Cabe destacar, no entanto, que as mudanças climáticas vêm sendo sentidas em praticamente todas as regiões do Estado, efeito da concentração maior de Dióxido de Carbono, Metano e Óxido Nitroso na atmosfera - o popular “Efeito Estufa”.... No Estado do Paraná, por exemplo, o IAPAR constatou nos municípios de Umuarama e Morretes, uma curva ascendente de elevação da temperatura mínima do ar nos últimos 30 anos, entre 1975 e 2005. O mesmo não foi constatado em Ponta Grossa e Cambará. Os efeitos da mudança climática ainda não podem ser suficientemente estimados por conta do número ainda reduzido de dados históricos. No entanto, existe uma forte corrente de pesquisadores que defende que este impacto é muito acelerado e seus efeitos já vêm sendo sentidos no território paranaense, a exemplo das secas de 2005 e 2006.” (PARANÁ, 2010).

Infelizmente, ao se analisar os programas propostos pelo plano, nenhuma menção explícita às mudanças climáticas foi identificada, ou mesmo uma câmara técnica dedicada à questão ou proposição direta de pesquisa sobre o tema.

O Plano das bacias do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira (PARANÁ, 2013c), a PR1, aborda diretamente os impactos qualitativos das mudanças climáticas, principalmente na composição de seus cenários futuros. Notoriamente, alguns dos programas e ações em execução decorrentes deste plano incluem estudos e modelagens para a prevenção de eventos críticos de estiagem e adaptação a eventos climáticos extremos. Não somente estão inclusas considerações sobre as questões econômicas, como o aumento da demanda global por combustíveis não-fósseis e a alterações na produtividade de determinadas culturas, mas também quanto à dinâmica do território, com o possível esvaziamento de pequenas cidades e aumento da migração em direção à região metropolitana, ou ainda a migração nacional para o estado decorrente de secas e aumento da temperatura, gerando expansão agrícola e do desmatamento. Um trecho que merece destaque em seu apêndice sobre as projeções segue abaixo:

“Por outro lado, a questão das mudanças climáticas, ainda um assunto muito negligenciado, poderia ser utilizada de forma a dar uma base racional para a articulação dessas visões setoriais tão distintas. Um dos maiores problemas que temos em relação às ações necessárias para o combate às consequências das mudanças climáticas é, infelizmente, a percepção geral, porém errônea, de que essas coisas só vão acontecer num futuro muito remoto. Ao contrário, os efeitos diretos e indiretos das mudanças climáticas estão sendo percebidos já hoje, serão evidentes até 2025 (próximo ao horizonte dos cenários do Plano) e deverão mudar radicalmente nossa relação com o clima até a virada deste século”. (PARANÁ, 2013c).

As alterações climáticas, no entanto, ainda não foram abordadas quantitativamente, como a identificação geográfica de áreas com alterações na pluviosidade ou a potencial variação da disponibilidade hídrica, possivelmente devido à falta de estudos específicos.

Para o Plano da Bacia do Rio Tibagi (IAP, 2013a), a PR2, apesar de realizar previsões de cenários com indicadores quantitativos, a questão das mudanças climáticas não é abordada, justificada pela seguinte colocação: *“Nos cenários as disponibilidades*

hídricas não serão afetadas, pois não são representativas as consequências das mudanças climáticas na região da Bacia do Tibagi”.

Para o Plano da Bacia do Rio Jordão (IAP 2008, 2013b), a PR3, este aparentemente ainda se encontra em desenvolvimento, somente com a parte de diagnóstico realizada e revisada. Ainda assim, não menciona o tema.

Para o Plano da Bacia do Paraná III (UNIOESTE, 2014), a PR4, não foram encontradas considerações ou programas relacionados ao tema. No entanto, uma situação interessante foi encontrada quando se analisou as contribuições recebidas na mobilização social, onde ocorreram seis requisições diferentes pedindo a inclusão das mudanças climáticas no escopo do plano. A resposta para todas foi idêntica, e está transcrita abaixo:

“O Plano prevê apoio para ações educativas formais e não formais que podem promover boas práticas. Poderão ser apoiadas ações específicas.”
(UNIOESTE, 2014).

Ainda assim, os programas e ações de educação ambiental escolhidos pelo plano não mencionam explicitamente a questão levantada.

Para os Planos da Bacia do Rios Pirapó, Paranapanema 3 e 4 (ENGEORPS, 2015), das Bacias do Cinzas, Itararé e Paranapanema 1 e 2 (ENGEORPS, 2014) e das bacias do Baixo Ivaí e Paraná 1 (Consórcio RHA-FERMA-VERTRAG, 2014), respectivamente as PR5, PR6 e PR7, não foram encontradas menções sobre o tema, mas também não apresentam todos os estudos que as anteriores, de modo que estes podem estar ainda em processo de finalização.

Outros documentos que podem ser citados incluem o Comitê Intergovernamental Coordenador dos Países da Bacia do Prata (CIC), de 1969, que aprovou em 2005 o Programa Marco para a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos da Bacia do Prata, com relação aos efeitos hidrológicos da variabilidade e mudança climática. Seu objetivo geral busca fortalecer a cooperação transfronteiriça entre os governos da Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai para garantir a gestão dos recursos hídricos compartilhados da Bacia do Prata de forma integrada e sustentável, focando em estratégias de ações que buscam unir o politicamente viável com o socialmente equitativo. A questão da variabilidade e a mudança climática requer o aprimoramento do conhecimento e a previsão da disponibilidade hídrica para avaliar as vulnerabilidades dos sistemas e as necessidades de adaptação, e os membros da CIC buscam realizar a coordenação da

gestão e o seguimento das ações, precisando enfrentar diversas dificuldades, como a desarticulação dos marcos legais existentes. No entanto, não foram encontrados documentos sobre ações concretas (CIC 2015).

Por fim, o projeto de lei 005.00047.2015, que dispõe sobre a revisão do Plano Diretor de Curitiba, prevê a implementação do Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima, com o objetivo de estabelecer ações e medidas visando à redução gradativa das emissões de gases de efeito estufa na cidade.

8. Vulnerabilidade dos remanescentes florestais do Paraná frente às Mudanças Climáticas.

8.1. Etapa 1

8.1.1. Análise descritiva das VPs

A primeira questão abordada envolveu a descrição das características das VPs de entrada comuns a todos os cenários avaliados. A Tabela 22 apresenta estas estatísticas descritivas.

Tabela 22: Análise descritivas das variáveis comuns.

	Altitude	Textura	Relevo	Veg	Veg3
Eventos Válido	255265	245050	244311	251209	236685
Eventos Ausente	0	10215	10954	4056	18580
Média	638,66	1,78	5,61	6,9	7,06
Erro padrão	0,514	0,003	0,006	0,003	0,002
Mediana	619	1	5	7	8
Moda	395	1	3	8	8
Desvio Padrão	259,735	1,407	3,102	1,537	1,164
Variância	67462,33	1,98	9,619	2,363	1,355
Assimetria	0,105	1,406	0,615	-1,074	0,423
Kurtosis	-0,699	0,312	-0,85	3,562	0,339
Amplitude	1664	5	13	10	6
Mínimo	-4	1	1	1	5
Máximo	1660	6	14	11	11

Optou-se somente por exibir os detalhes da frequência da VD Veg, uma vez que a fitofisionomia de maior frequência será usada como base de comparação da RLM. Neste caso, a fitofisionomia predominante é a Floresta Ombrófila Mista, de código 8. A Tabela 23 apresenta estas informações.

Uma análise crítica desta tabela identifica duas questões a serem consideradas. Algumas fitofisionomias são pouco representativas no Paraná, como o Refúgio Vegetacional (somente 69 casos - inferior a 0,03%) e alguns contatos fitofisionômicos (0,2%). A inclusão dessas categorias no modelo pode gerar neste um aumento de complexidade desnecessário, uma vez que apresentam percentuais inferiores ao próprio intervalo de confiança de 95%.

A segunda questão aborda a fraca caracterização teórica de algumas classes. Novamente, os contatos fitofisionômicos apresentam indefinições que podem elevar o

erro na predição do modelo. O Refúgio Vegetacional, em sua definição, também se destaca do contexto da vegetação clímax regional, induzindo ao erro. Tais observações apoiam a retirada das mesmas da análise e seu agrupamento com a categoria não-classificada.

Tabela 23: Análise descritiva da VD Veg.

Classe	Código	Frequência	% Total	% válido	% acumulado
Contato Estepe/Floresta Ombrófila Mista	1	5613	2,2	2,2	2,2
Contato F. Ombr. Densa/F. Ombr. Mista	2	567	0,2	0,2	2,5
Contato Savana/Floresta Estacional	3	618	0,2	0,2	2,7
Contato Savana/Floresta Ombrófila Mista	4	3431	1,3	1,4	4,1
Estepe	5	9962	3,9	4	8
Floresta Estacional Semidecidual	6	96856	37,9	38,6	46,6
Floresta Ombrófila Densa	7	11064	4,3	4,4	51
Floresta Ombrófila Mista	8	114393	44,8	45,5	96,5
Formação Pioneira	9	4226	1,7	1,7	98,2
Refúgio Vegetacional	10	69	0	0	98,2
Savana	11	4410	1,7	1,8	100
	Total válido	251209	98,4	100	
	Ausente	62	0		
	Ausente (-99)	3994	1,6		
	Total Ausente	4056	1,6		
	Total	255265	100		

Em uma análise de RLM preliminar, o SPSS indicou que algumas VPs deveriam ser excluídas ou a mescla de algumas categorias, além de somente identificar corretamente 22% dos pontos de Refúgio Vegetacional. Deste modo, optou-se pela retirada desta da análise, agrupando-as com a categoria não classificada.

Uma classe apresentou uma situação de excepcionalidade. A análise preliminar se mostrou pouco sensível às formações pioneiras, ou seja, identificou corretamente um percentual baixo (14%) dessa classe com base nas VPs utilizadas. Tal fato infere que outras variáveis são necessárias para elevar o discernimento do modelo para essa classe. Novamente, observando a definição desta fitofisionomia, entende-se que estas colonizam terrenos pedologicamente instáveis, relacionados aos processos de acumulação fluvial, lacustre, marinha, fluviomarinha e eólica. Buscou-se então a incorporação de informações pedológicas ao estudo, complementando as bases edafoclimáticas com as informações de textura dos solos. Após a inclusão da textura e o tipo de declividade, ainda assim não foi possível aumentar a sensibilidade do modelo para esta categoria, de modo que seria necessário um número maior de eventos de formações pioneiras e possivelmente outras

VPs específicas para esta fitofisionomia. Assim, optou-se pela retirada da categoria Formação Pioneira, 9, aproveitando que a frequência é somente de 1,7%.

A nova coluna com as categorias fitofisionômicas ajustadas foi chamada de Veg3, e será a partir desta que o modelo de previsão será classificado. Suas frequências podem ser vistas na Tabela 24.

Tabela 24: Análise descritiva da VD Veg3.

Classe	Código	Frequência	% Total	% válido	% acumulado
Estepe	5	9962	3,9	4,2	4,2
Floresta Estacional Semidecidual	6	96856	37,9	40,9	45,1
Floresta Ombrófila Densa	7	11064	4,3	4,7	49,8
Floresta Ombrófila Mista	8	114393	44,8	48,3	98,1
Savana	11	4410	1,7	1,9	100,0
Total válido		236685	92,7	100,0	
Ausente		62	0		
Ausente (-99)		18518	7,3		
Total Ausente		18580	7,3		
Total		255265	100		

A Tabela 25 apresenta as estatísticas descritivas das 19 variáveis bioclimáticas da TP.

Tabela 25: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TP (n = 255265).

	Média	Mediana	Moda	Desvio Padrão	Variância	Assimetria	Kurtosis	Amplitude	Mínimo	Máximo
BIO1	189,83	189	170	18,01	324,369	0,016	-1,056	103	127	230
BIO2	121,57	124	125	10,23	104,659	-1,93	5,597	69	72	141
BIO3	59,55	60	60	3,264	10,653	-1,354	3,338	21	45	66
BIO4	2875,3	2859	2748	246,168	60598,59	0,402	-0,407	1242	2358	3600
BIO5	285,5	287	272	17,776	315,992	-0,164	-0,931	117	211	328
BIO6	83,1	81	102	18,686	349,158	0,17	-0,576	105	37	142
BIO7	202,4	200	197	13,071	170,839	0,113	1,085	92	149	241
BIO8	219,34	223	238	22,026	485,143	-1,384	2,575	137	129	266
BIO9	161,27	164	172	22,278	496,302	-0,113	-1,08	115	94	209
BIO10	223,68	224	243	16,724	279,695	-0,066	-1,022	108	158	266
BIO11	151	149	170	18,271	333,833	0,098	-1,041	103	92	195
BIO12	1557,6	1524	1495	213,671	45655,14	0,546	-0,276	1443	1083	2526
BIO13	191,93	189	181	25,829	667,146	1,58	4,893	250	130	380
BIO14	76,79	76	78	21,043	442,819	0,24	-0,592	106	31	137
BIO15	27,81	27	24	7,276	52,945	0,472	-0,274	41	11	52
BIO16	513,65	504	498	69,237	4793,83	2,726	12,156	669	363	1032
BIO17	284,09	281	270	73,508	5403,455	0,195	-0,505	364	137	501
BIO18	507,95	497	489	68,438	4683,737	2,565	11,32	685	347	1032
BIO19	313,4	310	279	65,706	4317,236	0,217	-0,423	389	158	547

8.1.2. Regressão logística multinomial - Modelo Edafo0

O resultado das regressões no SPSS é iniciado com os avisos, sinalizando problemas e pontos de atenção encontrados durante a análise. Neste estudo, foi indicado que 80,0% das células de cada possibilidade de cruzamento entre as 21 variáveis em branco. FIELD (2009) destaca que sempre que você tem co-variáveis, é inevitável que você terá células vazias, e de certo modo podemos simplesmente ignorá-lo, somente precisando atentar aos coeficientes que têm erros-padrão exageradamente grandes, o que não foi o caso.

O sumário do modelo (Tabela 26) apresenta as informações relacionadas à VD, semelhante a análise descritiva. Dentre suas informações, algo notável é o total de subpopulações de dados. Cada uma desses casos constitui uma combinação possível das variáveis precursoras observadas no modelo. É indicado quantas dessas combinações das VPs consistem em registros de que todos têm o mesmo valor na VD. Neste caso, existem 229.345 destas combinações, e 100% delas são distintas entre si.

Tabela 26: Sumário do Edafo0.

Classes da VD	N	% Marginal	%²	
Veg3	5	9415	4,10%	0,17%
	6	95640	41,69%	17,38%
	7	9524	4,15%	0,17%
	8	110599	48,21%	23,24%
	11	4245	1,85%	0,03%
Validos	229423	100,00%		
Ausentes	25842			
Total	255265	COP	40,99%	
Subpopulação	229345	CMC	48,21%	

Nesta tabela também foram inseridos os valores do COP e do CMC, relacionados à estimativa da Precisão da Classificação. Dado os valores respectivos de 40,99% e de 48,21%, considerando o padrão de melhora aceito pela literatura de 25%, seria necessário ultrapassar uma precisão de 51,24% no COP e 60,26% no CMC para o modelo estar significativamente melhor que o acaso. Estaremos adotando o padrão mais alto de precisão a ser atingido, o CMC.

A Tabela 27 indica o *model fitting* do Edafo0. Todos os indicadores apresentam valores elevados, mas a melhora entre o modelo com somente o intercepto e o com a inclusão das VPs (final) reduz a menos da metade do índice, ou seja, uma explicação melhor da realidade, sendo considerado satisfatório.

Tabela 27: Model fitting de Edafo0.

Modelo	Critérios de ajuste de modelo			Testes de razão de verossimilhança		
	AIC	BIC	Verossimilhança de log -2	Qui-quadrado	df	Sig.
Intercepto ³⁸	483379,413	483420,786	483371,413			
Final	123616,008	124526,221	123440,008	359931,405	84	0,000

A Tabela 28 apresenta o teste de *Log-likelihood* para a comparação entre o modelo com cada VP. Ela foi organizada de modo a ordenar as VPs por importância relativa na predição do modelo.

Tabela 28: Model fitting das VP do Edafo0.

VP	Critérios de ajuste de modelo			Testes de razão de verossimilhança		
	AIC do modelo reduzido	BIC do modelo reduzido	Verossimilhança de log -2 do modelo reduzido	Qui-quadrado	df	Sig.
Altitude	137125,170	137994,009	136957,170	13517,162	4	0,000
Relevo	129298,085	130166,924	129130,085	5690,077	4	0,000
BIO12	128914,378	129783,217	128746,378	5306,370	4	0,000
BIO1	127472,238	128341,077	127304,238	3864,230	4	0,000
BIO4	125789,745	126658,584	125621,745	2181,736	4	0,000
BIO13	125418,198	126287,037	125250,198	1810,190	4	0,000
BIO11	125387,184	126256,023	125219,184	1779,176	4	0,000
BIO14	125344,536	126213,375	125176,536	1736,528	4	0,000
BIO15	125267,972	126136,811	125099,972	1659,964	4	0,000
BIO18	125254,988	126123,827	125086,988	1646,980	4	0,000
BIO17	124753,173	125622,012	124585,173	1145,165	4	,000
BIO9	124673,759	125542,598	124505,759	1065,751	4	,000
BIO16	124642,623	125511,462	124474,623	1034,615	4	,000
BIO10	124509,818	125378,657	124341,818	901,810	4	,000
BIO19	124261,013	125129,852	124093,013	653,005	4	,000
BIO5	124152,394	125021,233	123984,394	544,385	4	,000
BIO3	123988,962	124857,801	123820,962	380,954	4	,000
Textura	123963,997	124832,836	123795,997	355,989	4	,000
BIO2	123954,612	124823,451	123786,612	346,603	4	,000
BIO6	123902,810	124771,649	123734,810	294,802	4	,000
Intercepto	123830,353	124699,192	123662,353	222,345	4	,000
BIO8	123733,777	124602,617	123565,777	125,769	4	,000

Em uma análise de RLM preliminar, o SPSS indicou que a VP BIO7, a Amplitude térmica anual, foi considerada redundante. Tal fato pode ser explicado pela natureza da variável, a subtração de BIO5 por BIO6, e, portanto, seu efeito já estaria percebido ao analisar as outras duas, de modo que foi retirada do modelo. A totalidade das VPs

³⁸ Ou também apenas ordenada na origem.

restantes se demonstraram significantes para o Edafo0. Esta situação contrapõe o pressuposto de que seria possível a simplificação do Edafo0 com o descarte das VPs menos representativas, pois seriam perdidas relações edafoclimáticas importantes e consequentemente precisão de previsão. O resumo da Estimativa de Parâmetros indica a relevância de cada VP para as classes da VD.

As tabelas 56 a 60 do Anexo 5 apresentam diversas informações sobre o funcionamento do modelo quanto a importância de cada VP para a transição entre as categorias fitofisionômicas. Cada linha representa uma VP, e as colunas apresentam os coeficientes B, a Estatística de Wald e a Razão de Possibilidade (Exp(B)). Os coeficientes B da tabela são os integrantes da Equação 4 para a categoria de base em questão.

Como exemplo, ao observar a Tabela 59 do Anexo 5, o B positivo na coluna da classe 6 significa que o aumento dos valores da VP Temperatura média anual (BIO1) favorecem a transição da classe Savana (11 – categoria de base) para a Floresta Estacional Semidecidual (6), enquanto que os B negativos nas colunas das classes 5 e 8 indicam que o aumento desta VP favorece a transformação da classe Estepe (5) e a Floresta Ombrófila Mista (8) para a Savana (11). A transição entre a Savana (11) e a Floresta Ombrófila Densa (7) não pode ser significativamente atribuída ($p=0,702$; $p>0,05$) à variação na Temperatura Média (com $B=0,031$; $Wald=0,146$; $Exp(B)=1,031$; $R^2C=0,017$).

A estatística de Wald apresenta valores que, quanto mais elevados, mais significativamente diferente de 0 é o B em questão. Ou seja, quando não são expressivos (próximos ou inferiores a 4,0), a VP em questão não é relevante para discriminar as transições entre as 2 classes de vegetação comparadas. A significância se manteve congruente com os valores de Wald, indicando as mesmas VPs de baixo valor de Wald como indiferentes de 0 ($p>0,05$) para aquela categoria de vegetação, de modo que foram suprimidas da tabela. Nota-se que uma mesma VP pode ser relevante para a transição entre algumas fitofisionomias e a categoria de base, mas pouco para outras. Para ilustrar esta situação, ao observar a Tabela 59 do Anexo 5, a VP Precipitação do trimestre mais seco (BIO17) auxilia na distinção entre a Savana (11 – categoria de base) e a Estepe (5), Floresta Estacional Semidecidual (6) e Floresta Ombrófila Mista (8), com valores de Wald de 536,411, 210,161 e 526,423 respectivamente, mas não entre a Savana e a Floresta Ombrófila Densa (7), com Wald de 1,484.

Para facilitar a interpretação da transição da vegetação em cada cenário, decorrente das alterações dos valores das VPs, foram realizadas cinco versões da regressão, distinguindo entre elas somente a categoria de referência. Esta ação permite identificar tanto as VPs de maior importância para a alteração cruzada entre cada categoria de vegetação como o sentido de influência da variação dos valores das VPs para cada categoria, ou seja, se o aumento do valor favorece a categoria de referência ou não.

As tabelas 30 a 34 devem ser interpretadas da seguinte maneira:

- Cada tabela apresenta como título sua categoria de referência, com a qual as transições são comparadas;
- As colunas representam as VPs para as 4 categorias de transição da vegetação possíveis (Ys), que estão sendo comparadas com a categoria de referência através do Exp B e R^2C ;
- Valores positivos de Exp(B) e R^2C indicam que com o aumento da VP aumentam as chances de ocorrência da categoria Y;
- Valores negativos de Exp(B) e R^2C aumentam as chances de ocorrência da categoria de referência;
- As VPs consideradas como principais discriminantes ³⁹entre cada par de categoria são aquelas que apresentam R^2C acima ou abaixo de 0,1 (ver CHINN, 2000).

³⁹ Identificadas nas tabelas como as células em cinza, itálico e negrito. Os valores próximos à categoria no título da coluna (positivos) a favorecem, e aqueles mais distantes, ao fundo (negativos), favorecem a categoria de referência.

Tabela 29: Razão de Chance e Tamanho de Efeito das VPs de Edafo0 com a Estepe como categoria de referência.

Floresta Estacional Semidecidual (6)			Exp(B)	R ² C	Floresta Ombrófila Densa (7)			Exp(B)	R ² C	Floresta Ombrófila Mista (8)			Exp(B)	R ² C	Savana (11)			Exp(B)	R ² C
BIO1	Temp. Med. anual		6,151	1,004	BIO1	Temp. Med. anual		3,319	0,663	BIO1	Temp. Med. anual		1,695	0,292	BIO1	Temp. Med. anual		3,218	0,646
BIO3	Isotermalidade		1,716	0,298	Relevo	Relevo		2,030	0,391	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio		1,524	0,233	BIO2	Amplitude térmica diária Med.		1,458	0,208
BIO2	Amplitude térmica diária Med.		1,480	0,217	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio		1,831	0,334	BIO2	Amplitude térmica diária Med.		1,509	0,227	Relevo	Relevo		1,200	0,101
Relevo	Relevo		1,453	0,206	Textura	Textura		1,319	0,153	Relevo	Relevo		1,482	0,217	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso		1,100	0,053
BIO12	Prec. anual		1,050	0,027	BIO3	Isotermalidade		1,164	0,084	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio		1,151	0,078	BIO19	Prec. do Trim. mais frio		1,069	0,037
BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco		1,039	0,021	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso		1,137	0,071	BIO18	Prec. do Trim. mais quente		1,062	0,033	BIO18	Prec. do Trim. mais quente		1,038	0,021
BIO18	Prec. do Trim. mais quente		1,038	0,021	BIO14	Prec. do mês mais seco		1,112	0,059	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso		1,031	0,017	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio		1,035	0,019
BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso		1,020	0,011	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso		1,102	0,054	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco		1,030	0,017	Altitude	Altitude		1,022	0,012
BIO4	Sazonalidade da Temp.		1,011	0,006	BIO4	Sazonalidade da Temp.		1,031	0,017	BIO4	Sazonalidade da Temp.		1,024	0,013	BIO12	Prec. anual		1,017	0,010
BIO13	Prec. do mês mais chuvoso		,977	-0,013	BIO12	Prec. anual		1,028	0,015	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso		1,014	0,008	BIO4	Sazonalidade da Temp.		1,009	0,005
BIO19	Prec. do Trim. mais frio		,969	-0,017	BIO18	Prec. do Trim. mais quente		1,024	0,013	BIO12	Prec. anual		1,012	0,006	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso		,980	-0,011
Altitude	Altitude		,968	-0,018	Altitude	Altitude		1,015	0,008	Altitude	Altitude		,996	-0,002	Textura	Textura		,977	-0,013
BIO6	Temp. Min. do mês mais frio		,967	-0,019	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco		,985	-0,009	BIO17	Prec. do Trim. mais seco		,991	-0,005	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso		,939	-0,035
BIO17	Prec. do Trim. mais seco		,949	-0,029	BIO19	Prec. do Trim. mais frio		,866	-0,079	BIO19	Prec. do Trim. mais frio		,974	-0,015	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio		,920	-0,046
BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso		,925	-0,043	BIO17	Prec. do Trim. mais seco		,865	-0,080	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso		,952	-0,027	BIO17	Prec. do Trim. mais seco		,879	-0,072
Textura	Textura		,874	-0,074	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio		,777	-0,139	BIO3	Isotermalidade		,899	-0,059	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente		,860	-0,083
BIO15	Sazonalidade da Prec.		,873	-0,075	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso		,764	-0,149	BIO14	Prec. do mês mais seco		,823	-0,108	BIO14	Prec. do mês mais seco		,855	-0,086
BIO14	Prec. do mês mais seco		,827	-0,105	BIO2	Amplitude térmica diária Med.		,736	-0,170	Textura	Textura		,817	-0,112	BIO3	Isotermalidade		,803	-0,121
BIO5	Temp. Max. do mês mais quente		,632	-0,253	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente		,638	-0,249	BIO15	Sazonalidade da Prec.		,652	-0,236	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco		,768	-0,146
BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio		,584	-0,297	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente		,392	-0,517	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente		,644	-0,243	BIO15	Sazonalidade da Prec.		,763	-0,149
BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente		,362	-0,561	BIO15	Sazonalidade da Prec.		,277	-0,710	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente		,460	-0,429	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente		,555	-0,325
Categoria de referência: Estepe (5)																			

Tabela 30: Razão de Chance e Tamanho de Efeito das VPs de Edafo0 com a Floresta Estacional Semidecidual como categoria de referência.

Estepe (5)		Exp(B)	R²C	Floresta Ombrófila Densa (7)		Exp(B)	R²C	Floresta Ombrófila Mista (8)		Exp(B)	R²C	Savana (11)		Exp(B)	R²C
BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	2,762	0,561	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	3,133	0,631	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	2,607	0,529	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	2,375	0,478
BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	1,711	0,297	Textura	Textura	1,509	0,227	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	1,272	0,133	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	1,772	0,316
BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	1,581	0,253	Relevo	Relevo	1,397	0,185	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	1,191	0,097	Textura	Textura	1,118	0,061
BIO14	Prec. do mês mais seco	1,210	0,105	BIO14	Prec. do mês mais seco	1,345	0,164	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	1,055	0,030	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	1,103	0,054
BIO15	Sazonalidade da Prec.	1,146	0,075	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	1,192	0,097	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	1,044	0,024	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	1,079	0,042
Textura	Textura	1,144	0,074	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	1,115	0,060	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	1,030	0,016	Altitude	Altitude	1,056	0,030
BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	1,081	0,043	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	1,083	0,044	Altitude	Altitude	1,029	0,016	BIO14	Prec. do mês mais seco	1,035	0,019
BIO17	Prec. do Trim. mais seco	1,054	0,029	Altitude	Altitude	1,048	0,026	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	1,023	0,012	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	1,015	0,008
BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	1,035	0,019	BIO4	Sazonalidade da Temp.	1,020	0,011	Relevo	Relevo	1,020	0,011	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	1,004	0,002
Altitude	Altitude	1,033	0,018	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	1,008	0,004	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	1,020	0,011	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	1,000	0,000
BIO19	Prec. do Trim. mais frio	1,032	0,017	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	,986	-0,008	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	1,018	0,010	BIO4	Sazonalidade da Temp.	,998	-0,001
BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	1,024	0,013	BIO12	Prec. anual	,979	-0,012	BIO4	Sazonalidade da Temp.	1,014	0,007	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	,985	-0,008
BIO4	Sazonalidade da Temp.	,989	-0,006	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	,948	-0,030	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	1,005	0,003	BIO12	Prec. anual	,969	-0,017
BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	,980	-0,011	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	,912	-0,051	BIO14	Prec. do mês mais seco	,995	-0,003	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	,952	-0,027
BIO18	Prec. do Trim. mais quente	,963	-0,021	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	,894	-0,062	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	,995	-0,003	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	,926	-0,043
BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	,963	-0,021	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	,804	-0,120	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	,992	-0,005	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	,877	-0,072
BIO12	Prec. anual	,952	-0,027	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	,782	-0,136	BIO12	Prec. anual	,963	-0,021	BIO15	Sazonalidade da Prec.	,874	-0,074
Relevo	Relevo	,688	-0,206	BIO3	Isotermalidade	,678	-0,215	Textura	Textura	,934	-0,037	Relevo	Relevo	,826	-0,106
BIO2	Amplitude térmica diária Med.	,676	-0,217	BIO1	Temp. Med. anual	,540	-0,341	BIO15	Sazonalidade da Prec.	,747	-0,161	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	,739	-0,167
BIO3	Isotermalidade	,583	-0,298	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	,497	-0,386	BIO3	Isotermalidade	,524	-0,357	BIO1	Temp. Med. anual	,523	-0,358
BIO1	Temp. Med. anual	,163	-1,004	BIO15	Sazonalidade da Prec.	,317	-0,635	BIO1	Temp. Med. anual	,276	-0,712	BIO3	Isotermalidade	,468	-0,419
Categoria de referência: Floresta Estacional Semidecidual (6)															

Tabela 31: Razão de Chance e Tamanho de Efeito das VPs de Edafo0 com a Floresta Ombrófila Densa como categoria de referência.

Estepe (5)		Exp(B)	R²C	Floresta Estacional Semidecidual (6)		Exp(B)	R²C	Floresta Ombrófila Mista (8)		Exp(B)	R²C	Savana (11)		Exp(B)	R²C
BIO15	Sazonalidade da Prec.	3,613	0,710	BIO15	Sazonalidade da Prec.	3,153	0,635	BIO15	Sazonalidade da Prec.	2,355	0,473	BIO15	Sazonalidade da Prec.	2,757	0,560
BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	2,550	0,517	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	2,012	0,386	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	2,051	0,397	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	2,193	0,434
BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	1,568	0,249	BIO1	Temp. Med. anual	1,854	0,341	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	1,481	0,217	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	1,981	0,378
BIO2	Amplitude térmica diária Med.	1,359	0,170	BIO3	Isotermalidade	1,474	0,215	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	1,349	0,165	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	1,283	0,138
BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	1,309	0,149	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	1,278	0,136	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	1,174	0,089	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	1,234	0,116
BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	1,287	0,139	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	1,244	0,120	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	1,145	0,075	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	1,184	0,093
BIO17	Prec. do Trim. mais seco	1,156	0,080	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	1,118	0,062	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	1,124	0,065	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	1,015	0,008
BIO19	Prec. do Trim. mais frio	1,154	0,079	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	1,097	0,051	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	1,046	0,025	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	1,014	0,008
BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	1,016	0,009	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	1,055	0,030	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	1,037	0,020	Altitude	Altitude	1,008	0,004
Altitude	Altitude	,986	-0,008	BIO12	Prec. anual	1,021	0,012	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	1,010	0,006	BIO12	Prec. anual	,990	-0,006
BIO18	Prec. do Trim. mais quente	,976	-0,013	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	1,014	0,008	BIO4	Sazonalidade da Temp.	,994	-0,004	BIO4	Sazonalidade da Temp.	,979	-0,012
BIO12	Prec. anual	,973	-0,015	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	,992	-0,004	BIO12	Prec. anual	,984	-0,009	BIO1	Temp. Med. anual	,970	-0,017
BIO4	Sazonalidade da Temp.	,970	-0,017	BIO4	Sazonalidade da Temp.	,980	-0,011	Altitude	Altitude	,982	-0,010	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	,968	-0,018
BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	,907	-0,054	Altitude	Altitude	,954	-0,026	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	,892	-0,063	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	,870	-0,077
BIO14	Prec. do mês mais seco	,899	-0,059	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	,923	-0,044	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	,864	-0,081	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	,852	-0,089
BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	,879	-0,071	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	,897	-0,060	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	,832	-0,102	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	,780	-0,137
BIO3	Isotermalidade	,859	-0,084	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	,839	-0,097	BIO3	Isotermalidade	,772	-0,143	BIO14	Prec. do mês mais seco	,769	-0,145
Textura	Textura	,758	-0,153	BIO14	Prec. do mês mais seco	,743	-0,164	BIO14	Prec. do mês mais seco	,740	-0,166	Textura	Textura	,741	-0,166
BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	,546	-0,334	Relevo	Relevo	,716	-0,185	Relevo	Relevo	,730	-0,174	BIO3	Isotermalidade	,690	-0,205
Relevo	Relevo	,493	-0,391	Textura	Textura	,663	-0,227	Textura	Textura	,619	-0,265	Relevo	Relevo	,591	-0,290
BIO1	Temp. Med. anual	,301	-0,663	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	,319	-0,631	BIO1	Temp. Med. anual	,511	-0,371	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	,565	-0,315
Categoria de referência: Floresta Ombrófila Densa (7)															

Tabela 32: Razão de Chance e Tamanho de Efeito das VPs de Edafo0 com a Floresta Ombrófila Mista como categoria de referência.

Estepe (5)		Exp(B)	R²C	Floresta Estacional Semidecidual (6)		Exp(B)	R²C	Floresta Ombrófila Densa (7)		Exp(B)	R²C	Savana (11)		Exp(B)	R²C
BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	2,172	0,429	BIO1	Temp. Med. anual	3,629	0,712	BIO1	Temp. Med. anual	1,958	0,371	BIO1	Temp. Med. anual	1,899	0,354
BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	1,553	0,243	BIO3	Isotermalidade	1,909	0,357	Textura	Textura	1,614	0,265	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	1,868	0,345
BIO15	Sazonalidade da Prec.	1,534	0,236	BIO15	Sazonalidade da Prec.	1,339	0,161	Relevo	Relevo	1,370	0,174	Textura	Textura	1,196	0,099
Textura	Textura	1,224	0,112	Textura	Textura	1,070	0,037	BIO14	Prec. do mês mais seco	1,352	0,166	BIO15	Sazonalidade da Prec.	1,171	0,087
BIO14	Prec. do mês mais seco	1,216	0,108	BIO12	Prec. anual	1,038	0,021	BIO3	Isotermalidade	1,295	0,143	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	1,097	0,051
BIO3	Isotermalidade	1,112	0,059	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	1,008	0,005	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	1,202	0,102	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	1,085	0,045
BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	1,050	0,027	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	1,005	0,003	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	1,158	0,081	BIO14	Prec. do mês mais seco	1,040	0,021
BIO19	Prec. do Trim. mais frio	1,027	0,015	BIO14	Prec. do mês mais seco	1,005	0,003	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	1,121	0,063	Altitude	Altitude	1,027	0,014
BIO17	Prec. do Trim. mais seco	1,009	0,005	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	,995	-0,003	Altitude	Altitude	1,019	0,010	BIO12	Prec. anual	1,006	0,003
Altitude	Altitude	1,004	0,002	BIO4	Sazonalidade da Temp.	,987	-0,007	BIO12	Prec. anual	1,016	0,009	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	,986	-0,008
BIO12	Prec. anual	,988	-0,006	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	,982	-0,010	BIO4	Sazonalidade da Temp.	1,006	0,004	BIO4	Sazonalidade da Temp.	,985	-0,008
BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	,986	-0,008	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	,981	-0,011	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	,990	-0,006	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	,978	-0,012
BIO4	Sazonalidade da Temp.	,976	-0,013	Relevo	Relevo	,980	-0,011	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	,964	-0,020	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	,966	-0,019
BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	,970	-0,017	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	,978	-0,012	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	,956	-0,025	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	,951	-0,028
BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	,970	-0,017	Altitude	Altitude	,972	-0,016	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	,889	-0,065	BIO3	Isotermalidade	,894	-0,062
BIO18	Prec. do Trim. mais quente	,942	-0,033	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	,971	-0,016	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	,874	-0,075	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	,887	-0,066
BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	,868	-0,078	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	,958	-0,024	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	,852	-0,089	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	,861	-0,082
Relevo	Relevo	,675	-0,217	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	,947	-0,030	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	,741	-0,165	Relevo	Relevo	,810	-0,117
BIO2	Amplitude térmica diária Med.	,663	-0,227	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	,839	-0,097	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	,675	-0,217	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	,799	-0,124
BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	,656	-0,233	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	,786	-0,133	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	,487	-0,397	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	,745	-0,162
BIO1	Temp. Med. anual	,590	-0,292	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	,384	-0,529	BIO15	Sazonalidade da Prec.	,425	-0,473	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	,679	-0,214
Categoria de referência: Floresta Ombrófila Mista (8)															

Tabela 33: Razão de Chance e Tamanho de Efeito das VPs de Edafo0 com a Savana como categoria de referência.

Estepe (5)		Exp(B)	R²C	Floresta Estacional Semidecidual (6)		Exp(B)	R²C	Floresta Ombrófila Densa (7)		Exp(B)	R²C	Floresta Ombrófila Mista (8)		Exp(B)	R²C
BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	1,802	0,325	BIO3	Isotermalidade	2,136	0,419	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	1,769	0,315	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	1,472	0,214
BIO15	Sazonalidade da Prec.	1,310	0,149	BIO1	Temp. Med. anual	1,911	0,358	Relevo	Relevo	1,692	0,290	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	1,342	0,162
BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	1,302	0,146	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	1,353	0,167	BIO3	Isotermalidade	1,449	0,205	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	1,251	0,124
BIO3	Isotermalidade	1,245	0,121	Relevo	Relevo	1,211	0,106	Textura	Textura	1,350	0,166	Relevo	Relevo	1,235	0,117
BIO14	Prec. do mês mais seco	1,169	0,086	BIO15	Sazonalidade da Prec.	1,144	0,074	BIO14	Prec. do mês mais seco	1,300	0,145	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	1,161	0,082
BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	1,163	0,083	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	1,140	0,072	BIO9	Temp. Med. do Trim. mais seco	1,282	0,137	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	1,128	0,066
BIO17	Prec. do Trim. mais seco	1,138	0,072	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	1,080	0,043	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	1,174	0,089	BIO3	Isotermalidade	1,119	0,062
BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	1,087	0,046	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	1,050	0,027	BIO5	Temp. Max. do mês mais quente	1,149	0,077	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	1,051	0,028
BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	1,065	0,035	BIO12	Prec. anual	1,032	0,017	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	1,033	0,018	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	1,035	0,019
Textura	Textura	1,024	0,013	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	1,015	0,008	BIO1	Temp. Med. anual	1,031	0,017	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	1,023	0,012
BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	1,020	0,011	BIO4	Sazonalidade da Temp.	1,002	0,001	BIO4	Sazonalidade da Temp.	1,022	0,012	BIO4	Sazonalidade da Temp.	1,015	0,008
BIO4	Sazonalidade da Temp.	,991	-0,005	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	1,000	0,000	BIO12	Prec. anual	1,011	0,006	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	1,014	0,008
BIO12	Prec. anual	,983	-0,010	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	,996	-0,002	Altitude	Altitude	,992	-0,004	BIO12	Prec. anual	,994	-0,003
Altitude	Altitude	,978	-0,012	BIO16	Prec. do Trim. mais chuvoso	,985	-0,008	BIO18	Prec. do Trim. mais quente	,986	-0,008	Altitude	Altitude	,974	-0,014
BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	,966	-0,019	BIO14	Prec. do mês mais seco	,967	-0,019	BIO17	Prec. do Trim. mais seco	,985	-0,008	BIO14	Prec. do mês mais seco	,962	-0,021
BIO18	Prec. do Trim. mais quente	,963	-0,021	Altitude	Altitude	,947	-0,030	BIO6	Temp. Min. do mês mais frio	,845	-0,093	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	,922	-0,045
BIO19	Prec. do Trim. mais frio	,936	-0,037	BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	,927	-0,042	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	,811	-0,116	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	,911	-0,051
BIO8	Temp. Med. do Trim. mais chuvoso	,909	-0,053	BIO19	Prec. do Trim. mais frio	,906	-0,054	BIO13	Prec. do mês mais chuvoso	,779	-0,138	BIO15	Sazonalidade da Prec.	,854	-0,087
Relevo	Relevo	,833	-0,101	Textura	Textura	,895	-0,061	BIO2	Amplitude térmica diária Med.	,505	-0,378	Textura	Textura	,836	-0,099
BIO2	Amplitude térmica diária Med.	,686	-0,208	BIO11	Temp. Med. do Trim. mais frio	,564	-0,316	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	,456	-0,434	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	,535	-0,345
BIO1	Temp. Med. anual	,311	-0,646	BIO10	Temp. Med. do Trim. mais quente	,421	-0,478	BIO15	Sazonalidade da Prec.	,363	-0,560	BIO1	Temp. Med. anual	,527	-0,354
Categoria de referência: Savana (11)															

A Tabela 34 apresenta um resumo das informações acima, identificando as principais VPs para a discriminação dos pares fitofisionômicos. Para cada comparação entre fitofisionomias, as categorias de vegetação nas linhas apresentam um aumento da probabilidade de ocorrência com o incremento das VPs no cruzamento linha X coluna, enquanto que as categorias nas colunas se tornam menos prováveis.

Tabela 34: Principais VPs para a transição cruzada entre as fitofisionomias de Edafo0.

	Estepe (5)	F. Estacional Semidecidual (6)	F. Ombrófila Densa (7)	F. Ombrófila Mista (8)	Savana (11)
Estepe (5)	X	BIO5; BIO10; BIO11; BIO14	BIO2; BIO5; BIO6; BIO10; BIO13; BIO15	BIO5; BIO10; BIO14; BIO15; TEXTURA	BIO3; BIO5; BIO9; BIO15
F. Estacional Semidecidual (6)	BIO1; BIO2; BIO3; RELEVO	X	BIO1; BIO2; BIO3; BIO6; BIO13; BIO15	BIO1; BIO3; BIO15	BIO1; BIO3; BIO9; RELEVO
F. Ombrófila Densa (7)	BIO1; BIO11; RELEVO; TEXTURA	BIO11; BIO14; RELEVO; TEXTURA	X	BIO1; BIO3; BIO11; BIO14; RELEVO; TEXTURA	BIO3; BIO9; BIO11; BIO14; RELEVO; TEXTURA
F. Ombrófila Mista (8)	BIO1; BIO2; BIO11; RELEVO	BIO10; BIO11	BIO2; BIO6; BIO13; BIO15	X	BIO6; BIO9; BIO11; RELEVO
Savana (11)	BIO1; BIO2; RELEVO	BIO10; BIO11	BIO2; BIO10; BIO13; BIO15; BIO19	BIO1; BIO10	X

A fitofisionomia Estepe (categoria 5) foi a categoria que apresentou uma predileção pelas temperaturas médias anuais (BIO1) mais baixas. Esta VP foi relevante para a sua discriminação de todas as outras categorias, sendo que o aumento dos valores de BIO1 diminuiriam a probabilidade da expansão de Estepe sobre as outras categorias. O Relevo acidentado também favoreceu sua discriminação de todas as outras categorias, com o aumento de seus valores diminuindo a probabilidade da Estepe. O aumento da temperatura máxima do mês mais quente (BIO5) favoreceu moderadamente a probabilidade de Estepe sobre todas as outras categorias de vegetação. A sazonalidade da precipitação (BIO15) favoreceu de modo geral a transição para a estepe.

Comparado às florestas, o aumento das temperaturas médias do trimestre mais quente (BIO10) e da máxima do mês mais quente (BIO5) favoreceram a transição da vegetação para a Estepe. O aumento da temperatura média do trimestre mais frio (BIO11) favoreceu a transição para a vegetação com características ombrófilas (categorias 7 e 8), enquanto que seu declínio favoreceu a estacionalidade (categoria 6).

A comparação com a Savana (categoria 11) indicou que esta última é favorecida pelo aumento de tanto a temperatura média diária (BIO1) quanto a amplitude térmica diária (BIO2), enquanto que o aumento da Isotermalidade (BIO3) e da temperatura média do trimestre mais seco (BIO9) favorecem a Estepe.

A fitofisionomia Floresta Estacional Semidecidual (categoria 6) tem sua ocorrência favorecida em relação aos outros tipos florestais (categorias 7 e 8) quando a temperatura média anual (BIO1), isotermalidade (BIO3) e a sazonalidade da precipitação (BIO15) aumentam, assim como quando a temperatura média do trimestre mais frio (BIO11) diminui. O aumento da amplitude diária média (BIO2), a temperatura mínima do mês mais frio (BIO6), a precipitação do mês mais chuvoso (BIO13), a diminuição da textura e o relevo mais plano a favorecem quando comparada densa (categoria 7), enquanto que o aumento da temperatura média dos trimestres mais quente (BIO10) e mais frio (BIO11) favorecem a mista (categoria 8).

Comparada à Estepe, o incremento das temperaturas médias dos trimestres mais quente (BIO10) e mais frio (BIO11), da temperatura máxima do mês mais quente (BIO5) e a precipitação do mês mais seco (BIO14) favorecem o decréscimo da floresta estacional, enquanto que o relevo acidentado, a temperatura média anual (BIO1), a amplitude térmica diária (BIO2) e a Isotermalidade (BIO3) favorecem seu aumento.

O incremento das temperaturas médias dos trimestres mais quente (BIO10) e mais frio (BIO11) favorecem a previsão de Savana, enquanto que o incremento do relevo acidentado, a temperatura média anual (BIO1), a Isotermalidade (BIO3) e da temperatura média do trimestre mais seco (BIO9) favorecem a floresta estacional.

A fitofisionomia Floresta Ombrófila Densa (categoria 7) tem sua ocorrência favorecida em relação as demais quando se elevam os valores da textura, temperatura média do trimestre mais frio (BIO11), precipitação do mês mais seco (BIO14) e o relevo acidentado. A mesma tem sua ocorrência diminuída com o aumento da sazonalidade da precipitação (BIO15), amplitude térmica diária média (BIO2), precipitação do mês mais chuvoso (BIO13) e geralmente a temperatura mínima do mês mais frio (BIO6).

Quando se compara a floresta ombrófila densa aos outros tipos de floresta, a floresta estacional é favorecida com o incremento da amplitude térmica diária (BIO2), isotermalidade (BIO3), temperatura mínima do mês mais frio (BIO6) e a temperatura

média anual (BIO1), enquanto que a mista é favorecida pelo declínio da temperatura média anual (BIO1) e da isotermalidade (BIO3).

Esta categoria, comparada a estepe, é favorecida com o aumento da temperatura média anual (BIO1), e minimizada com o incremento da temperatura média do trimestre mais quente (BIO10) e temperatura máxima do mês mais quente (BIO5). Quando comparada à Savana, a floresta ombrófila densa é favorecida pelo aumento da isotermalidade (BIO3) e a temperatura do trimestre mais seco (BIO9), e minimizada pelo aumento da precipitação do trimestre mais frio (BIO19) e a temperatura média do trimestre mais quente (BIO10).

A fitofisionomia Floresta Ombrófila Mista (categoria 8), quando comparada às outras fisionomias florestais, é favorecida com a diminuição da temperatura média anual (BIO1) e da isotermalidade (BIO3). Especificamente quando comparada à floresta ombrófila densa, é favorecida com o aumento da amplitude térmica diária média (BIO2) temperatura mínima do mês mais frio (BIO6), precipitação do mês mais chuvoso (BIO13) e a sazonalidade da precipitação (BIO15). Quando comparada com a floresta estacional (categoria 6), a mista é favorecida pelo incremento das temperaturas do trimestre mais quente (BIO10) e mais frio (BIO11), e sua probabilidade diminui com o aumento da sazonalidade da precipitação (BIO15).

Ao se comparar com a estepe, a floresta mista perde espaço com o aumento da Temperatura máxima do mês mais quente (BIO5), temperatura média do trimestre mais quente (BIO10), precipitação do mês mais seco (BIO14), sazonalidade da precipitação (BIO15) e a textura, enquanto que é favorecida pelo aumento temperatura média anual (BIO1), da amplitude térmica diária média (BIO2), temperatura do trimestre mais frio (BIO11) e do relevo acidentado.

Quanto a savana, a floresta ombrófila mista perde espaço com o incremento da temperatura média anual (BIO1) e da temperatura média do trimestre mais quente (BIO10), enquanto que ganha com o aumento da temperatura mínima do mês mais frio (BIO6), temperatura do trimestre mais seco (BIO9), temperatura do trimestre mais frio (BIO11) e do relevo acidentado.

A fitofisionomia Savana (categoria 11) apresenta uma diminuição de sua probabilidade de ocorrência quando ocorre o incremento da temperatura média do trimestre mais seco (BIO9).

Quando comparado com as fisionomias florestais, é favorecida a sua ocorrência pelo aumento da temperatura média do trimestre mais quente (BIO10), e minimizado com o relevo acidentado. Em relação a floresta estacional, a savana ganha espaço com o incremento da temperatura do trimestre mais frio (BIO11), mas perde espaço com o aumento da isotermalidade (BIO3), da temperatura média anual (BIO1) e temperatura média do trimestre mais seco (BIO9). Quanto à floresta ombrófila densa, a savana aumenta sua distribuição em decorrência do incremento na precipitação do trimestre mais frio (BIO19), na precipitação do mês mais chuvoso (BIO13), na amplitude térmica diária média (BIO2) e na sazonalidade da precipitação (BIO15), enquanto que diminui sua distribuição no aumento da temperatura média do trimestre mais frio (BIO11), da isotermalidade (BIO3), da textura, da precipitação do mês mais seco (BIO14). Quando comparado com a floresta ombrófila mista, o aumento da temperatura média anual (BIO1) favorece o aparecimento da savana, enquanto que seu decréscimo está ligado ao aumento da temperatura média do trimestre mais frio (BIO11) e da temperatura mínima do mês mais frio (BIO6).

Quando comparada à estepe, a savana é favorecida pelo aumento do relevo acidentado, da amplitude térmica diária média (BIO2) e da temperatura média anual (BIO1), enquanto que perde distribuição quando aumenta a sazonalidade da precipitação (BIO15), a temperatura do mês mais quente (BIO5) e a isotermalidade (BIO3).

A Tabela 35 apresenta o *Goodness-of-fit* do modelo e o parâmetro de dispersão. Em uma análise de RLM preliminar, o SPSS indicou que existia indícios de superdispersão, requisitando o ponderamento da escala⁴⁰ dos erros-padrão e ICs pelo maior dos índices, Pearson, de modo a minimizar o problema. Após tal procedimento, ambas estatísticas sugerem subdispersão, provavelmente em decorrência do elevado valor do índice de Pearson, e que os valores previstos não são diferentes dos observados ($p > 0,05$). A segunda constatação é a mais relevante para o estudo, uma vez que corrobora que o modelo está prevendo adequadamente.

A Tabela 36 apresenta os valores de Pseudo- R^2 do modelo Edafo0, que medem o Efeito de Tamanho da regressão. Eles apresentam resultados diferentes, como esperado, mas permitem inferir que o modelo proposto representa um Tamanho de Efeito grande

⁴⁰ Os valores de Wald e de significância das VP já se encontram transformados em todas as tabelas. Antes deste procedimento, todas as VPs eram significantes para todas as classes da VD.

em todos os 3, chegando a explicar 90,1% da variação encontrada na VD a partir das VPs escolhidas.

Tabela 35: Goodness-of-fit de Edafo0.

	Chi-Square	df	φ	Sig.
Pearson	578094,904	917292	0,63	1,000
Deviance	123438,622	917292	0,13	1,000

Tabela 36: Pseudo-R² de Edafo0.

Cox & Snell	0,792
Nagelkerke	0,901
McFadden	0,745

A Tabela 37 apresenta a classificação dos eventos de acordo com o modelo Edafo0. O percentual de acertos do modelo foi de 89,01, e quando comparado ao CMC de 48,21% apresenta uma Precisão de Classificação de 184,65%, superior ao mínimo estipulado como aceitável para a pesquisa, de 125%.

Tabela 37: Tabela da precisão da classificação fitofisionômica cruzada de Edafo0.

Classe Observada	Classe Prevista					% Correto
	5	6	7	8	11	
5	31,34%	0,20%	0,00%	68,13%	0,33%	31,3%
6	0,00%	92,71%	0,00%	7,27%	0,02%	92,7%
7	0,00%	0,03%	94,46%	5,51%	0,00%	94,5%
8	1,58%	5,82%	0,38%	91,60%	0,63%	91,6%
11	0,28%	0,47%	0,00%	45,09%	54,16%	54,2%
% total	2,05%	41,47%	4,10%	51,05%	1,33%	89,01%

Para as classes Floresta Estacional Semidecidual (6), Floresta Ombrófila Densa (7) e Floresta Ombrófila Mista (8), o modelo foi capaz de uma precisão de no mínimo 91,6%. Para a Savana, conseguiu uma precisão de pouco mais da metade, 54,2%. Para a Estepe (5), a precisão foi relativamente baixa, somente 31,3%.

A análise da alteração da vegetação em absoluto, ou seja, se a vegetação prevista em TP se mantém, permite identificar a magnitude do impacto esperado decorrente das mudanças climáticas. Assim, a Tabela 38 informa o percentual de pontos em cada cenário que apresentaram algum tipo de modificação da vegetação prevista (n: 242750).

Tabela 38: Alteração prevista para a vegetação em cada cenário de análise.

	TP	TH54	TH58	TH74	TH78	TM54	TM58	TM74	TM78
Alteração %	10,98	40,15	43,34	51,62	83,30	41,57	69,39	66,11	68,84

Não obstante, além dos valores absolutos da alteração, também foi possível quantificar o número de eventos esperados de cada categoria de vegetação prevista para cada cenário de estudo. A Tabela 39 e as figuras Figura 29 e Figura 30 mostram a evolução das alterações encontradas.

Tabela 39: Percentual Fitofisionômico encontrado nos cenários.

Classe	TP	HadGEM2-ES				MIROC5			
		TH54	TH58	TH74	TH78	TM5 4	TM5 8	TM7 4	TM7 8
5	2,03%	23,6 %	17,6 %	23,2%	30,4 %	35,6 %	48,8 %	51,7 %	18,6 %
6	40,02 %	35,1 %	29,8 %	29,9%	11,6 %	39,5 %	25,4 %	24,1 %	31,6 %
7	4,39%	6,0%	5,1%	6,1%	2,6%	3,8%	1,6%	2,8%	1,7%
8	52,24 %	21,3 %	22,7 %	15,4%	1,3%	16,7 %	5,3%	4,1%	3,2%
11	1,33%	14,0 %	24,8 %	25,4%	54,1 %	4,4%	18,9 %	17,3 %	44,9 %

Cenário	Casos Válidos		Ausente		Total
s	24275 0	95,10 %	12515	4,90 %	25526 5
Veg3	23668 5	92,72 %	18580	7,28 %	25526 5

Para ambos os modelos pode-se notar uma alteração da vegetação florestal para a campestre, com expressiva redistribuição da Floresta Ombrófila Mista (categoria 8) para Estepe (5) e Savana (11), chegando a quase desaparecer por completo nos cenários de maior aquecimento global (2070 e RCP 8,5).

Para o modelo do HadGEM2-ES notou-se uma alteração progressiva com o aumento da intensidade do forçamento radiativo e a passagem do tempo, podendo alcançar uma mudança da característica vegetação potencial dominante no Paraná para a Savana (54,1%).

No modelo MIROC5, os cenários de RCP 8,5 e o TM74 apresentaram percentuais similares tanto de alteração total quanto de fitofisionomias campestres. É percebida uma mudança preferencial para a Estepe (5), exceto no cenário mais extremo, que ocorre novamente o favorecimento da Savana (11).

A seguir, serão exibidos os mapas da distribuição das fitofisionomias potenciais do Paraná. A Figura 29 apresenta a evolução do perfil fitofisionômico previsto para os cenários do HadGEM2-ES, enquanto que a Figura 30 o mesmo perfil para os cenários do MIROC5. A Figura 31 apresenta a distribuição da vegetação pretérita segundo o IBGE (2014), baseada no trabalho do RADAMBRASIL. A Figura 32 apresenta a previsão do

modelo Edafo0. A Figura 33 apresenta o mapa que identifica as áreas de divergência entre ambos, com a parte em cinza correspondente aos pontos excluídos da análise (incluindo os contatos fitofisionômicos e corpos hídricos).

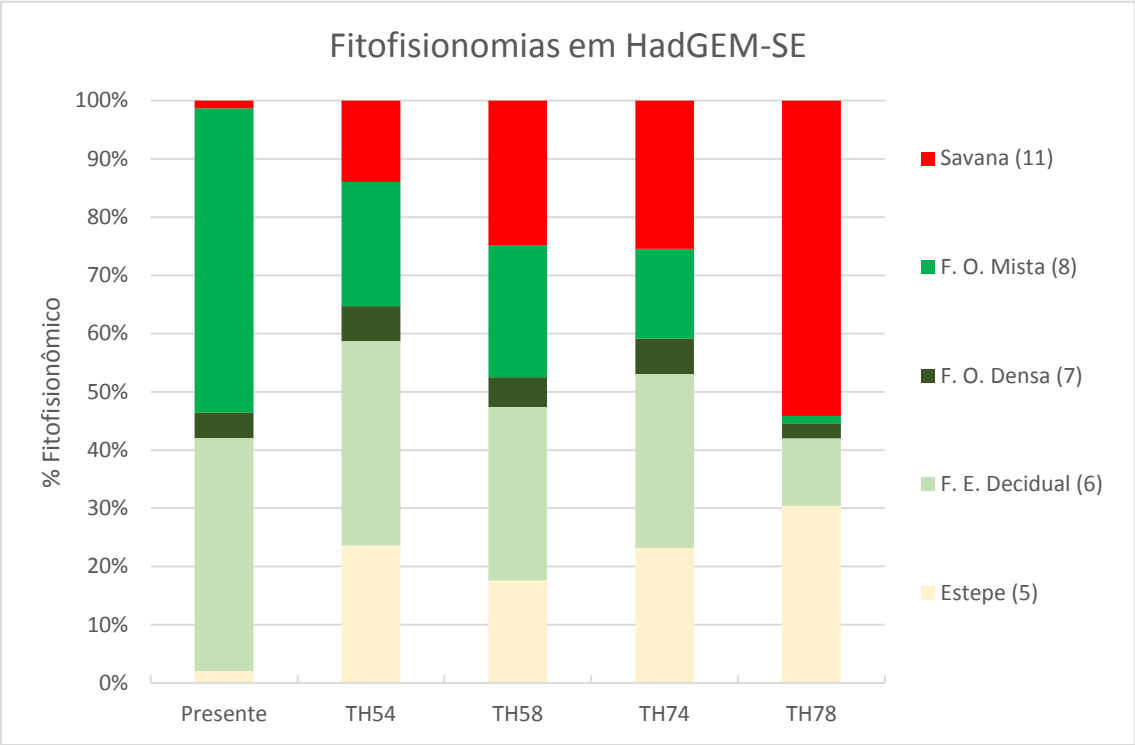


Figura 29: Evolução do perfil fitofisionômico previsto para os cenários do HadGEM2-ES.

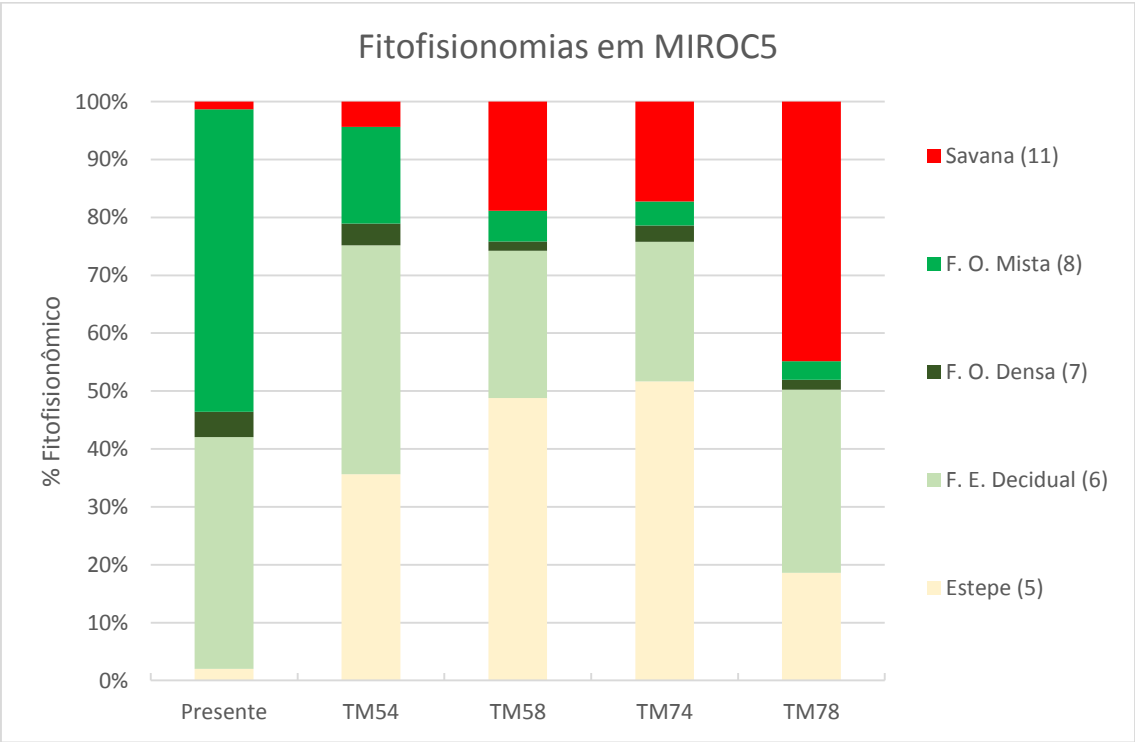


Figura 30: Evolução do perfil fitofisionômico previsto para os cenários do MIROC5.

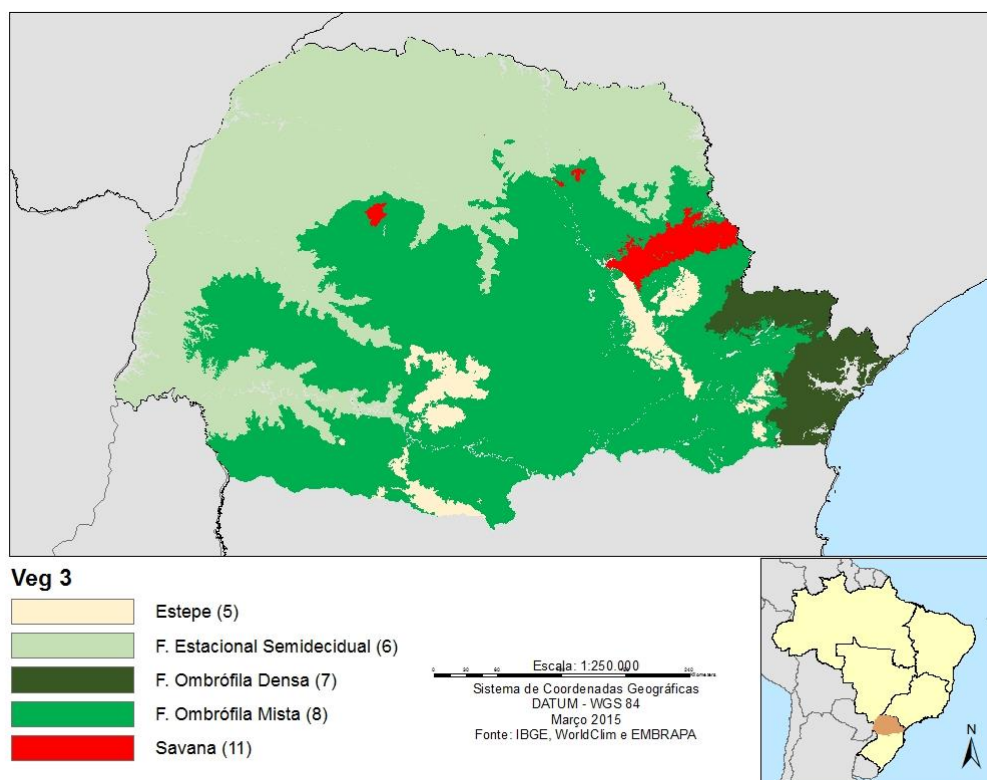


Figura 31: Mapa da distribuição das fitofisionomias potenciais do Paraná.

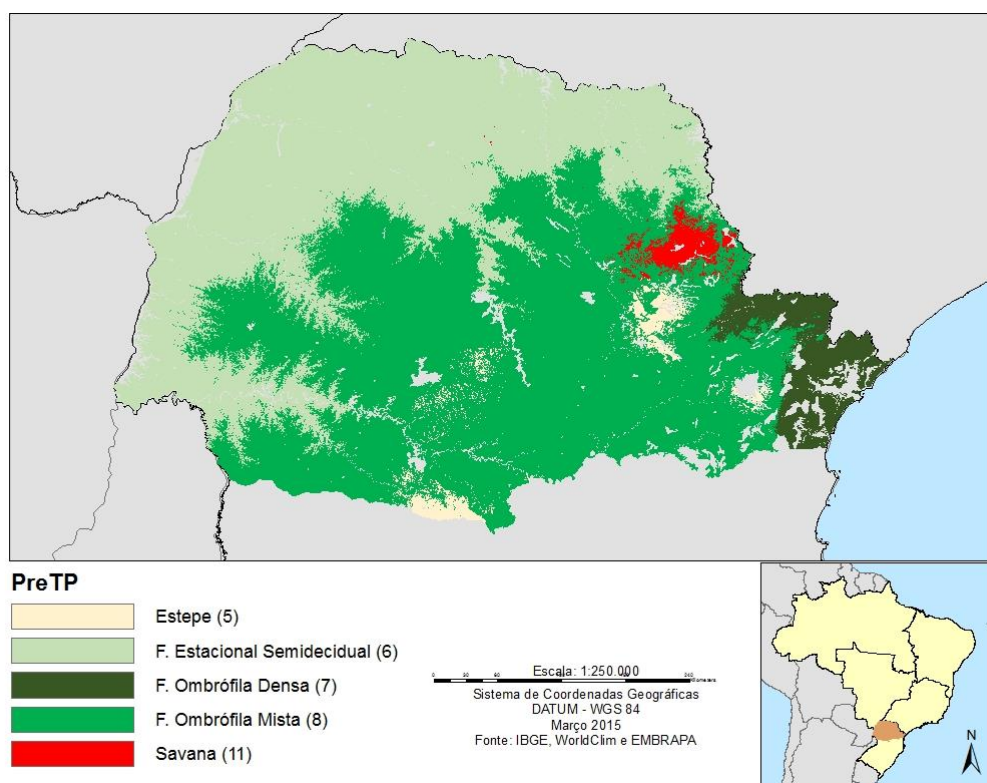


Figura 32: Mapa da distribuição das fitofisionomias potenciais do Paraná, segundo o modelo Edafo0.

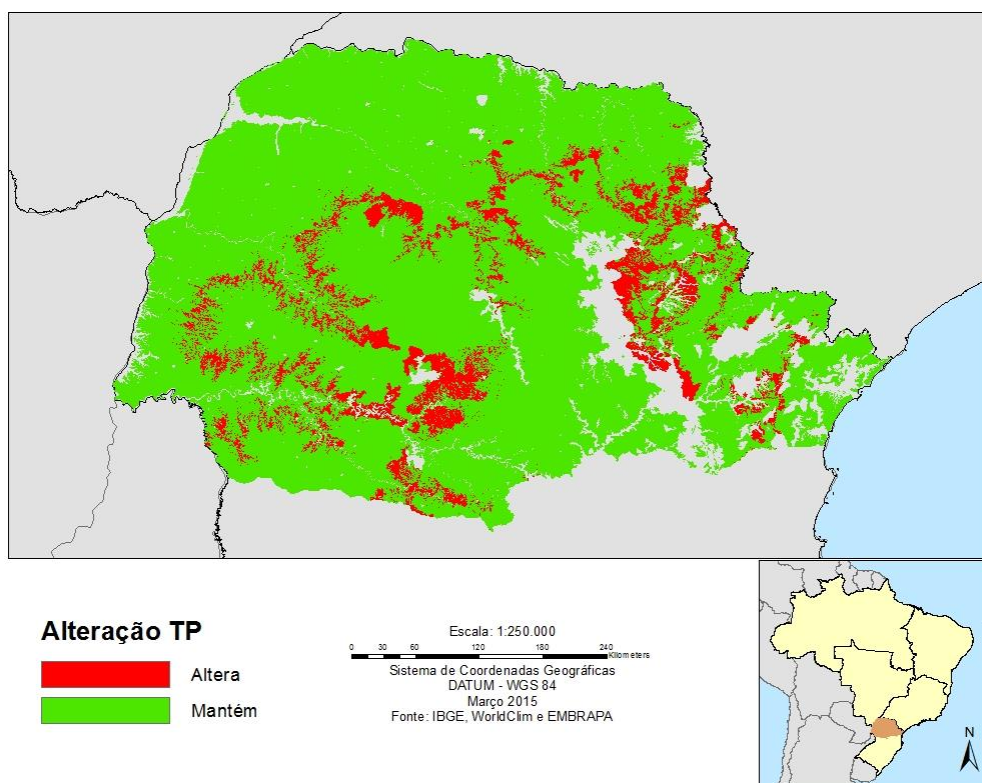


Figura 33: Mapa da alteração encontrada entre a distribuição das fitofisionomias potenciais do Paraná segundo o IBGE (2014) e Edafo0.

As figuras 34 a 37 apresentam os mapas da vegetação potencial do Paraná com as alterações climáticas previstas pelo modelo HadGEM2-ES para os 4 cenários de estudo.

No modelo do HadGEM2-ES, o alastramento da fitofisionomia Savana (11) foi predominante ao norte do estado, avançando principalmente sobre a área de Floresta Estacional Semidecidual (6), enquanto que a Estepe (5) se expande predominantemente ao sul, ganhando espaço sobre a Floresta Ombrófila Mista (8). Nota-se também que a expansão da distribuição das espécies campestres a leste é consideravelmente limitado pela serra do Mar.

As figuras 38 a 41 apresentam os mapas da vegetação potencial do Paraná com as alterações climáticas previstas pelo modelo MIROC5 para os 4 cenários de estudo.

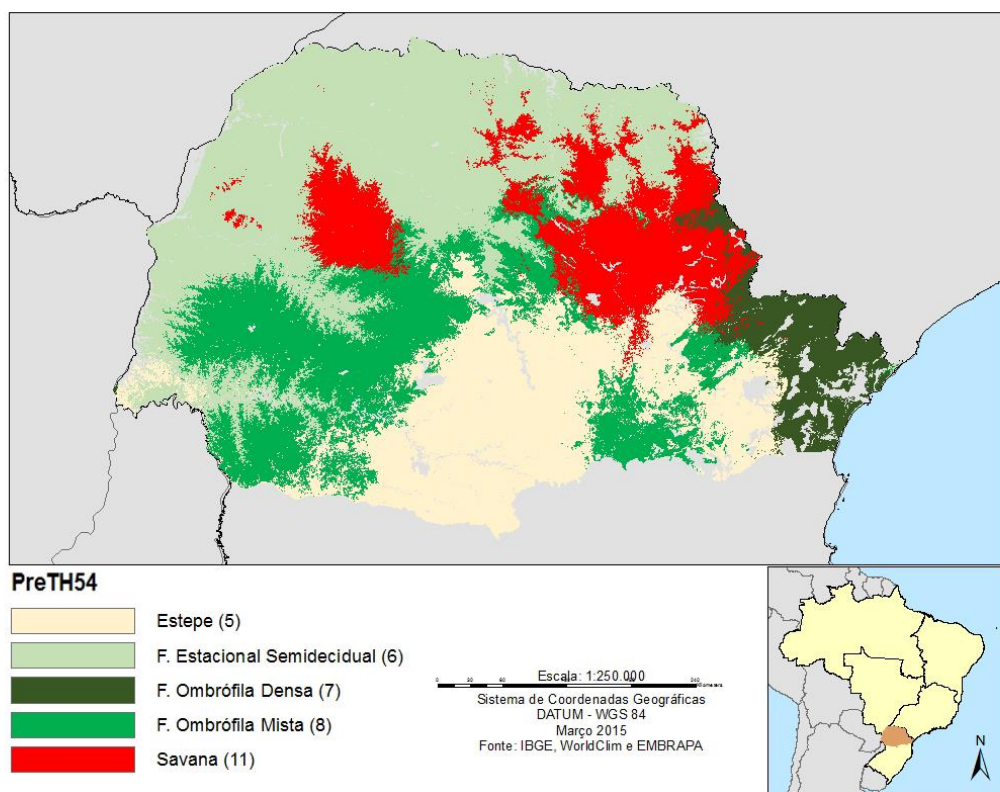


Figura 34: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TH54.

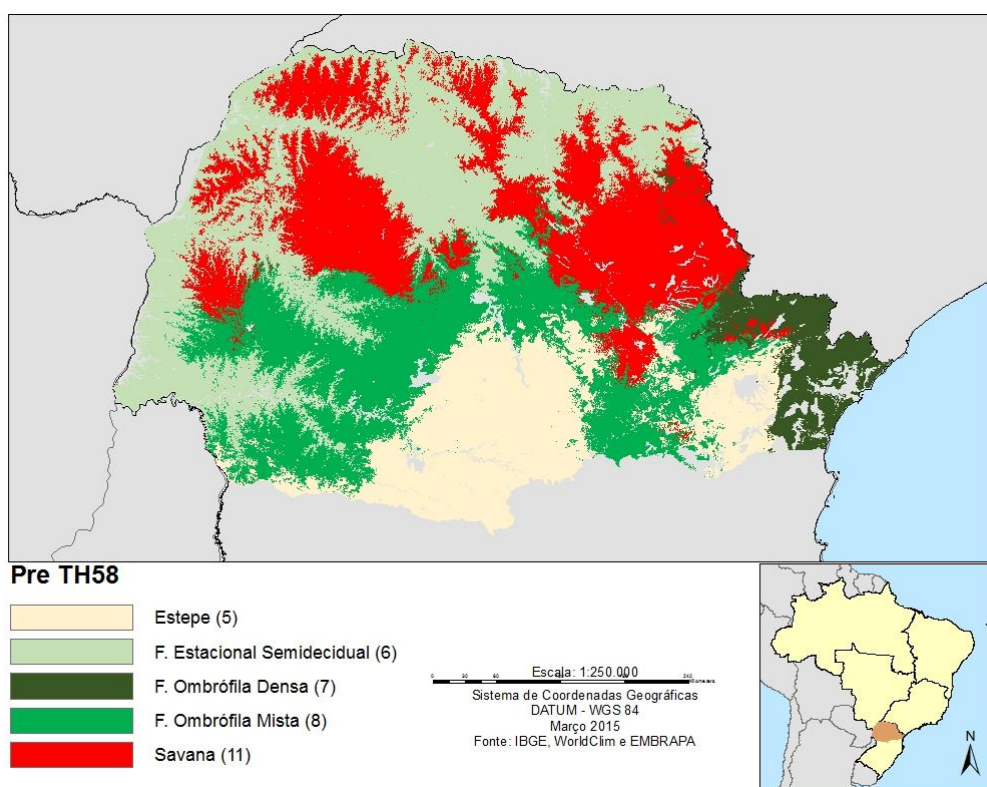


Figura 35: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TH58.

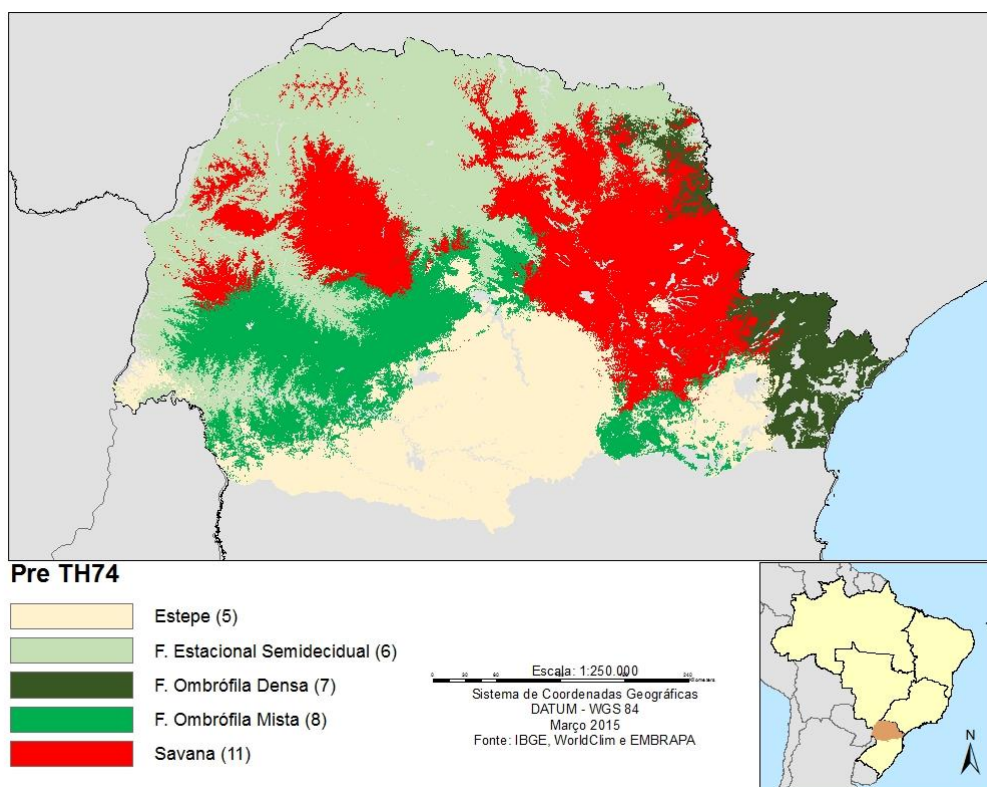


Figura 36: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TH74.

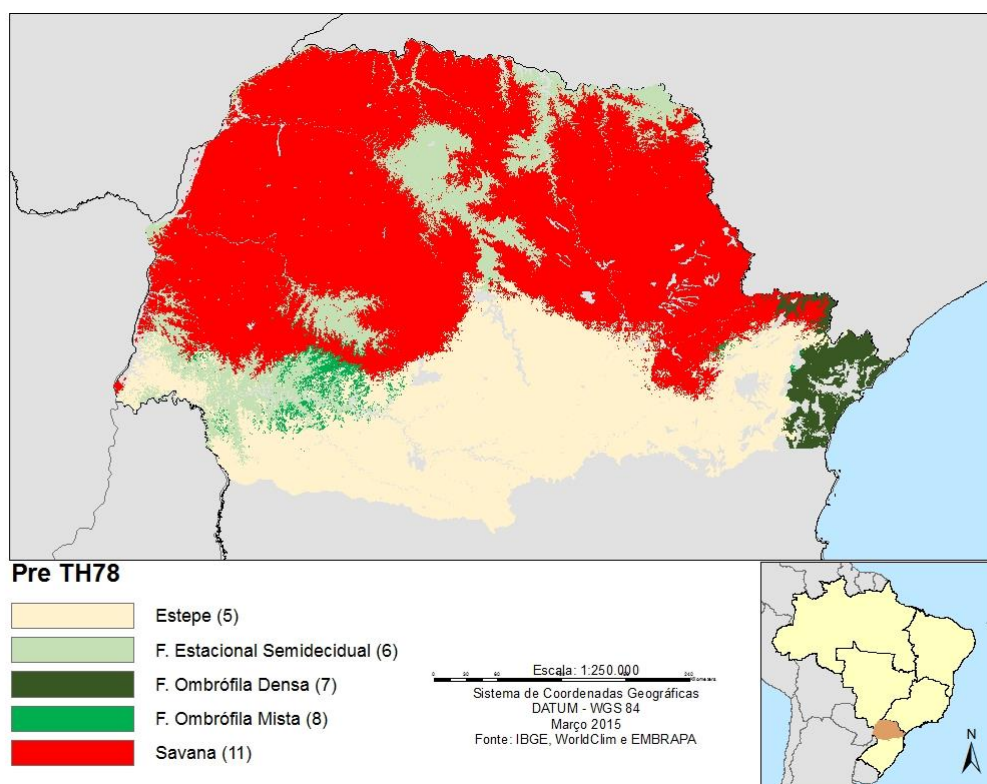


Figura 37: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TH78.

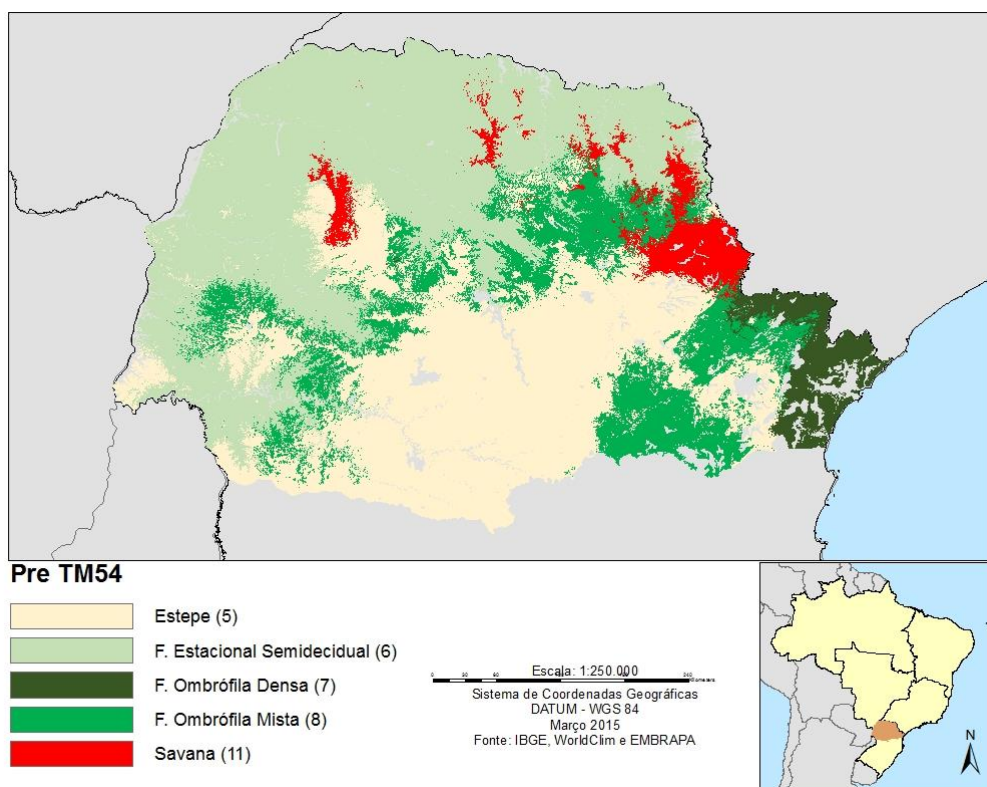


Figura 38: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TM54.

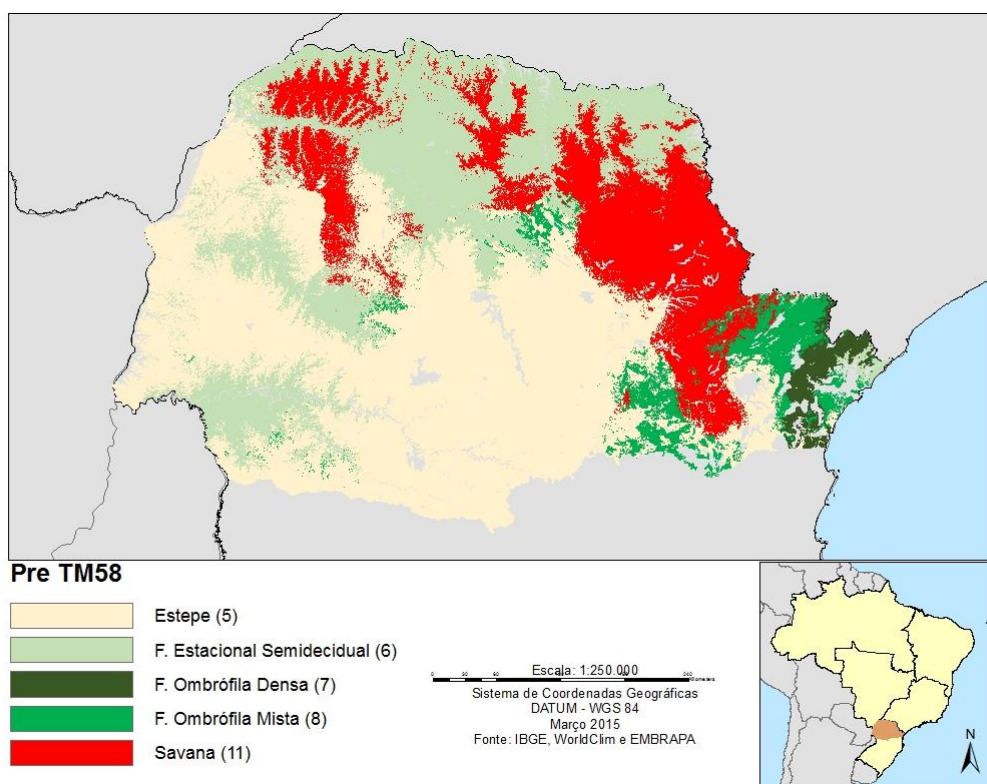


Figura 39: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TM58.

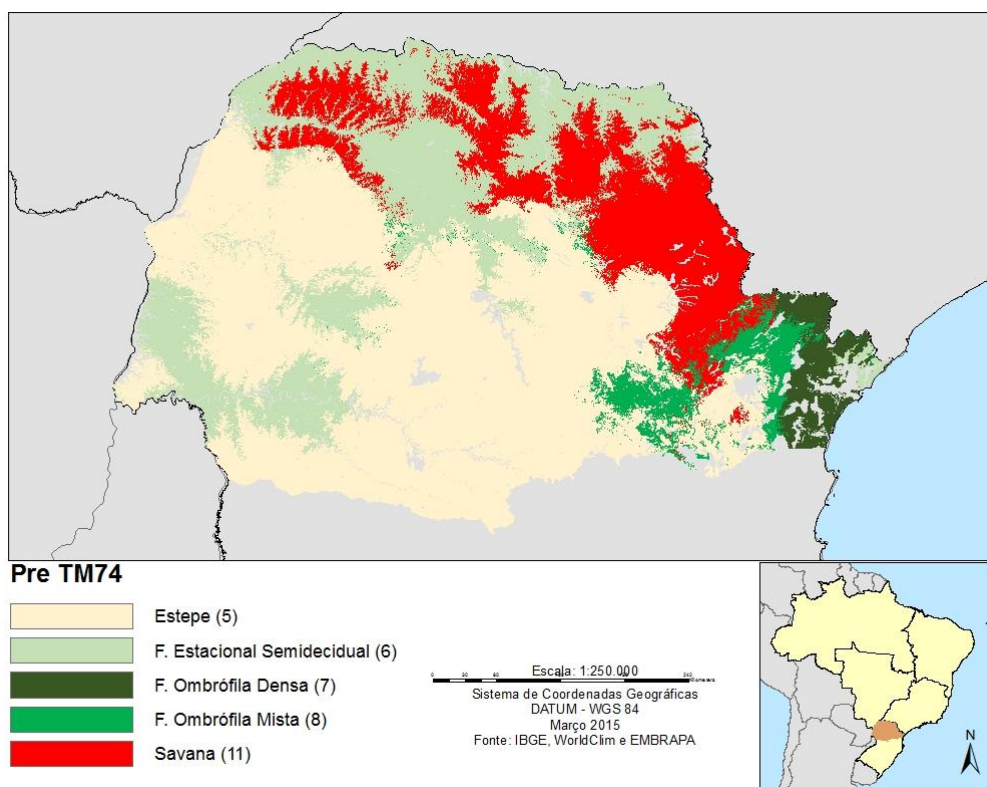


Figura 40: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TM74.

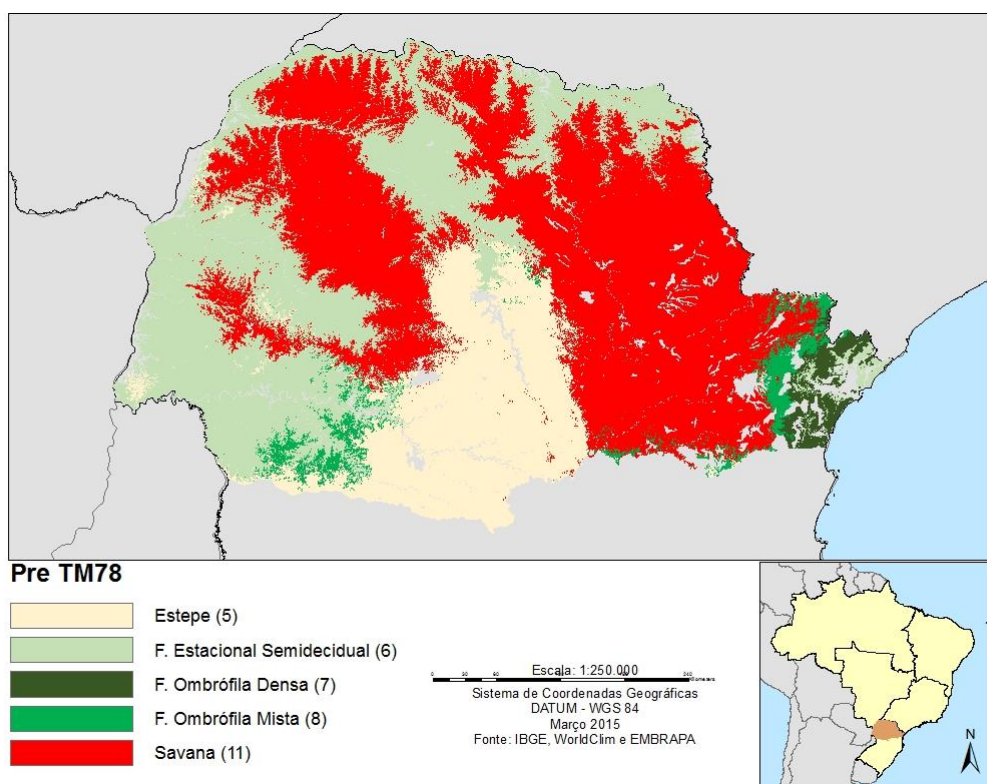


Figura 41: Mapa da vegetação potencial do Paraná para o cenário TM78.

Nos resultados do modelo MIROC5, o alastramento da fitofisionomia Savana (11) foi predominante ao nordeste do estado, avançando mais a fundo sobre a mesorregião Metropolitana. A Estepe (5) apresentou um maior ganho de distribuição, predominantemente ao sul e oeste, mas perdendo espaço para a Savana no cenário TM78. Algo notável foi a variação da vegetação na região litorânea, em especial do avanço da Floresta Estacional Semidecidual (6), e Floresta Ombrófila Mista (8) por sobre a região de Floresta Ombrófila Densa (7). Também foi identificado que cenário TM58 apresentou resultados com alterações acima do esperado, mais intensas que o cenário de maior forçamento radiativo (TM78).

8.2. Etapa 2

Em prol de se escolher as variáveis que apresentam uma relação sensível com o decréscimo da vegetação, ou seja, as quais podem ser consideradas vetores do desmatamento na região de estudo, foram realizadas as análises de frequência (Tabela 40) e de covariância (Tabela 41).

Tabela 40: Análise de frequências das VSE

	Média	Desvio padrão	Assimetria	Kurtosis	Amplitude	Mínimo	Máximo
Decremento médio entre 2008-2013	0,12%	0,004	6,147	44,972	0,038	0,000	0,038
Valor do ha (R\$)	22,760	9,155	,256	-,751	42,429	4,091	46,520
Lenha (m³)	37680,852	141164,863	10,164	113,980	1753656,079	2,000	1753658,079
Incremento % Pop. Rural	-18,306	19,181	,389	2,046	156,126	-100,000	56,126
Incremento % Pop. Total	2,215	11,742	,790	3,277	112,058	-38,809	73,248
Rendimento (R\$)	598,428	130,759	1,153	4,500	1134,570	290,840	1425,410
Analfabetismo (%)	9,407	3,430	0,076	-0,577	16,400	1,100	17,500
Unidades Agropecuárias	929,982	794,281	2,787	15,160	7792,000	18,000	7810,000
Área (ha) Lavouras Permanentes	2472,008	3933,703	3,069	11,113	27184,000	11,000	27195,000
Área (ha) Pastagens Naturais	3304,769	4015,273	2,632	9,382	30040,000	2,000	30042,000
Trabalho Infantil (horas semanais)	30,765	4,390	-,009	,003	25,200	18,700	43,900

Tabela 41: Análise de Correlação das VSE com o Decremento Médio.

Variável	Decremento médio entre 2008-2013		
	Correlação de Pearson	Sig. (2 extr.)	Covariância
Incremento % Pop. Rural	0,085	0,091	0,007
Incremento % Pop. Total	0,040	0,428	0,002
Valor do ha (R\$)	-0,107*	<i>0,032</i>	-0,004
Lenha (m³)	0,237**	<i>0,000</i>	134,855
Analfabetismo (%)	-0,100*	<i>0,046</i>	-0,001
Rendimento Médio (R\$)	-0,111*	<i>0,026</i>	-0,059
Unidades Agropecuárias	0,229**	<i>0,000</i>	0,734
Trabalho Infantil (horas semanais)	-0,095	0,059	-0,002
Área (ha) Lavouras Permanentes	0,007	0,893	0,107
Área (ha) Pastagens Naturais	0,023	0,650	0,369
**. A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).			
*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).			

O teste de correlação corroborou a análise de YOUNG (2005) quanto a pouca covariância do desmatamento com a variação populacional. No entanto, também não foram encontradas relações significativas de covariação entre o trabalho infantil, área das lavouras e pastagens. Em relação ao analfabetismo, foi encontrada uma relação quase não significativa ($0,05 > 0,046$), de modo que não será utilizada.

O valor do hectare das propriedades apresentou uma relação significativa ($0,05 > 0,032$) de covariância negativa, mas foi descartada para evitar contabilizar duplamente o rendimento médio, variável com a qual está diretamente relacionada (Pearson = 0,322; $p < 0,01$), preferindo a utilização desta última por apresentar um índice de Pearson maior (0,107). Deste modo, as variáveis elencadas para o IVSE foram:

- Produção de Lenha (m³);
- Rendimento nominal médio;
- Quantidade de estabelecimentos agropecuários;
- Desmatamento médio.

O mapeamento da vulnerabilidade dos componentes individuais foi estabelecido mediante o agrupamento dos valores em classes segundo o critério de Jenks, como pode ser visto na Tabela 42.

Tabela 42: Classes do IVSE a partir do critério de Jenks.

Intervalo de Jenks	Decremento	Lenha	Rendimento	Unidades	IVSE
1	0	2	1425,41	18	2
2	0,00017	5240	1043,15	259	21
3	0,00057	11585	860,88	461	48
4	0,00117	21300	757,51	667	105
5	0,00187	35400	688,13	932	200
6	0,0028	52000	634,36	1270	400
7	0,0037	81000	584,74	1697	768
8	0,00497	140500	535,81	2132	1400
9	0,00927	230000	480,26	2876	2430
10	0,01353	530526	410,77	4034	4410
Limite	0,03813	1753658	290,84	7810	6300⁴¹

As figuras 42 a 45 ilustram o mapeamento das VSE nas 10 classes de vulnerabilidade para cada VSE, e a Figura 46 apresenta o IVSE para os municípios do Paraná.

A Figura 42 apresenta uma distribuição espacial variada dos municípios, com uma ligeira concentração central. Como era de se esperar, nota-se uma relação entre os maiores municípios e os valores mais elevados de unidades, apesar de não ser uma regra. Os 5 municípios de maior quantidade de unidades agropecuárias são respectivamente: Prudentópolis, Cascavel Cândido de Abreu, Pitanga e Ortigueira.

O estado apresenta uma produção de lenha (Figura 43) mais forte nas mesorregiões Centro-Sul, Centro-Oriental, Norte Pioneiro e Sudeste. Como era de se esperar, nota-se uma relação entre os maiores municípios e os valores mais elevados de unidades, apesar de não ser uma regra, como o município de Arapoti, ao norte. Os 5 municípios de maior quantidade de produção de lenha são respectivamente: Inácio Martins, Telêmaco Borba, Salto do Itararé, Ortigueira e Arapoti.

O estado apresenta municípios com menores valores de renda nominal espalhados de forma ampla (Figura 44), com um ligeiro destaque a mesorregiões Centro-Sul. Os 5 municípios de menores valores de rendimento são respectivamente: Doutor Ulysses, Laranjal, Goioxim, Mato Rico e Guaraqueçaba.

⁴¹ Para todas as variáveis, as classes devem ser entendidas como maior ou igual (\Rightarrow) ao valor ilustrado, exceto a renda, a qual é igual ou menor (\leq).

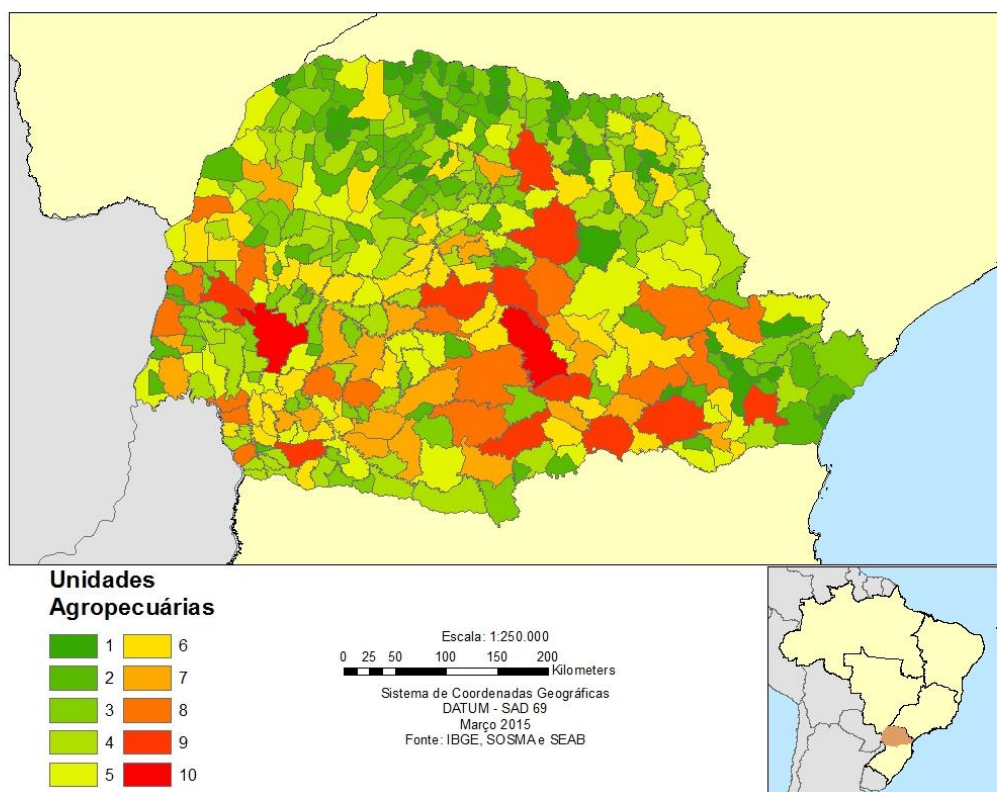


Figura 42: Vulnerabilidade dos remanescentes às unidades agropecuárias no Paraná

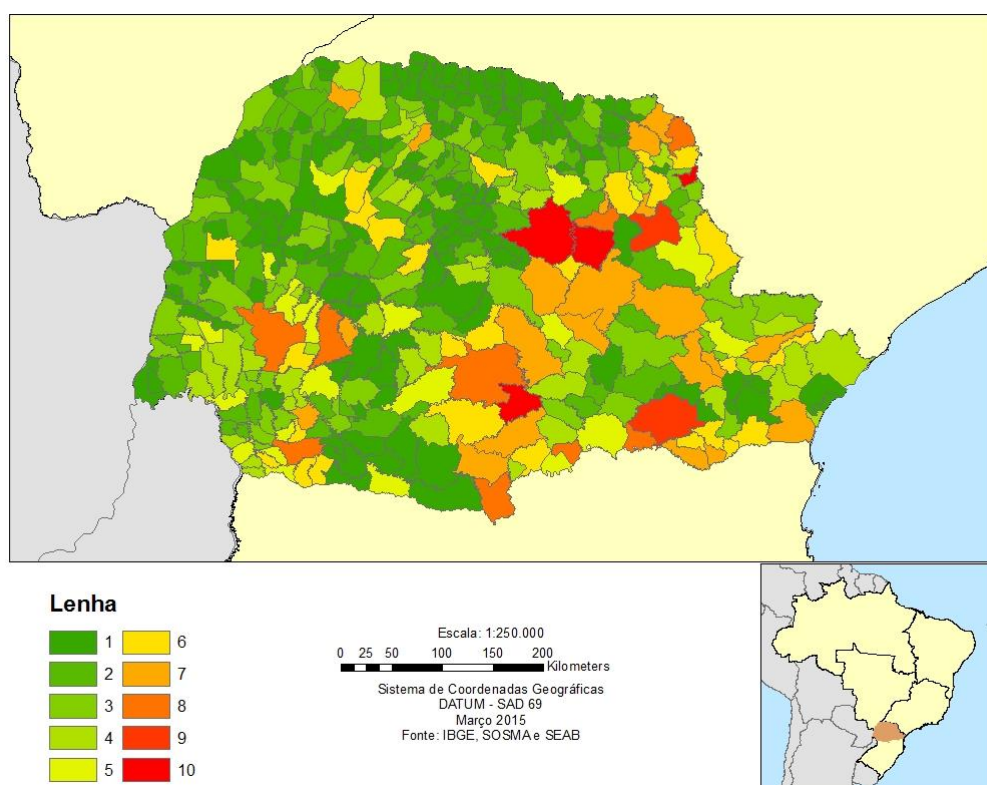


Figura 43: Vulnerabilidade dos remanescentes à produção de Lenha no Paraná.

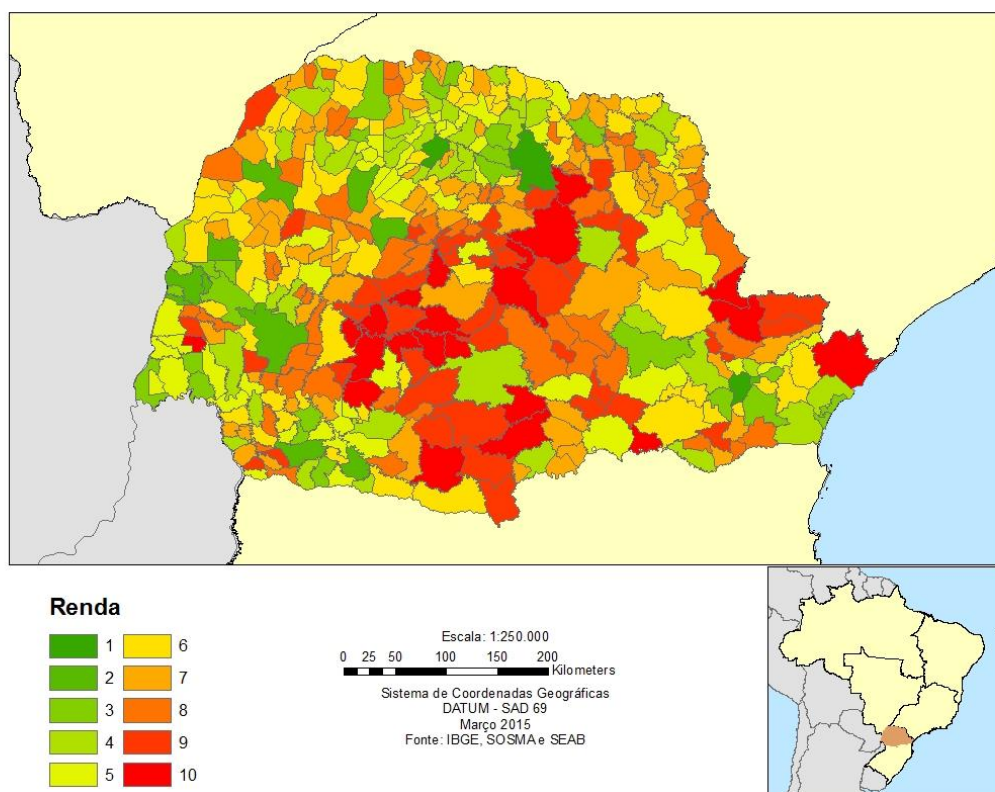


Figura 44: Vulnerabilidade dos remanescentes à renda no Paraná.

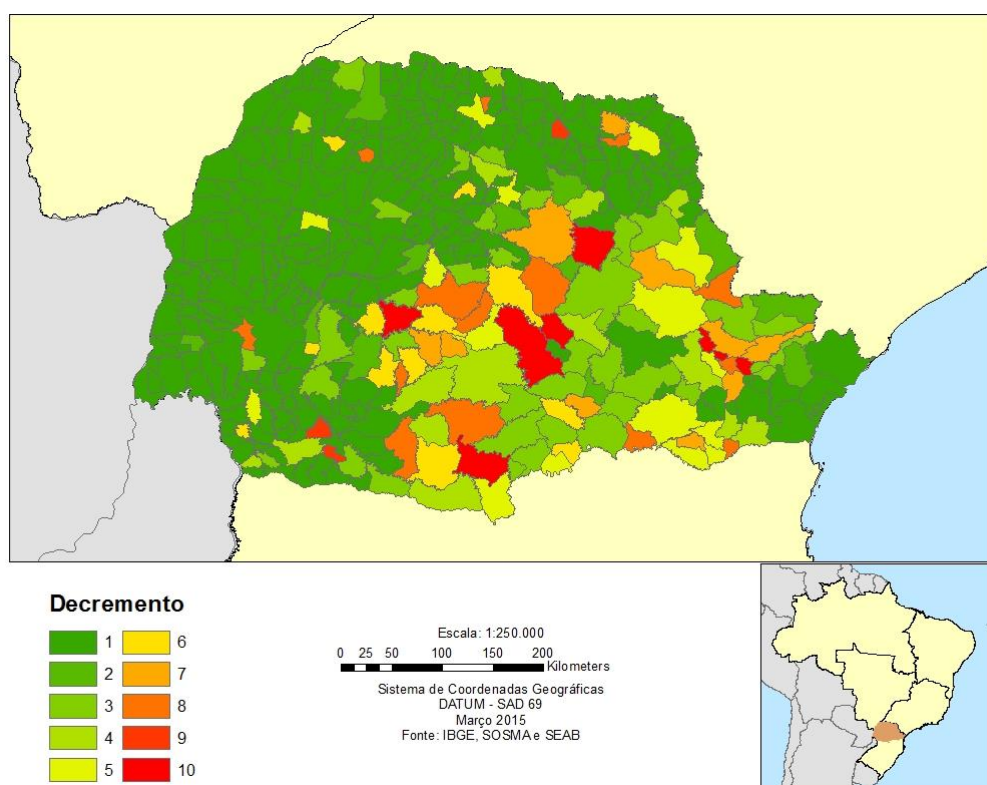


Figura 45: Vulnerabilidade dos remanescentes ao decremento no Paraná.

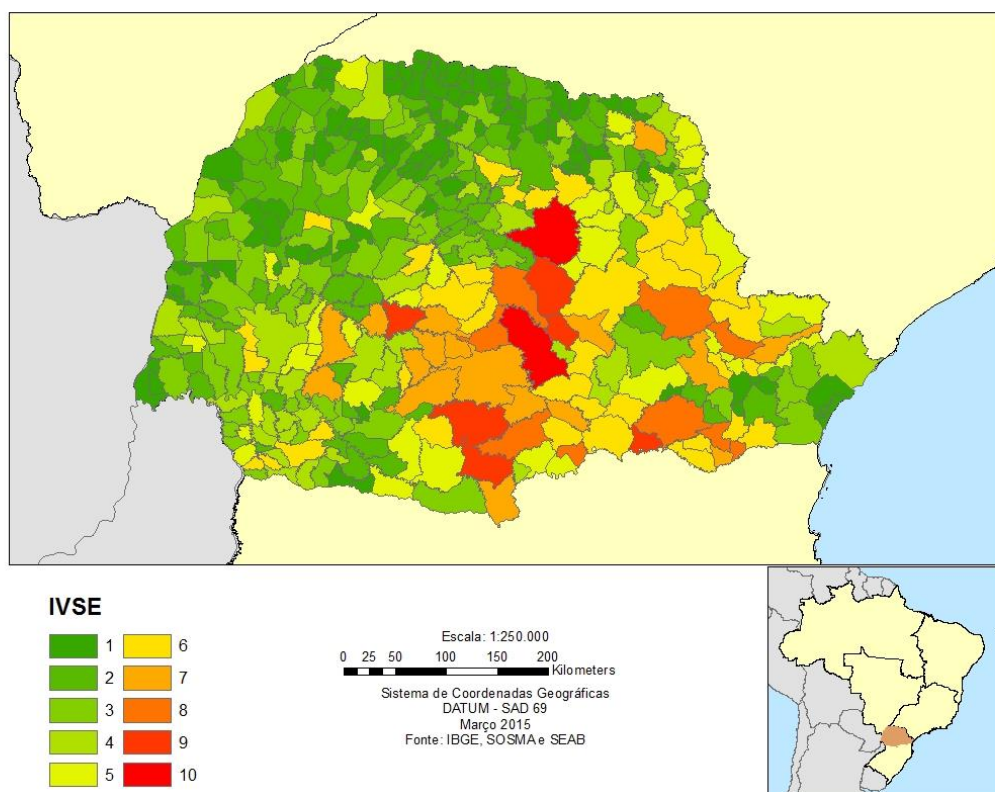


Figura 46: IVSE dos Municípios do Paraná.

A aferição direta do decremento da vegetação remanescente apresentou municípios com maiores valores próximos ao centro do estado, assim como na região em torno da capital Curitiba. Os 5 municípios de menores valores de rendimento são respectivamente: Colombo, Bituruna, Telêmaco Borba, Ivaí e Prudentópolis.

As mesorregiões Centro-Sul, Centro-Oriental, Sudeste e parte da Metropolitana apresentaram os valores mais elevados de IVSE. Os 10 maiores índices corresponderam, respectivamente, aos municípios de Ortigueira, Prudentópolis, Bituruna, Reserva, Antônio Olinto, Pinhão, Palmital, Ivaí, Lapa e Agudos do Sul.

8.3. Etapa 3

Após a obtenção dos resultados do IVSE, foram iniciados os cálculos do IDRM, necessários para determinar o índice de vulnerabilidade final. A classificação de Jenks para a densidade de remanescentes por município determinou os intervalos de classes identificados pela Tabela 43. Ocorreram diversos casos na qual o IDRM foi nulo, ou seja, não haviam remanescentes de vegetação nativa contabilizados pelo IBGE (2014).

Tabela 43: Classes do IDRM a partir do critério de Jenks.

Intervalo de Jenks	Densidade de remanescentes (%)
1	0,00211
2	0,010592
3	0,023165
4	0,042241
5	0,068965
6	0,097691
7	0,148597
8	0,226758
9	0,373586
10	0,590649
Limite	0,842116⁴²

Em seguida, foram multiplicados os valores de IAFP pelo IVSE e sua subsequente reclassificação em 10 classes, obtendo o IVAF. Este então foi multiplicado pelo IDRM, resultando no Índice de Vulnerabilidade Antrópica dos Remanescentes – IVAR para cada cenário de estudo. As figuras 47 a 50 apresentam os resultados obtidos para o modelo HadGEM2-ES.

⁴² As classes devem ser entendidas como maior ou igual (\Rightarrow) ao valor ilustrado.

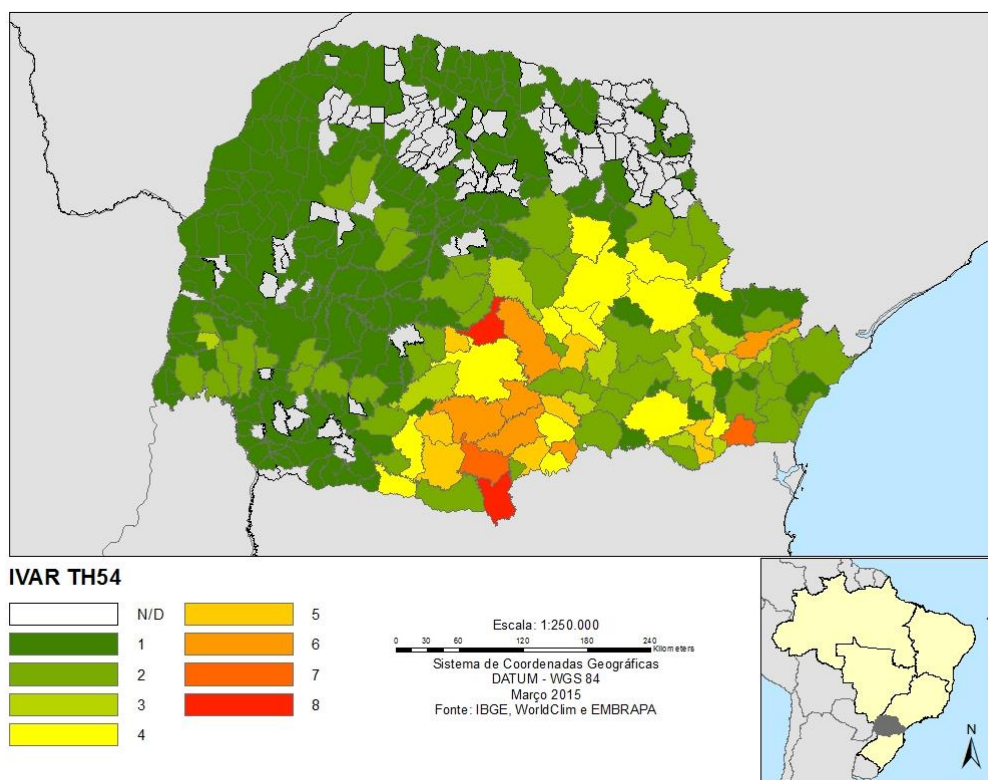


Figura 47: IVAR do cenário TH54.

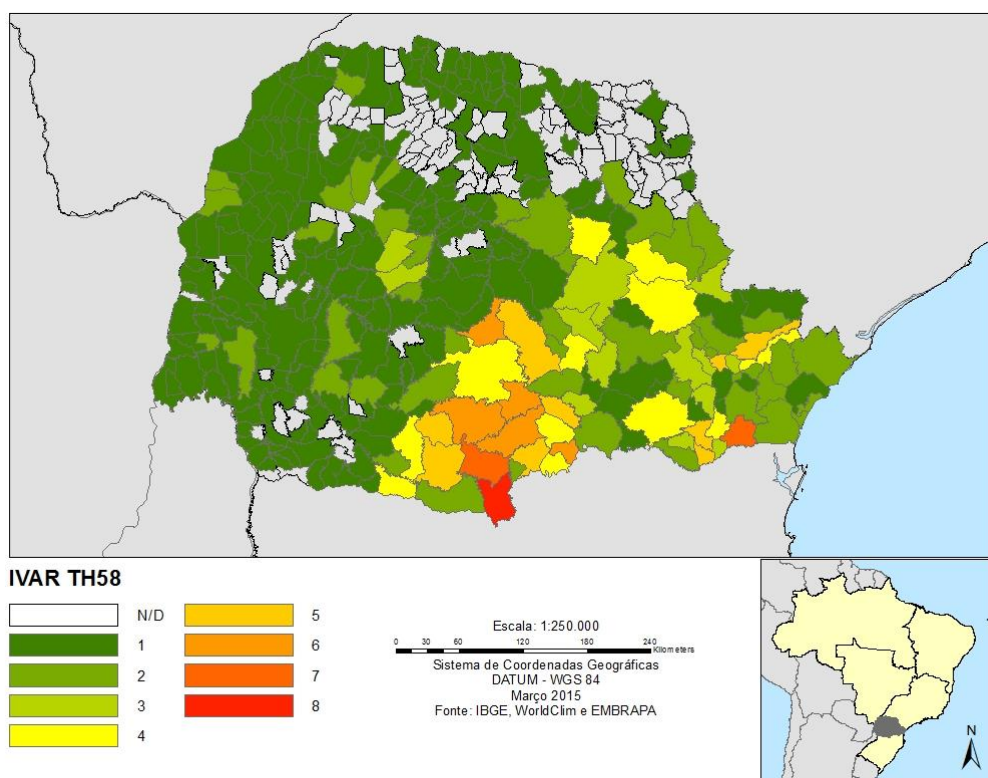


Figura 48: IVAR do cenário TH58.

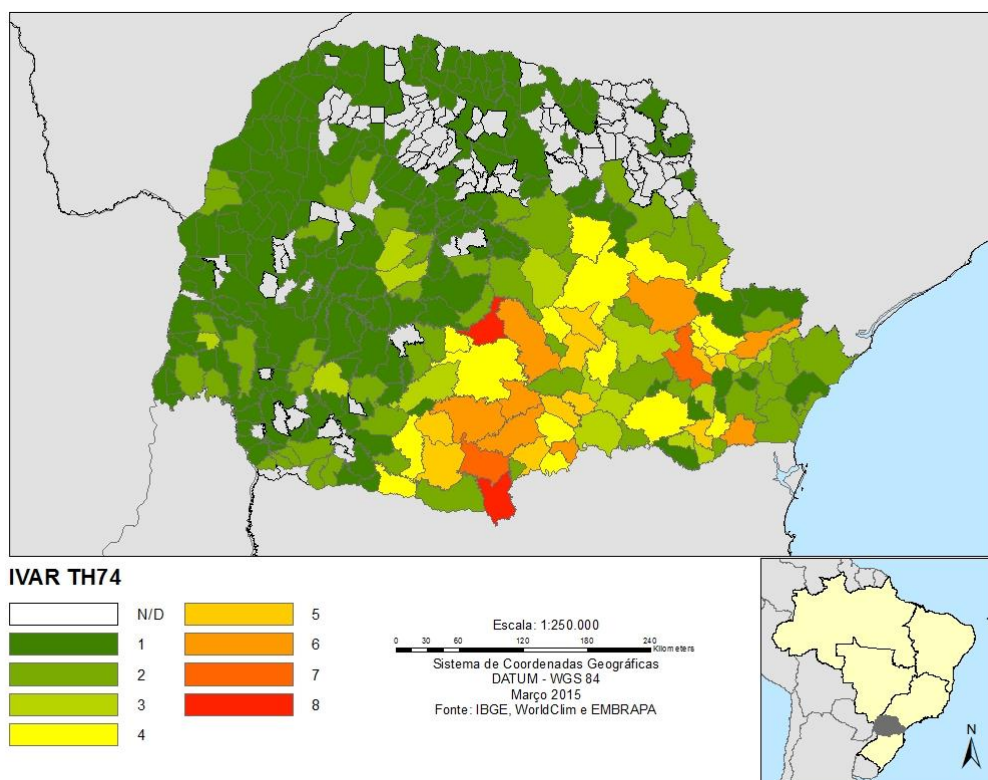


Figura 49: IVAR do cenário TH74.

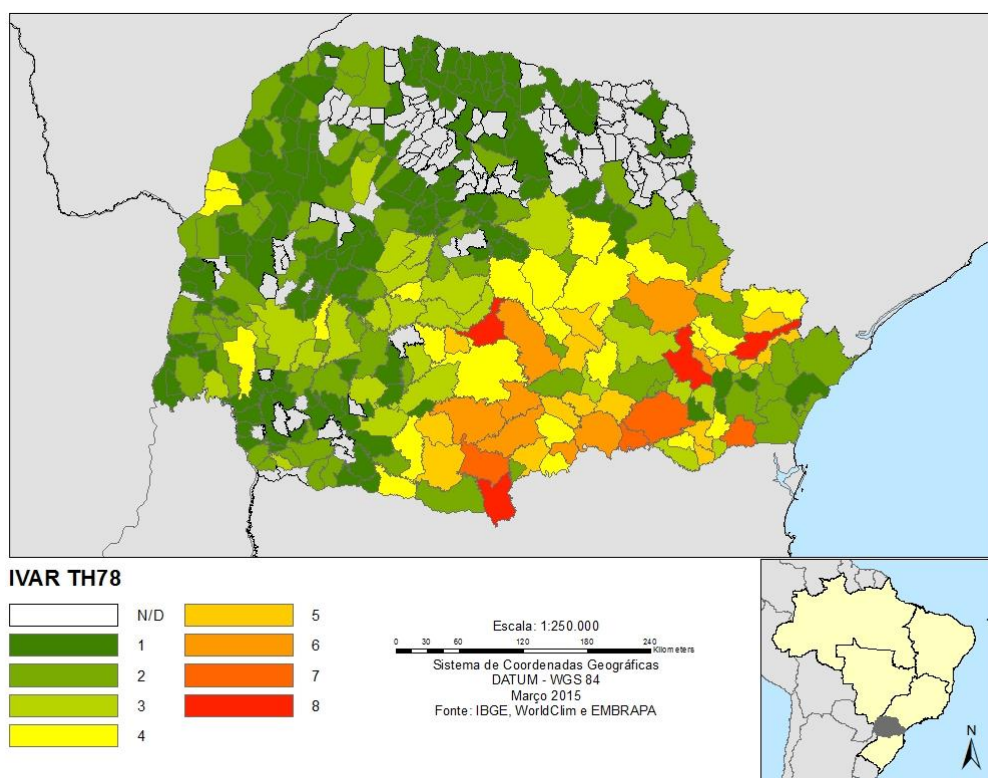


Figura 50: IVAR do cenário TH78.

No modelo do HadGEM2-ES pode se perceber que os remanescentes com maior vulnerabilidade antrópica estão nas mesorregiões Centro-Sul, Sudeste e Centro-Oriental,

e partes da Sudoeste e Metropolitana. No cenário TH78, o extremo de emissão, ocorre uma elevação geral do IVAR pelo estado, afetando significativamente até as mesorregiões Oeste, Noroeste e Metropolitana, enquanto que a região litorânea (1a e 1b) permanecem com valores baixos. Os municípios que apresentaram maiores valores são os de Bocaiúva do Sul, Campo Largo, General Carneiro, Turvo, Antônio Olinto, Bituruna, Lapa e Tijucas do Sul.

As figuras 51 a 54 apresentam os resultados obtidos para o modelo MIROC5.

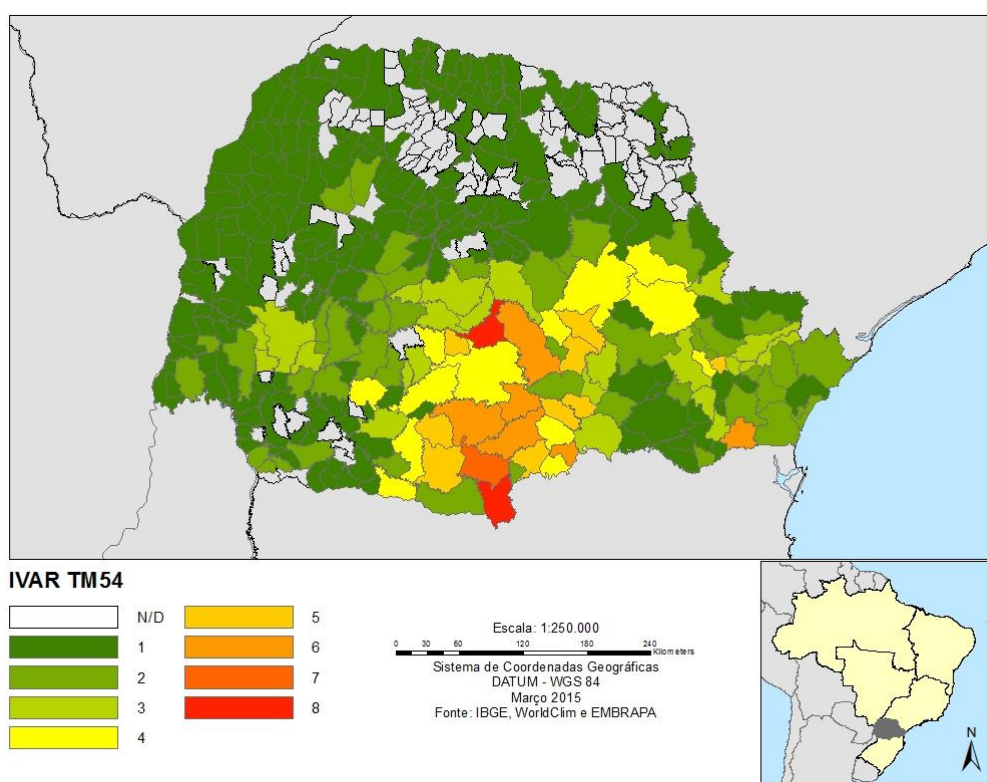


Figura 51: IVAR do cenário TM54.

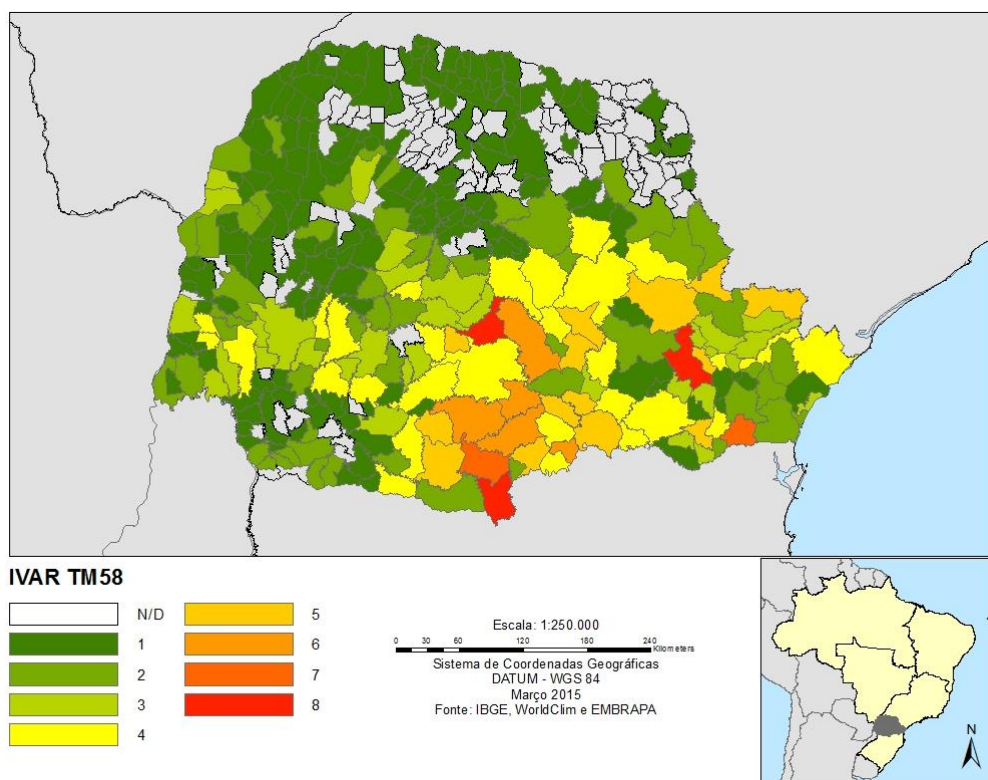


Figura 52: IVAR do cenário TM58.

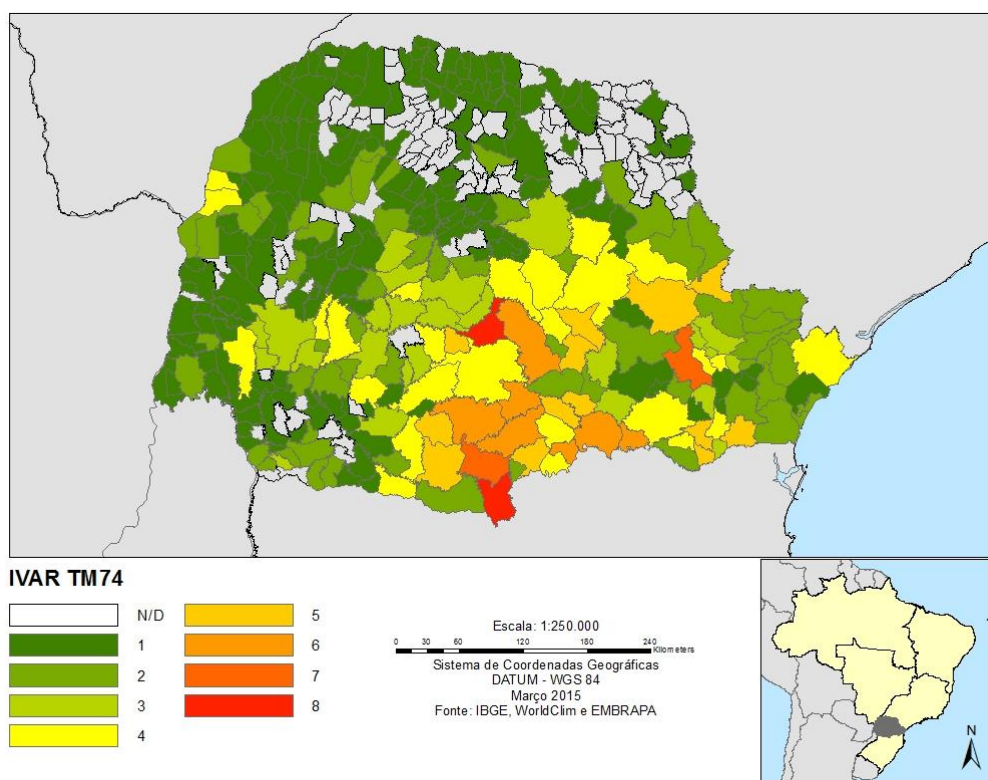


Figura 53: IVAR do cenário TM74.

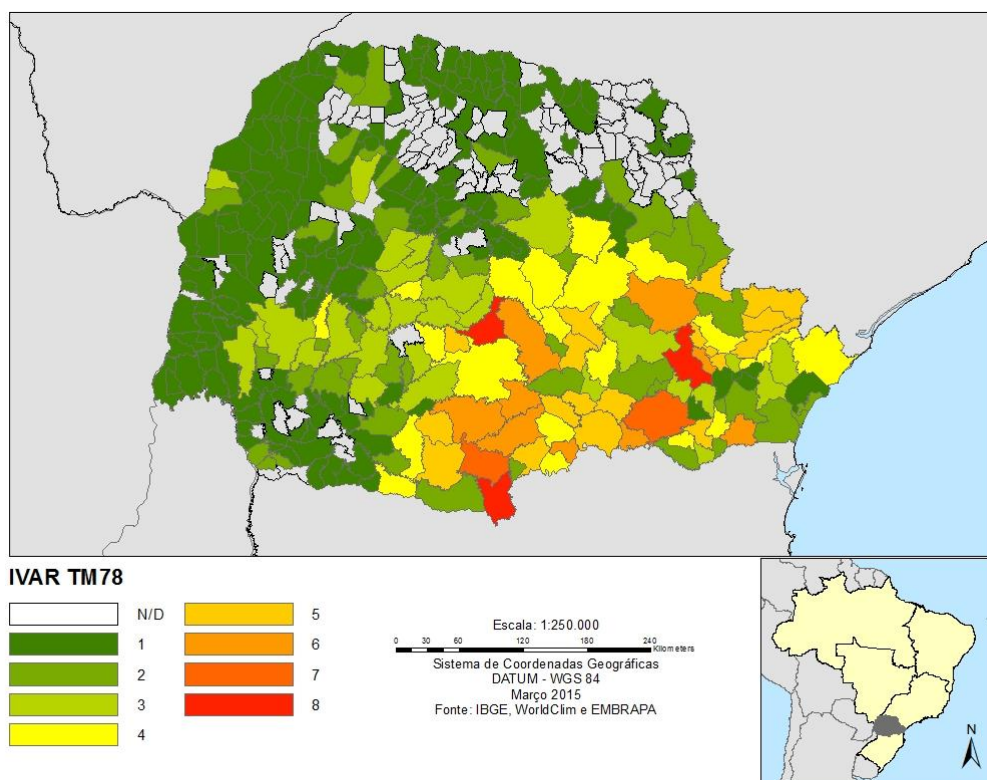


Figura 54: IVAR do cenário TM78.

No modelo do MIROC5 pode se perceber que os remanescentes com maior vulnerabilidade antrópica estão nas mesorregiões Oeste, Centro-Sul, Sudeste e Centro-Oriental, e partes da Sudoeste e Metropolitana, incluindo a região litorânea (1a e 1b). No cenário TM78, o extremo de emissão, não apresenta um padrão de distribuição de IVAR mais extenso pelo estado, condizente com os percentuais similares de alteração encontrados neste modelo. Os municípios que apresentaram maiores valores são os de Campo Largo, General Carneiro, Turvo, Bituruna e Lapa.

Em ambos os modelos, os municípios com remanescentes de Floresta Ombrófila Mista (8) são aqueles de maior vulnerabilidade antrópica em todos os cenários analisados. As mesorregiões Oeste, Noroeste, Norte Pioneiro e norte da Norte Central apresentaram em geral valores mais baixos de IVAR, assim como o norte do estado apresenta majoritariamente os municípios sem remanescentes.

Os parques tomados como exemplo estão em situações diferentes. O Parque Nacional do Iguaçu se apresentou em uma região relativamente menos vulnerável às ações antrópicas, enquanto que o Parque Estadual das Lauráceas está localizado em uma região de vulnerabilidade moderada a alta.

Por fim, foram calculadas as emissões potenciais das mudanças da cobertura fitofisionômica dos remanescentes para cada cenário de acordo com a metodologia proposta, organizadas na Tabela 44.

Tabela 44: Emissões líquidas da alteração fitofisionômica potencial por cenários.

Cenário	Emissões potenciais líquidas	
	Gg C	Gg CO₂
TH54	65.657,86	240.745,48
TH58	59.121,24	216.777,87
TH74	74.283,19	272.371,68
TH78	127.864,3	468.835,77
TM54	71.288,52	261.391,25
TM58	107.378,5	393.721,17
TM74	97.812,33	358.645,21
TM78	91.498,67	335.495,12

8.4. Discussão

Após a observação dos resultados, deve-se aludir a algumas questões sobre a metodologia responsável pela criação do modelo Edafo0, elucidando o seu potencial de utilização. Esta metodologia pode ser utilizada para:

- Identificar indutivamente padrões edafoclimáticos associados a tipos fitofisionômicos de uma região a partir do treinamento por meio de pontos de controle;
- Extrapolar a classificação da VD a partir da aplicação do modelo treinado para outras regiões com base nos das VPs de cada local;
- Prever a classificação da VD de uma mesma região para distintos cenários futuros de alterações nas VPs.

Esta metodologia não serve para:

- Determinar a velocidade de alteração da cobertura vegetal de uma região;
- Determinar o aparecimento de outras categorias de vegetação não identificadas nos pontos de controle;
- Aferir os efeitos de relações ecológicas complexas frente às mudanças climáticas.

A modelagem determina padrões de associação de forma indutiva a partir de bases de dados, apresentando uma grande flexibilidade quanto a padrões e tipos de variáveis, facilitando sua adaptação para diversos estudos. Ainda assim, não incorpora o efeito de

relações ecológicas complexas, como a resiliência ecossistêmica ou interações ecológicas que não alterem o ambiente, como a influência do efeito de borda e o tamanho/formato dos fragmentos para a manutenção de populações viáveis. No entanto, esta interação pode ser inserida posteriormente com um refinamento da metodologia, tanto por meio de fatores de resistência a alteração (baseados em um bônus na probabilidade de permanecer a cobertura existente) relacionados ao estado de preservação ou distância de áreas degradadas, ou ainda mais generalizados como taxas intrínsecas a cada fitofisionomia, determinadas por especialistas (indutiva ou dedutivamente).

Após estas considerações será discutida a aplicação do modelo ao Paraná. De modo geral, os resultados obtidos a partir de Edafo0 foram satisfatórios. A análise das VPs para a discriminação entre os tipos fitofisionômicos gerou a Tabela 45, que ordena as mesmas quanto ao número de vezes que se apresentaram como principais discriminantes nas comparações entre classes par a par (10 combinações totais):

Tabela 45: Percentual de relevância de cada VP para as comparações entre as fitofisionomias.

	VP	% de relevância
BIO1	Temperatura média anual	90%
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio	90%
RELEVO	Relevo	90%
BIO2	Amplitude térmica diária média	70%
BIO3	Isotermalidade	70%
BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente	70%
BIO15	Sazonalidade da precipitação	70%
BIO14	Precipitação do mês mais seco	50%
TEXTURA	Textura	50%
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente	40%
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio	40%
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco	40%
BIO13	Precipitação do mês mais chuvoso	40%
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio	10%

Em contrapartida, a lista de VPs abaixo identifica aquelas que não se apresentaram como principais para diferenciar os tipos fitofisionômicos em nenhuma comparação entre classes:

- BIO4 = Sazonalidade da temperatura (desvio padrão*100)
- BIO8 = Temperatura média do trimestre mais chuvoso
- BIO12 = Precipitação anual
- BIO16 = Precipitação do trimestre mais chuvoso

- BIO17 = Precipitação do trimestre mais seco
- BIO18 = Precipitação do trimestre mais quente
- Altitude

Ao se comparar as VPs encontradas como principais com as esperadas pela revisão bibliográfica nota-se uma grande sobreposição (7 de 10) destas, indicando uma congruência dos resultados com outros trabalhos realizados. Das 14 VPs (do total de 21) identificadas como principais discriminantes da vegetação, 8 são relacionadas à temperatura (BIO1 a BIO11) e somente 4 (BIO12 a BIO19) relacionadas à precipitação. Tal situação está alinhada com o que diversos autores (BEHLING *et al.*, 1998, 2005, 2007a, 2007b; PASSEDA *et al.*, 2004, 2010; LEONHARDT & LORSCHKEITTE, 2010; JESKE-PIERUSCHKA, 2011; MAACK, 2012) afirmam sobre a classificação climática atual, com elevação da umidade e chuvas em todos os meses do ano a partir do quaternário recente, de modo que a precipitação não se apresenta mais como um grande limitador.

A altitude pode não ter sido considerada como VP principal por fatores como a maritimidade e orientação do relevo. Estes outros fatores, como disposto no capítulo 3 (ver MME, 1983, RAVEN *et al.*, 2001) geram distintos nichos edafoclimáticos nas mesmas curvas hipsométricas no estado, o que interfere na identificação pelo modelo proposto. Não obstante, a temperatura pode já ter captado parte de sua contribuição para a separação entre classes, podendo até ser considerada como uma variável redundante, passível de eliminação em estudos futuros.

A precisão geral do modelo Edafo0 a partir das 21 VPs para a identificação das fitofisionomias sobre o MVP do MME (1983) foi elevada (89,01%). Este resultado respalda a consistência das associações edafoclimática descritas pelo trabalho do RADAMBRASIL. No entanto, para as classes de Estepe (5) e Savana (11), a precisão individual, respectivamente de 31,30% e de 54,20%, foi consideravelmente abaixo do CMC almejado, de 60,26%. Esta baixa precisão pode ter ocorrido por alguns fatores relacionados a erros, incluindo aqueles externos ao trabalho (na medição das VPs, generalizações de escalas, dos MCGs, dos softwares usados) e internos (falta de VPs importantes, erro humano, erro de informações incompletas – pressuposto 4).

Uma hipótese alternativa para esta diferença na precisão de Edafo0 para tais fitofisionomias pode ser construída a partir do trabalho de diversos autores (DEAN, 1996;

OLIVEIRA, 2007; BEHLING & PILLAR, 2007; JESKE-PIERUSCHKA, 2011; MAACK, 2012). A alteração do clima da região desde o quaternário recente para uma situação de baixo estresse hídrico por ausência de precipitação gerou um ambiente mais favorável às matas, e que a intervenção humana foi o maior limitador da alteração da cobertura vegetal para as novas condições edafoclimáticas. Deste modo, a falta de precisão do modelo para estas fitofisionomias não é um erro, mas sim expressa a percepção de condições edafoclimáticas que não condizem com a vegetação presente ou previstas pelos MPVs existentes, reforçando as conclusões dos trabalhos citados. Não obstante, alguns resultados encontrados neste estudo reforçam esta hipótese, os quais podemos citar:

- A. Os mapas dos MVPs de MME (1983) e de MAACK (2012) apresentam tanto distribuições espaciais quanto percentuais⁴³ das fitofisionomias do Paraná discrepantes, principalmente para as espécies campestres: MME (1983) - Campos limpos e campos cerrados (5 e 11) = 5,6%; Matas (6, 7 e 8) = 87,0%; Outros = 7,3%; MAACK (2012) - Campos limpos e campos cerrados (5 e 11) = 15,17%; Matas (6, 7 e 8) = 83,40%; Outros = 1,41%. Ambos modelos foram realizados por especialistas desta temática, mas foram desenvolvidos com respaldo de extensos trabalhos de campo sobre a vegetação remanescente no local, além de aproximadamente 20 anos de diferença, sendo que as maiores áreas de campo previstas são dos levantamentos dos anos 1950-60;
- B. A literatura citada apresenta diversos trabalhos que remetem que a diferença da precipitação, em especial períodos de seca prolongada, são o principal fator de discriminação das matas dos campos. Em especial, o trabalho de SAATCHI *et al.* (2007) afirma que somente as camadas do WorldClim relacionadas à precipitação foram determinantes para a distinção entre categorias de biomassa; as fitofisionomias com biomassas inferiores a 100

⁴³ MME (1983): Estepe (5) = 3,9% %; Savana (11) = 1,7%; Floresta Estacional Semidecidual = 37,9% Floresta Ombrófila Densa = 4,3%; Floresta Ombrófila Mista = 44,8; corpos hídricos, formações pioneiras, refúgios vegetacionais, mangues e contatos vegetacionais (Outros) = 7,3%. MAACK (2012): Campos limpos e campos cerrados (5 e 11) = 15,17%; Mata pluvial tropical= subtropical (6 e 7) = 46,72%; Mata de araucária e mata subtropical acima de 500 m (6 e 8) = 36,67%; Mangues, várzeas, restingas e pântanos (Outros) = 1,41%.

tC/ha, como savana e estepe, ocorrem em regiões com ao menos 6 meses secos⁴⁴, e florestas abaixo de 4 meses, com as áreas de maior densidade de carbono correlacionadas com a diminuição da restrição hídrica. O Paraná apresenta chuvas distribuídas por todo o ano todo, com o trimestre mais seco apresentando uma média de 284 mm (+/- 73 mm), o que resulta em poucas áreas possíveis de restrição hídrica por períodos prolongados. Ainda, os resultados das VPs principais para as alterações entre fitofisionomias não indicaram que a restrição da precipitação favorecesse a Savana (11) em detrimento das Florestas Estacionais Semidecíduais (6) e das Florestas Ombrófilas Mistas (8), e, ao contrário do esperado, o aumento da VP precipitação do mês mais seco (BIO14) favoreceu a expansão da estepe sobre estas duas matas. Tal situação permite a conjectura de que não se encontram predomínio de áreas associadas a estresse hídrico ou que exista no local de estudo uma correlação entre a baixa precipitação e os campos existentes, corroborando a hipótese proposta;

- C. A sugestão de que o erro da precisão estaria atrelado a uma quantidade insuficiente de informações para calibrar o modelo decorrente ao baixo percentual de ocorrência de Estepe (31,30% de precisão e 3,9% de distribuição) e Savana (54,20% de precisão e 1,7% de distribuição) pode ser descartado quando se compara com a precisão da Floresta Ombrófila Densa, que apesar de apresentar uma pequena distribuição potencial no estado (4,3%), foi corretamente classificada 94,50% das vezes. Assim, uma razão possível para a baixa precisão na classificação das espécies campestres seria que o modelo não detectou ecótonos edafoclimáticos de grande significância para distinguir estas categorias das matas, apesar de fisiograficamente existir. Esta situação é descrita por Prentice (1992) como uma histerese;
- D. Por fim, o anexo 6 apresenta os erros de classificação cruzada entre cada classe fitofisionômica. O que pode se observar é que para a estepe, dos 68,66% dos erros de classificação, 99,52% foram para matas e somente 0,48% para a savana; a savana, de seus 45,84% de seus erros, 99,38% foram alocados como matas e somente 0,62% como estepe. Se estes erros se

⁴⁴ O autor considera que meses com precipitação inferior a 100 mm no mês indicam um período seco para matas tropicais pluviais úmidas.

apresentassem aleatoriamente era de se esperar que sua distribuição fosse proporcional às distribuições finais da vegetação. No entanto, existe uma polarização da alocação de pontos das espécies campestres para as matas, especialmente para a Floresta Ombrófila Mista (acima de 98% em ambos os casos), o que pode indicar a maior facilidade de alteração entre esta fitofisionomia e as campestres, fenômeno observado na modelagem dos cenários climáticos futuros.

Dada a dificuldade de identificação das formações pioneiras, é recomendado que se busque outras variáveis precursoras que possam auxiliar na precisão de modelos futuros e para permitir a discriminação dessas classes fitofisionômicas. Com base nos resultados e no capítulo 3, são sugeridas as seguintes VPs:

- Intensidade eólica;
- Direção eólica;
- CAD;
- Balanço da radiação solar;
- Proximidade de corpos hídricos;
- Umidade relativa;
- Maritimidade;
- Curvas Ombrotérmicas
- Orientação do relevo quanto:
 - À incidência dos raios solares (N/S);
 - À linha da costa.

O Modelo Edafo0 ainda apresentou um excelente potencial para a modelagem da dinâmica de alteração da vegetação natural frente às mudanças climáticas. A análise dos dois cenários indicou que, para ambos MCGs, as alterações climáticas previstas para os anos de 2050 e 2070 inverteram a direção de estabilização da vegetação potencial do estado, ou seja, a volta de condições que favorecem o predomínio dos campos sobre as matas. Não obstante, os percentuais de alteração da vegetação potencial esperada, entre aproximadamente 40 e 83%, são de grande preocupação para o estado e as iniciativas de conservação, tanto atuais quanto futuras. De modo geral, o IAFP (anexo 8) apresentou valores mais baixos para as regiões norte, noroeste e oeste, infelizmente coincidente com as regiões de menor percentual de remanescentes.

Apesar de indicarem valores elevados, essa alteração esperada da vegetação potencial em amplas regiões está dentro da variação encontrada em outros trabalhos da literatura. Um caso particular de destaque, o estudo de HICKLER *et al.* (2012) analisou a vegetação potencial da Europa nos cenários climáticos de dois AOMCGs (HadCM3 e NCAR-PCM; cenário SRES A2), e seu modelo apresentou uma precisão de 86% com o MPV de treino. As simulações até 2085 mostraram consideráveis mudanças sucessionais em tipos de vegetação na maioria das áreas, chegando a alterações em 31-42% da área total da Europa. No longo prazo, o equilíbrio das alterações da vegetação como o novo cenário climático se dará em 2500 (segundo os autores, 300 anos é uma estimativa média aceitável para este processo) sugerem que 76-80% da superfície terrestre Europeia estará coberta por um diferente tipo de vegetação potencial. Ainda, foi previsto pelo modelo a alteração generalizada de florestas para vegetação arbustiva no sul da Europa, como resultado de secas.

Especificamente sobre os MCGs utilizados, para os resultados encontrados do modelo do HadGEM2-ES notou-se uma alteração mais gradual com o aumento da intensidade do forçamento radiativo e a passagem do tempo. O alastramento da fitofisionomia Savana (11) foi condizente com os locais que já apresentam manchas reais ou potenciais desta vegetação previstas pelos MVPs do RADAMBRASIL e de MAACK. Não obstante, a serra do Mar aparenta atuar como uma barreira eficaz para as fitofisionomias campestres, impedindo seu alastramento para a região litorânea, o que deve estar relacionado à umidade das chuvas orográficas e isothermalidade proveniente da maritimidade.

Para o modelo do MIROC5, os cenários TM58, TM74 e TM78 apresentaram percentuais próximos de alteração, em torno de 66%, sendo que estes dois primeiros também apresentaram distribuições fitofisionômicas semelhantes. A alteração da vegetação na região litorânea de Floresta Ombrófila Densa para outras tipologias, especialmente Floresta Ombrófila Mista no cenário TM58, não apresenta muita credibilidade. O clima da região sofre influência do Anticiclone do Atlântico Sul e das massas de ar frio originárias na região antártica no inverno, com frentes frias de direção SW-NE originadas a sudeste da América do Sul; no verão são intensificados os Anticiclones secundários produzindo frentes quentes. Ambos fenômenos são bloqueados pela Serra do Mar, de modo que a região apresenta fatores que favorecem a manutenção da precipitação elevada durante todo o ano. Estes resultados podem estar atrelados a uma

baixa adequação do modelo ao litoral do estado, sendo aconselhado a utilização de um RMC com adaptações às características locais acoplado ao MCG MIROC5 para sanar esta dúvida. Outra hipótese seria o favorecimento de outra fitofisionomia não trabalhada pelo modelo, como as formações pioneiras, exigindo uma análise mais aprofundada da questão.

Apesar disso, o trabalho de PENALBA & RIVERA (2013) relata que vários trabalhos sobre cenários futuros apresentarem evidências de tendências positivas de precipitação total sobre o sul da América do Sul, mas com um alto grau de não-linearidade, e algumas regiões apresentam uma reversão em seu sinal após 1990. Em conjunto com seus resultados de previsão de aumento de mais de 30% na frequência de secas e mais de 10% na severidade de secas no período 2011-2040 para a Bacia do Prata baseados em diversos MCGs (como o MIROC5), inclusive nesta região do litoral do Paraná, é possível esperar um aumento futuro na variabilidade sazonal e interanual de precipitação além de secas mais frequentes e intensas. Tal situação corrobora o resultado aqui encontrado para este cenário, incluindo os percentuais de alteração fitofisionômica potencial para 2070, com o RCP4.5, de temperatura média mais baixa, apresentando um favorecimento de estepe (TM74; 51,7%), enquanto que o TM78 favorecendo a savana (TM78; 44,9%), mas ambos apresentando uma alteração similar (66,11% e 68,84, respectivamente).

CHOU (2014b) avaliou as simulações do MCR Eta acoplado nos MCGs HadGEM2-ES e MIROC5, os quais resultaram numa grande mudança na precipitação Sudeste do Brasil, sua redução até final do século. Não obstante, eventos de chuvas extremamente fortes se tornam mais frequentes nesta região, enquanto é observada uma redução da taxa de chuvas fortes nos locais que apresentam redução no total de precipitação anual, com a região entre o Sul e Sudeste do Brasil apresentando sinais mistos de mudanças de precipitação. O aumento da sazonalidade e a redução de precipitação encontrada para a região por esta autora também reforçam os resultados encontrados neste trabalho.

Outros trabalhos avaliaram estes dois MCGs quanto a região de estudo. SILVEIRA (2013) avaliou 7 modelos do CMIP5 em diferentes configurações para 3 regiões da América do Sul quanto o regime sazonal, interanual e interdecadal de chuvas quando comparados com dados observacionais de 1901 a 1999. Também avaliou as projeções fornecidas pelos modelos globais do CMIP5 para o cenário RCP8.5 no período de 2010

a 2099, as quais apresentaram grande divergência. O modelo HadGEM2-ES superestima a precipitação climatológica para a Bacia do Prata em todos os meses, com um total anual 30% acima do observado. Apresenta também erros na distribuição sazonal da precipitação, subestimando a contribuição percentual das chuvas no primeiro e último trimestre do ano para o total anual e superestimando-a nos demais períodos. Quanto as projeções climáticas, o HadGEM2-ES indica anomalias de precipitação positivas ao longo de todo ano para a mesma bacia.

SAMPAIO (2012) realizou uma análise da distribuição da vegetação potencial com o modelo CPTEC-PVM2 para os cenários globais do AR4 e AR5 do IPCC, e identificou as áreas com maior probabilidade de mudança na vegetação no Brasil. No entanto, as regiões Sudeste e Sul não apresentam maiores alterações nos biomas, o que pode ter sido ocasionado pela baixa definição/escala do modelo.

SANTOS *et al.* (2015) fez uma comparação da precipitação com 3 modelos (incluindo o MIROC5) para diversas regiões da América Latina no cenário RCP 2.6 com o método REA. Seu resultado indicou que existe uma alta confiabilidade das simulações, e que os modelos estudados neste cenário apresentam informações bastante consistentes do clima futuro.

Com relação à vulnerabilidade socioeconômica municipal dos remanescentes naturais, destacam-se os municípios cujas condições médias de renda, produção de lenha, desmatamento e quantidade de unidades agropecuárias são expressivas. Assim como afirmado por YOUNG (2005), o incremento populacional não foi relacionado a índices maiores de desmatamento, o que é considerado como algo positivo, uma vez que ações de transformação que consigam manter ou elevar a população em áreas rurais, como incentivo à agricultura familiar, não devem causar diretamente o aumento da degradação ambiental. Os municípios localizados na região central do estado e logo acima da capital Curitiba apresentam valores de IVSE mais elevados. Para estes municípios, recomenda-se estudos de vulnerabilidade mais detalhados, uma vez que devem ser os que necessitam de um esforço maior de adaptação. Algo a ser ressaltado é que os municípios próximos a capital apresentaram um elevado decréscimo da vegetação, o que pode ser correlacionado a demanda de espaço próximo a região metropolitana.

Especificamente, os municípios no qual o Parque Nacional do Iguaçu está localizado apresentam valores ≤ 3 , baixos, enquanto que os municípios que abrangem o

Parque Estadual das Lauráceas se encontram com valores médios. Esta situação pode ser um indicativo da quantidade de pressão antrópica cuja cada uma dessas manchas florestais se encontra, auxiliando na gestão destas UCs quando caracteriza as principais ameaças do seu entorno e permitindo a formulação de ações mais objetivas.

O trabalho de CHANG (2013) sobre a vulnerabilidade do Paraná a extremos climáticos apresentou um quadro socioeconômico bem similar, apesar de utilizar indicadores diferentes. Com base em um índice composto de valores de renda média, habitação, educação, e saneamento básico, destacaram-se negativamente os municípios localizados na região central do estado e nas fronteiras com maiores dificuldades de acesso. Não obstante, a ferramenta utilizada de gráfico radar se mostrou bem útil ao permitir a análise do perfil de vulnerabilidade socioeconômica municipal por meio dos indicadores individuais da vulnerabilidade socioambiental, ressaltando os aspectos mais importantes para a vulnerabilidade de cada local.

Futuramente, para minimizar a influência do tamanho do município nos resultados do IVSE, é recomendado que se divida os indicadores brutos ou por população ou por extensão territorial. Por outro lado, municípios de áreas mais extensas apresentam intrinsecamente uma maior complexidade de gestão, em especial para as atividades de monitoramento e fiscalização ambiental, o que facilita a degradação de ambientes naturais. Deste modo, permanecer com esta etapa tendenciosa ao tamanho pode compensar a fragilidade das ações de comando e controle para vastas áreas, dada a situação de baixa alocação de recursos e capacitação dos órgãos ambientais municipais brasileiros (REGRA, 2013). Espera-se que estudos mais aprofundados sobre tal ponderação metodológica possam sanar esta questão.

O Índice de Vulnerabilidade Antrópica dos Remanescentes (IVAR) apresentado aqui visa auxiliar no diagnóstico da situação futura de cada município, relacionando ameaças antrópicas locais, de bases socioeconômicas, e as globais, o aquecimento global, com as áreas naturais existentes. Os municípios onde o IVAR é elevado são aqueles onde a vegetação remanescente apresenta maior vulnerabilidade socioeconômica e climática, indicando sua propensão a terem menos condições autônomas de enfrentamento dos efeitos das mudanças climáticas projetadas, ou seja, aquele de maior necessidade de ações de adaptação.

Para a preservação destes remanescentes, o custo da inação será alto, tanto para o capital natural quanto para o social. As alterações fitofisionômicas previstas para os remanescentes, (organizadas no anexo 7) acarretam em um panorama de perda quase total para a Mata de Araucária (Floresta Ombrófila Mista), símbolo do estado, passando de um potencial atual de 52,2% para 1,3% e 3,2% nos cenários de maior forçamento radiativo (respectivamente, TH78 e TM78). Aliado às vulnerabilidades antrópicas tradicionais, como o elevado grau de fragmentação, os danos ecossistêmicos esperados são de grande magnitude, afetando drasticamente a biodiversidade, com extinções e invasões de espécies exóticas. Não obstante, em decorrência da alteração da paisagem de uma região predominante de matas para arbustiva, danos de cunho socioeconômico também são esperados, desde culturais, como a descaracterização do estado, perda de atividades de lazer e valor de existência, mas também o aumento da erosão dos solos, da alteração do microclima local, da diminuição da infiltração de água e recarga de aquíferos e outros ainda desconhecidos. Neste panorama, a busca pela mitigação e adaptação dos remanescentes frente às mudanças climáticas se mostra imprescindível para a preservação destes ecossistemas, com a necessidade de estudos de manejo específicos para esta fitofisionomia, frisando que, quanto maior a demora para o início deste processo, maior a chance de inviabilizar ou restringir opções de ação possíveis no futuro.

Deve ser lembrado que as mudanças climáticas irão atuar em conjunto com as ameaças tradicionais, podendo apresentar impactos sinérgicos de maior intensidade do que a esperada, uma vez que devem interagir de distintas maneiras com os vetores socioeconômicos de cada local. Podem ocorrer alterações nos padrões e magnitudes de incêndios, aumento da pressão da agricultura por perda da produtividade, diminuição de recursos hídricos do entorno, entre outros, de modo que será necessário adaptar as estratégias de gestão para estes novos comportamentos. Algo a ser ressaltando é que a grande maioria das ameaças tradicionais atua de forma bidimensional, com medidas de proteção voltadas a impedir que elas invadam o perímetro das UCs; já as mudanças climáticas se comportam tridimensionalmente, virtualmente impossível de se impedir que exista uma via de exposição, de modo que os gestores não estão habituados a lidar com tal característica. Assim, como afirma HANNAH (2011), a atuação em prol de se minimizar as ameaças existentes deve ser intensificada, uma vez que os gestores podem ter algum tipo de controle sobre elas e devido a imprevisibilidade das sinergias dos

impactos conjuntos destas com as mudanças do clima, em parte devido à falta de estudos específicos de vulnerabilidade para os remanescentes. A Figura 55 ilustra esta questão.

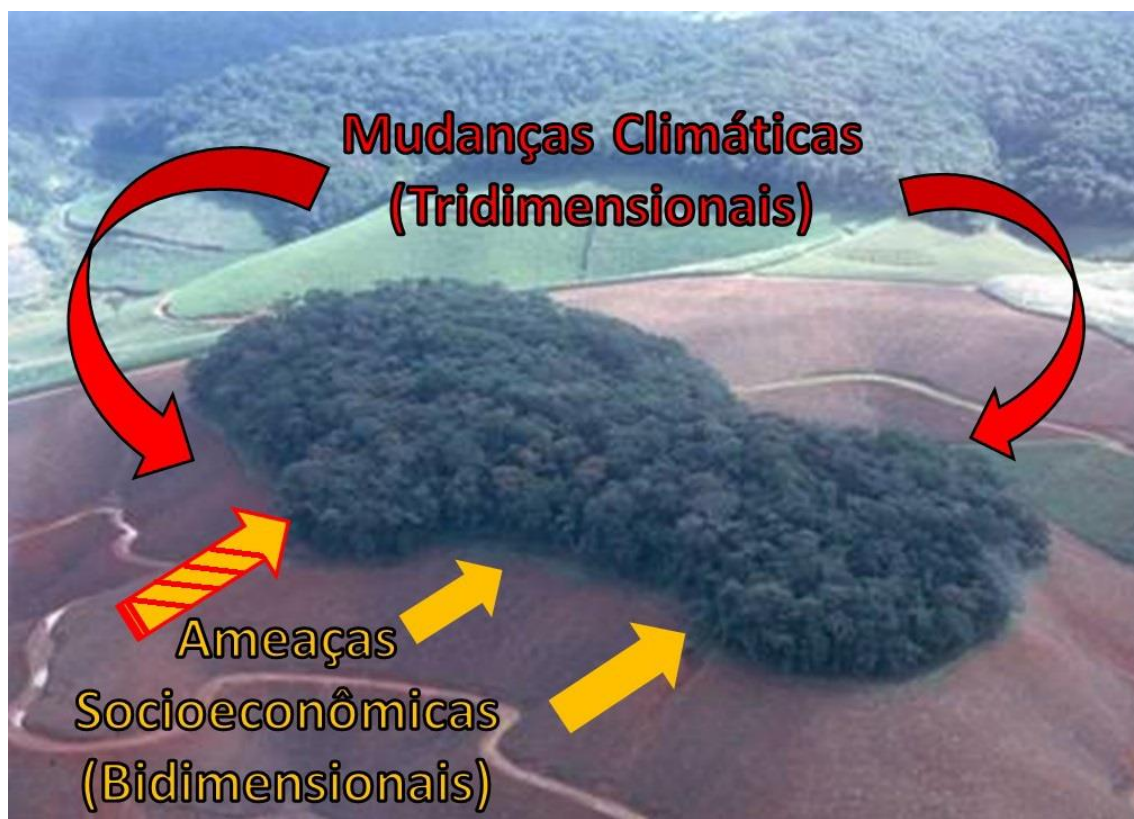


Figura 55: Dimensões das ameaças para a gestão de UCs frente às mudanças climáticas. As mudanças climáticas estão representadas em vermelho, e as ameaças tradicionais em amarelo. A seta amarela e vermelha representa uma ameaça tradicional intensificada pelas mudanças climáticas. Foto de Antônio Aguiar Neto.

Especificamente para as UCs usadas de exemplo, ambos os parques têm potencial de se tornarem uma das poucas áreas de proteção ambiental funcionais remanescentes, e não somente por serem as maiores extensões naturais do estado. O Parque Nacional do Iguaçu abrange em sua parte norte uma área de floresta ombrófila mista, e na parte sul floresta estacional semidecidual, o que indica uma heterogeneidade edafoclimática preexistente, indicando três fatores positivos para a gestão das mudanças climáticas. A primeira está relacionado ao fato de ter populações representativas de duas fitofisionomias, de modo que pode servir tanto como área-fonte de indivíduos como local receptor de ações de migração assistida; a segunda envolve a questão de apresentar uma variedade de microclimas, podendo facilitar a adaptação de espécies individuais, e ainda permitir a migração autônoma em sua extensão; a terceira envolve a sua disposição no espaço, a qual apresenta uma orientação ao longo dos gradientes de clima em todos os cenários. Nos cenários do HadGEM2-ES apresenta um equilíbrio dinâmico, uma situação de histerese entre as duas florestas citadas, e somente no TH78 perde as condições que

favorecem a mata de araucária dentro de parte de seu domínio. No MIROC5, a situação de equilíbrio passa a ser da floresta estacional semidecidual com a estepe, perdendo a mata de araucária desde o cenário mais comedido.

O parque Estadual das Lauráceas está localizado em uma região de maior estabilidade fitofisionômica frente às mudanças climáticas nos cenários do HadGEM2-ES, caracterizando-se assim como uma Refúgia para a biota, podendo abrigar elementos da floresta ombrófila densa, mas perdendo sua resistência à alteração no TH78. Já nos cenários do MIROC5 acaba por se tornar um dos poucos locais favoráveis à floresta ombrófila mista, podendo ser o destino de migrações assistidas na tentativa de salvar as espécies deste ecossistema, inclusive das populações deslocadas do Parque Nacional do Iguaçu.

Também é possível a partir desta metodologia identificar áreas de vegetação natural que apresentam o melhor potencial para ser tornar novas unidades de conservação, assim como aquelas que se encontram sob maiores riscos. Com a identificação dos fatores ambientais limitantes é possível cruzar as VPs relacionadas e ressaltar regiões de baixa, média e ótima aptidão para o objeto alvo, seja uma espécie ou locais de resistência climática para expansão de UCs. Um trabalho semelhante é o de OLIVER *et al.* (2012), que buscou alternativas de para gestão de vulnerabilidade da paisagens através de árvores de decisão para três cenários: (1) Adversas, as áreas onde as espécies apresentam sua distribuição geográfica atual, as quais se tornarão impróprias para as projeções de mudança climática; (2) Sobreposição de clima, onde existem áreas que devem permanecer climaticamente adequadas para o habitat das espécies; e (3) Novos espaços climáticos, que se refere a áreas fora da faixa atual de distribuição que são projetadas para se tornar adequadas nas novas condições. Algo que deve ser frisado é que o estado do Paraná apresenta um percentual de remanescentes naturais baixo (13%), e isto por si só é uma vulnerabilidade, a qual pode ser minimizada com a expansão de suas áreas de vegetação natural.

Esta possibilidade entra em consonância com os objetivos de conservação do estado do Paraná. Como afirma PARANÁ (2003, 2009b), instituiu-se sistemas de incentivo às Prefeituras Municipais para a criação e implementação de UCs e principalmente, as colocar à disposição da sociedade, evitando que sejam somente fragmentos isolados de recursos naturais, mas sim que sirvam para informar, apoiar, trabalhar e disponibilizar

todos os ensinamentos que a natureza dispõe para a conservação da biodiversidade. Elas representam uma das melhores estratégias de proteção do patrimônio natural nacional.

Especificamente pela dinâmica da vegetação potencial nos cenários analisados, as alterações entre tipos de vegetação irão acentuar a emissão de GEE pela liberação de biomassa acumulada, uma vez que as espécies campestres apresentam uma menor quantidade de carbono armazenada. Apesar de não se ter certeza do tempo que tal conversão levaria, estas emissões potenciais com valores líquidos totais para biomassa acima do solo entre 216.777,87 a 468.835,77 Gg de CO₂ correspondem a cerca de três a seis anos de emissões para todo o bioma Mata Atlântica entre os anos de 1994 e 2002, como a Tabela 46 aponta. Tal situação prejudicaria as metas voluntárias de redução de emissão de GEE do Brasil, podendo minimizar a capacidade nacional de atender a futuros acordos de mitigação.

Tabela 46: Emissões antrópicas líquidas de CO₂ para o período de 1994 a 2002 por bioma. MCT, 2010.

Bioma	Emissões Líquidas (Gg CO₂)	Média Anual (Gg CO₂)
Amazônia	6.886.989,00	860.874,00
Cerrado	2.421.720,00	302.715,00
Caatinga	301.027,00	37.628,00
Mata Atlântica	632.868,00	79.109,00
Pampa	-818,00	-102,00
Pantanal	129.373,00	16.172,00
Brasil	10.371.159,00	1.296.395,00

9. Conclusões e considerações finais

9.1. Conclusões

A evolução do presente estudo apresenta seu ápice na análise dos resultados da vulnerabilidade dos remanescentes de Mata Atlântica do Paraná frente às mudanças climáticas. Como pode ser observado, a hipótese proposta, de que a análise da interação dos componentes edafoclimáticos com as fitofisionomias presentes em uma região permite gerar um modelo de previsão aceitável foi comprovada, tanto para a identificação da predisposição futura da cobertura vegetal de uma região em decorrência de variação das condições ambientais como na identificação das áreas remanescentes que apresentam maior vulnerabilidade às mudanças climáticas.

Para atingir este objetivo, buscou-se na literatura informações que fundamentassem a construção de uma metodologia que abordasse adequadamente as questões relevantes sobre o tema de forma transdisciplinar. A revisão sobre os limites do bioma Mata Atlântica no Brasil permitiu a compreensão das incongruências numéricas encontradas na literatura; as principais causas destes desvios foram a alteração da delimitação da Mata Atlântica em decorrência da entrada da Lei 11.428/2006, que aumentou a escala de definição do mapeamento e em 18,5% a sua abrangência territorial, com a expansão de sua proteção à áreas com cobertura vegetal existentes, as quais não são consideradas pertencentes a este bioma pelo IBGE (2004). Não obstante, os critérios que definem o que é um remanescente natural variam entre trabalhos, metodologias e escalas de abordagem, aumentando a confusão. O instituto que realiza este levantamento com maior periodicidade e rigidez de critérios é o Instituto SOS Mata Atlântica.

O levantamento bibliográfico mostrou diversas evidências de que é possível prever as fitofisionomias predominantes de uma região geográfica pautada pela interação vegetal dos fatores ambientais locais, além dos principais métodos envolvidos. Constatou-se também a importância da identificação dos MVP's para os gestores. O conhecimento das relações edafoclimáticas e seu mapeamento são de grande relevância para inúmeras práticas de recuperação e proteção ambiental, desde na delimitação de áreas prioritárias para preservação com a identificação de regiões que apresentam um raro conjunto de condições ambientais, na criação de corredores ambientais, ou ainda no planejamento de ações de reflorestamento com espécies nativas. Como a própria SEA/INEA (2011) menciona, sua proposta de MVP visou suprir a necessidade de parâmetros para a

restauração ambiental e para a classificação dos fragmentos florestais existentes. Para CRONEMBERGER (2011), visto que em distâncias pequenas encontra-se uma grande diversidade de climas, os zoneamentos bioclimáticos são essenciais às políticas públicas, influenciando em suas propostas de ordenamento das atividades e na aptidão agrícola da região para as diferentes culturas.

Ainda, os MCGs demonstraram a sua capacidade de auxiliar na gestão dos sistemas humanos permitindo a determinação de padrões de circulação, previsões do tempo e clima, sistemas de emergência e uma ampla gama de estudos de interação de outros compartimentos terrestres com a atmosfera. A partir dos resultados de suas modelagens foi possível estabelecer vínculos inegáveis entre fenômenos observados e as alterações climáticas decorrentes de emissões antrópicas de GEE, com a identificação e quantificação da vulnerabilidade dos diferentes sistemas aos impactos climáticos e previsão de condições futuras.

Ao analisar os dados sobre vulnerabilidade climática, instrumentos e linhas de ação, tanto as nacionais quanto internacionais, pode ser percebido que ainda existem diversas lacunas de conhecimento quanto a série de dados (variáveis aferidas, abrangência espacial, frequência e nível de detalhe) e quanto a aplicabilidade do conhecimento científico nas ações de planejamento e gestão do território. Em especial aos remanescentes naturais, a complexidade ecológica destes sistemas ainda eleva a incerteza dos reais impactos destas mudanças e as consequências para os sistemas humanos, de modo que a tomada de ações de adaptação para sua proteção se torna prioritária, visto que não podem ser facilmente reconstruídos.

O bioma Mata Atlântica no território do Paraná sofreu um histórico longo de degradação, com somente 13% de cobertura de vegetação natural remanescente. A fragmentação é outro problema sério para a preservação da biota, pois dificulta eventos de migração, colonização e troca gênica, além de facilitar a entrada de espécies invasoras e fogo. Ainda, tais áreas sofrem elevada pressão socioeconômica, com um desmatamento anual médio estabilizando próximo aos 2.000 ha. Neste contexto de elevada vulnerabilidade potencial, a entrada de alterações climáticas pode gerar consequências desastrosas, caso ações de adaptação não sejam implementadas pelos gestores do território.

A análise dos instrumentos legais que abordam a questão dos impactos das mudanças climáticas no Paraná concluiu que as políticas, planos e programas existentes, nas diversas esferas de governo, disponibilizam inúmeros caminhos e ferramentas para adoção de medidas de mitigação e adaptação, tanto para os remanescentes naturais como para os sistemas humanos. No entanto, a aplicação prática dessas diretrizes, demonstrada por ações, não foi percebida, caracterizando a falta de penetração da teoria nos processos de gestão.

Situação ainda mais grave é identificada na falta de coerência entre os instrumentos metodológicos e as diretrizes políticas relacionadas. O MMA e as autarquias vinculadas, IBAMA, ICMBio e ANA, integram os planos setoriais de adaptação, requisitam estudos de impactos climáticos, integram as câmaras técnicas da legislação de mudanças climáticas, entre outras relações com a temática; no entanto, os manuais de planos de manejo de UCs e da elaboração de ZEE não mencionam o tema; somente o guia da ANA para planos de recursos hídricos sugere a inserção desta questão no planejamento.

A análise de diversos planos de gestão das UCs do Paraná, 27 no total, revelou que nenhum aborda ações específicas de adaptação, com somente 4 mencionando o tema. Ainda, dentre as tipologias de pesquisa dentro das áreas das UCs, além das listas de vulnerabilidades, obstáculos à gestão ou questões a serem monitoradas, a mudança climática não está inclusa em nenhum dos planos. Mesmo as novas revisões destes documentos continuam alheios a este tópico, descartando a ideia de que exista uma barreira temporal responsável por este lapso.

A prática da gestão sem a proposta de ações de mitigação ou de adaptação pode levar a um caminho sem volta de degradação dos biomas. Esta negligência favorece a intensificação de potenciais consequências desastrosas para a biodiversidade, inviabilizando os objetivos almejados com a conservação ambiental dos remanescentes naturais e favorecer a extinção de espécies. Estes documentos, principalmente para a conservação de remanescentes florestais, precisam incluir em seus programas de gestão ações de monitoramento de condições climáticas, de modo a embasar a identificação das alterações na região. Não obstante, ações preventivas de manejo de espécies, pesquisas, coleta de bancos de sementes, entre outras, devem ser feitas para posterior adaptação em locais menos afetados pelos impactos das mudanças.

ZELLER (2008) ainda complementa que as informações dos encartes de diagnóstico não atendem ao que os técnicos precisariam para idealizar e realizar ações de conservação, com os objetivos de manejo e o zoneamento sendo pouco relevantes para as ações elaboradas e sem influenciar no planejamento de coisas básicas, como definir quando os acessos se tornam difíceis pela precipitação elevada e seria necessário intensificar atividades de manutenção. Logo, a incorporação das informações sobre as mudanças climáticas e seus impactos aos planos de manejo não é uma garantia de que sejam utilizadas na gestão destes espaços, principalmente decorrente das dificuldades enfrentadas pelas UCs de verba e mão-de-obra, mas se idealiza que esta situação de precariedade de recursos mude no futuro e os gestores possam efetivamente gerir as UCs para resistir aos cenários de alteração ambiental.

Situação semelhante é encontrada no processo do ZEE do estado, cuja retomada está incluída no plano de governo paranaense e encontra-se em andamento, mas ainda sem abordar o tema. Como ainda não está completo, espera-se que estas informações possam auxiliar na sua complementação. Por fim, os planos de bacia já consideram as mudanças climáticas como um fator importante para a gestão dos recursos hídricos, mas somente um de 7 daqueles realizados no Paraná efetivamente as incorporam em seus cenários.

Como WEST *et al.* (2009) aponta, um dos princípios que facilitam as ações de adaptação é a maior colaboração entre órgãos governamentais, e uma das principais barreiras é a falta de eficácia de políticas e da gestão a nível nacional. Apesar de existirem políticas específicas para a mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas, a transversalidade desta questão está em falta nos programas dos órgãos de gestão do Paraná, situação que não deve ser um caso isolado no Brasil. A desarticulação das políticas, planos e programas trespassa as três esferas de governo, demonstrando a gravíssima falha na comunicação e penetração das informações sobre o tema intra e entre diferentes instituições. A falta da atualização destas questões nos manuais de ZEE e da gestão de UCs representa a perpetuação do erro, e é vital que tanto incluam estas considerações nos documentos como forcem a sua aplicação nos programas subordinados. Ainda assim, ações de recuperação de áreas degradadas, reflorestamento, programas de compensação por serviços ambientais, entre outras, mesmo que não direcionadas especificamente às mudanças climáticas, atuam de forma mitigadora aos impactos esperados.

9.2. Considerações finais

Como a evolução dos sistemas de observação e modelos, o que achamos que sabemos sobre o passado muda constantemente (EDWARDS, 2010). Neste contexto, deve se frisar que a revisão periódica dos limites da abrangência das fitofisionomias e seu potencial de distribuição no Brasil é necessária, uma vez que as condições climáticas variam naturalmente e tendem a apresentar mudanças mais rápidas com as crescentes emissões de gases do efeito estufa, o que pode minimizar a efetividade das legislações vigentes. É recomendado que futuros regulamentos apresentem suas bases de atuação vinculadas à distribuição fitofisionômicas, uma vez que são mais específicos do que a biomas, exigindo assim um refinamento das informações da vegetação remanescente. Não obstante, a precisão atual dos sistemas de monitoramento e sensoriamento remotos já permite um aumento de escala dos limites de abrangência das legislações.

Para NOBRE (CGEE, 2008), uma pergunta fundamental que precisa de resposta urgente neste contexto futuro de alterações ambientais é saber até que ponto o Brasil é vulnerável às mudanças climáticas. Torna-se um imperativo estratégico o conhecimento científico dos possíveis impactos das mudanças climáticas projetadas para ocorrer neste século em todos os setores, sistemas e regiões do país, especialmente sobre a agricultura, recursos hídricos, energias renováveis, saúde humana, ecossistemas e biodiversidade, zonas costeiras, cidades e indústria. A partir desse conhecimento, podem-se identificar nossas principais vulnerabilidades às mudanças climáticas, elaborar e implementar políticas públicas para redução dessas e aumento da capacidade adaptativa da população, da economia e, na medida do possível, dos ecossistemas. Assim, estudos de vulnerabilidade com um detalhamento espacial compatível com escalas de gestão estadual e municipal, como o aqui apresentado, podem representar a preservação do capital dos sistemas humanos e naturais no futuro próximo, imprescindível para a qualidade dos ecossistemas e da vida humana.

Nesse sentido, as políticas públicas têm um importante papel de regulamentar os estudos sobre vulnerabilidades climáticas e iniciativas de mitigação e adaptação ao fenômeno. Infelizmente, é perceptível o descolamento das políticas ambientais e governança das mudanças climáticas das ações implementadas por todo o país. Na esfera federal é impreterível que os aparelhos de governança incorporem a necessidade de lidar imediatamente com as mudanças climáticas de forma transversal em seus compartimentos, e não como problema de um séquito de poucos atores interessados.

Ações amplas, transformadoras, que abranjam a multiplicidade de sistemas que são e serão ainda mais afetados adversamente pela questão são necessárias.

Não obstante, a inexistência ou inadequação de políticas estaduais pode inviabilizar medidas mitigadoras, bem como as de adaptação, prejudicando o alcance da redução das emissões de GEE e a minimização das vulnerabilidades locais. Como sugere o PBMC (2014), é fundamental se investigar se as políticas estaduais de mudanças climáticas apresentam a definição de objetivos e respectivos prazos para redução dos níveis de emissão dos GEEs, seguindo a tendência da PNMC. É através do cumprimento de metas bem selecionadas e específicas que a sociedade pode cobrar a execução e a efetivação dos programas e planos, e definir o grau de êxito que as políticas alcançaram.

Ainda, identifica-se uma grande necessidade de sistemas de monitoramento e observação de impactos de mudanças climáticas no contexto brasileiro. O país conta com uma série de monitoramentos, entretanto, há necessidade de ampliar tal esforço, sobretudo quanto ao fornecimento de informações sobre os impactos socioambientais das mudanças climáticas, os quais são de especial relevância para o planejamento e a tomada de decisão para a adaptação.

Um grande desafio para a gestão atual e futura de UCs é a incorporação da questão das mudanças climáticas no seu processo de gerenciamento, principalmente em decorrência à pergunta fundamental: o quanto esta unidade é vulnerável à alteração do clima? Tanto a metodologia quanto os resultados aqui expostos buscam responder a esta questão, ressaltando a importância do planejamento de ações mitigadoras e/ou adaptativas frente cada cenário climático estudado. Espera-se que a sua utilização pelos gestores ambientais propicie resultados concretos para pleitearem recursos em prol da adaptação, além de identificar as UCs prioritárias ao seu recebimento devido a situações de maior risco climático. Se faz urgente a realização de estudos mais aprofundados sobre as regiões mais vulneráveis à descaracterização ambiental decorrente das mudanças climáticas, em especial para preservar e conhecer suas riquezas antes que sejam perdidas para sempre.

9.3. Recomendações de trabalhos futuros

Como recomendação de trabalhos futuros, seria interessante a utilização da metodologia com outras VPs, coma as elencadas na discussão, para melhorar a sensibilidade do modelo para as classes de vegetação de baixa precisão, inclusive àquelas removidas da análise. Não obstante, a comparação das relações edafoclimáticas

identificadas com outros estudos de caso seria de grande valia, uma vez que a análise par-a-par das VPs importantes para a separação das classes fitofisionômica pode determinar características locais específicas relevantes, influenciando na escolha de ações de conservação e adaptação.

Ainda, a associação da dimensão temporal na análise de vulnerabilidade pode levar a uma maior compreensão das consequências envolvidas, em especial relativo à modelagem da velocidade das mudanças climáticas. A combinação destas informações auxiliará na gestão dos remanescentes e possivelmente na questão da identificação de novas áreas de preservação e ações de adaptação como a migração assistida. Não obstante, o cruzamento destes resultados com metodologias de conservação regionais, como corredores ecológicos nacionais, pode vir a ser uma estratégia nacional tanto de mitigação quanto de adaptação aos impactos das mudanças climáticas, além de ser uma ação de baixo arrependimento.

Por fim, é estimulada a utilização da metodologia desenvolvida com dados de cenários provenientes de modelos regionais (MCRs), os quais consideram informações de processos não abordados em MCGs, apresentando uma resolução mais compatível com análises estaduais e/ou municipais, permitindo uma maior precisão dos resultados (inclusive com *downscaling*) e adequação às condições ambientais locais.

10. Referências

- AHRENS, C. D. 2012. **Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere**. 6th ed. Belmont, California: Brooks/Cole. 528 p.
- ADGER, W. N. 2006. "Vulnerability". **Global Environmental Change**, Volume 16, Issue 3, pp. 268-281
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. 2013. **Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água**. Brasília: ANA.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. 1998. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and drainage paper 56. Online. Rome. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>> Acesso em: 16/02/2013.
- ANGIER J.T., MCCARTY G.W., PRESTEGAARD K. L. 2005. "Hydrology of first-order riparian zone and stream mid-Atlantic coastal plain, Maryland". **Journal of Hydrology**, 309: 149-166
- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. 2010. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 6ª ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 322p.
- AYRES, J. M.; DA FONSECA, G. A.B.; RYLANDS, A. B *et al.* 2005. "Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil", **Sociedade Civil Mamirauá**. Belém, PA.
- AYRES, M.P. & SCRIBER, J.M. 1994. "Local adaptation to regional climates in *Papilio canadensis* (Lepidoptera: Papilionidae)." **Ecological Monographs**, 64: 465-482.
- BARNETT, J. & O'NEILL, S. 2010. "Maladaptation". **Global Environmental Change**, 20, pp. 211-213.
- BEHLING H. 1998. "Late Quaternary vegetational and climatic changes in Brazil", **Rev Palaeobot Palyno** 99(2), pp. 143– 156.
- BEHLING, H., 2007b. "Late Quaternary vegetation, fire and climate dynamics of Serra do Araçatuba in the Atlantic coastal mountains of Paraná State, southern Brazil", **Vegetation History and Archaeobotany** 16, pp. 77-85.
- BEHLING, H. & PILLAR, V.D., 2007a. "Late Quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazilian highland and their implication for conservation and management of modern Araucaria forest and grassland ecosystems", **Philosophical Transactions of the Royal Society B** 362, pp. 243-251.
- BEHLING, H., PILLAR, V.D., BAUERMANN, S. G. 2005. "Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil)". **Review of Palaeobotany and Palynology** 133, pp. 235–248.
- BENSUSAN, N. 2006. **Conservação da Biodiversidade em Áreas Protegidas**. Rio de Janeiro. Editora FGV. 176 p.
- BERNSTEIN, P. L. 1996, **Against the Gods: The Remarkable Story of Risk**. New York, John Wiley and Sons, 383 pp
- BEST, A.; ZHANG, L.; MCMAHOM, T. *et al.* 2003. **A critical review of paired catchment studies with reference to seasonal flow and climatic variability**. Australia, CSIRO Land and Water Technical. MDBC Publication 56 p. (Technical Report 25/03).

- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. 2008. “Mapa de solos Estado do Paraná: legenda atualizada”, Embrapa Solos. Rio de Janeiro/Embrapa Florestas, Colombo, PR, 74 p. 1.
- BOX, G. E. P. & WILSON, K.B. 1951. “On the Experimental Attainment of Optimum Conditions (with discussion)”, **Journal of the Royal Statistical Society Series**, B13(1), pp.1–45.
- BRADY, T. 2003. “The mystery of a map and a man”, **Minnesota Conservation Volunteer**. January-February, pp 21 - 31.
- BRASIL. **Constituição Federal de 1988.**
- BRASIL. **Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008.**
- BRASIL. **Decreto nº 750, de 10 de fevereiro de 1993.**
- BRASIL. **Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934.**
- BRASIL. **Decreto nº 90.826, de 22 de janeiro de 1985.**
- BRASIL. **Decreto presidencial nº 6.263, de 21 de novembro de 2007**
- BRASIL. **Lei Nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006.**
- BRASIL. **Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009.**
- BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009.**
- BRASIL. **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012.**
- BRASIL. **Lei Nº 12.727, de 17 de outubro de 2012.**
- BRASIL. **Lei Nº 4.771, de 15 de setembro 1965.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 1, de 31 de janeiro de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 10, de 1 de outubro de 1993.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 2, de 18 de março de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 25, de 7 de dezembro de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 26, de 7 de dezembro de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 261, de 30 de junho de 1999.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 28, de 7 de dezembro de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 29, de 7 de dezembro de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 30, de 7 de dezembro de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 31, de 7 de dezembro de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 32, de 7 de dezembro de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 33, de 7 de dezembro de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 34, de 7 de dezembro de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 388, de 23 de fevereiro de 2007.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 392, de 25 de junho de 2007.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 4, de 4 de maio de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 5, de 4 de maio de 1994.**
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 7, de 23 de julho de 1996.**
- BRASIL. 2013a. **Decreto-Lei n.º 151-B/2013 do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.** Diário da República, 1.ª série, N.º 211, 31 de outubro de 2013.
- BRASIL. 2013b. **Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima - PSTM.** BRASÍLIA, MT/MC. 118 pp.
- BRASIL. 2014. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023.** Brasília, MME/EPE, 2v.: il.
- BRODIE, J. F.; POST, E. S. & DOAK, D. F. 2012. **Wildlife Conservation in a Changing Climate.** The University of Chicago Press, Chicago.

- BROOKS, N. W.; ADGER, N. P. & KELLY, M. 2005. "The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation", **Global Environmental Change**, Volume 15, Issue 2, pp. 151-163.
- BRUINJZEEL L.A. 1990. "Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review." **UNESCO**. 230p. (Technical report)
- BRUSCA, R.C. & BRUSCA, G.J. 2007. **Invertebrados**. 2ª.ed., Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 968p.
- CAIRNS, M. A. *et al.* 1997. "Root biomass allocation in the world's upland forests". **Oecologia**, v.111, pp. 1-11.
- CALDER I.R. 1998. **Water-resources and Land-Use issues**. Sri Lanka. International Water Management Institute. 33p.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. 2001. **Introdução à ciência da geoinformação**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Documento Digital. 345p.
- CAMPANILI, M. & PROCHNOW, M., 2006. **Mata Atlântica – uma rede pela floresta**. Brasília: RMA.
- CANADELL, J.; JACKSON, R. B.; EHLERINGER, J. R.; MOONEY, *et al.* 1996. "Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale", **Oecologia**, 108. Pp. 583-595
- CARMO, M. R. B. 2006. **Caracterização fitofisionômica do parque estadual do Guartelá, município de Tibagi, estado do Paraná**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro. Rio Claro. 142 f.: il.
- CASSETI, V. 2005. **Geomorfologia**. S.l. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 03-07-2012
- CAVALCANTI, F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. 2009. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 432 p.
- CBH 2015. Comitê de Bacias Hidrográficas. Disponível em: <<http://www.cbh.gov.br/>> Acesso em: 14/04/2015.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. Parcerias Estratégicas. Número 27 - Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação. Brasília, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2008.
- COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E CARIBE - CEPAL. 2015. **The economics of climate change in Latin America and the Caribbean: paradoxes and challenges of sustainable development**. United Nations, Santiago, Chile.
- CESERO, P. & PONTE, F. C. 1997. "Análise comparativa da paleogeologia dos litorais atlânticos brasileiro e africano." **B. Geoci. PETROBRAS**, Rio de Janeiro, 11 (1/2): 1-18, jan/dez.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. 2007. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em: 13 de agosto de 2007
- CHANG, M.Y. 2013. **Estudo e mapeamento de vulnerabilidades a extremos climáticos no estado do Paraná**. Relatório de pesquisa de pós-doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/COPPE). RJ.
- CHANG, M. Y.; DERECHYNSKI, C.; FREITAS, M. A. V. *et al.* 2014. "Climate Change Index: A Proposed Methodology for Assessing Susceptibility to Future Climatic Extremes", **American Journal of Climate Change**, 3, 326-337.
- CHINN, S. 2000. "A simple method for converting an odds ratio to effect size for use in meta-analysis." **Statistics in Medicine**, 19(22), pp. 3127-3131.

- CHOU, S.C., *et al.* (2014b) “Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios.” **American Journal of Climate Change**, 3, 512-525.
- CHOU, S.C., LYRA, A., MOURÃO, C., *et al.* 2014. “Evaluation of the Eta simulations Nested in Three Global Climate Models”, **American Journal of Climate Change**. (In Press)
- CHRISTOFOLETTI, A. 1999. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1ª ed. São Paulo: Blücher.
- COEP. **Mudanças Climáticas, Vulnerabilidade e Adaptação**. 2011. Rio de Janeiro: COEP.
- COHEN, J. 1988. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2nd ed. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- COLLINS, W. J., N. BELLOUIN, M. DOUTRIAUX-BOUCHER, *et al.* 2011. “Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2”, **Geosci. Model Dev.**, 4, pp. 1051-1075.
- COLLINS, W.J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M. *et al.* 2008. “Evaluation of the HadGEM2 model”. In: **Met Office Hadley Centre Technical Note no. HCTN 74**. Met Office, FitzRoy Road, Exeter.
- COLOMBO, A. F. & JOLY, CA, 2010. “Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change”, **Brazilian Journal of Biology**, 70, pp. 697-708
- COMITÊ INTERGOVERNAMENTAL COORDENADOR DOS PAÍSES DA BACIA DO PRATA - CIC. **Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos da Bacia do Prata, considerando os efeitos decorrentes da variabilidade e mudança do clima**. Disponível em: <<http://projetoscic.org/>> Acesso em: 18/04/2015.
- COMPANHIA PARAENSE DE ENERGIA – COPEL. 2007. **Atlas do potencial eólico do Estado do Paraná. Camargo e Schubert**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LATEC. Curitiba, 53 p.: il.
- CONSERVATION INTERNATIONAL. 2013. Disponível em: <<http://www.conservation.org>> Acesso em: 03/02/2013.
- CONSÓRCIO RHA-FERMA-VERTRAG. Plano das Bacias Hidrográficas do Baixo Ivaí e Paraná. Curitiba, 2014.
- CORRADINI, F. A.; STEVAUX, J. C. & FACHINI, M. P. 2008. “Geomorfologia e distribuição da vegetação ripária na ilha Mutum, Rio Paraná – PR/MS.” São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 27, n. 3, p. 345-354.
- COSTEA, A.; EKLUND, T. 2003. “A Two-Level Approach to Making Class Predictions.” **Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences**. Big Island, HI, USA
- COUTINHO, L. M. 2006. “O conceito de bioma.” **Acta bot. bras.** 20(1), pp. 13-23.
- COX, D. R. & SNELL, E.J. 1989. **The analysis of binary data**. 2nd ed. London, Chapman & Hall.
- COX, G. W. 2010. **Bird migration and global change**. Washington, DC. USA. Island Press.
- COX, P. M.; BETTS, R. A.; BETTS, A. *et al.* 2002. “Modelling vegetation and the carbon cycle as interactive elements of the climate system.” **International Geophysics**, Vol. 83, pp. 259–279.
- CRAMER, J. S. 2003. **Logit Models from Economics and Other Fields**. Cambridge, Cambridge University Press.

- CRAVEIRO, J. R. V. 2008. "Caracterização das unidades de conservação: referências sobre o sistema nacional de unidades de conservação da natureza." **1º SIMPGEO/SP**, Rio Claro, SP.
- CRISCI, J.V. 2001. "The voice of historical biogeography." **Journal of Biogeography**, 28: 157–168.
- CRONEMBERGER, F. M.; VICENS, R. S.; BASTOS, J. S.; FEVRIER, P. V. R. *et al.* 2011. "Mapeamento Bioclimático do Estado do Rio de Janeiro." **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.5745
- DA SILVA, J. M. C. & CASTELETTI, C. H. M.. 2003. "Status of the biodiversity of the Atlantic Forest of Brazil." *In*: GALINDO-LEAL, C., CÂMARA, I.G. (Eds.), **The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook**. CABS and Island Press, Washington, pp. 43–59.
- DEAN, W. 1996. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. Companhia Das Letras, 484 pp.
- DECAT, E., 2007. "Familiares de mortos em fábrica de fogos dizem que irregularidades continuam." **Agência Brasil**, 24 de junho de 2007. Acesso em: 29 set. 2009. Disponível em: <<http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2007/06/24/materia.2007-06-24.1740989035/view>>
- DI BITETTI, M.S; PLACCI, G.; E DIETZ, L.A. 2003. **Uma visão de biodiversidade da ecorregião Florestas do Alto Paraná – Bioma Mata Atlântica: Planejando a paisagem de conservação da biodiversidade e estabelecendo prioridades para ações de conservação**. Washington, D.C. World Wildlife Fund, 2003.
- DINIZ, A. R.; MACHADO, D. L.; PEREIRA, M. G. *et al.* 2010. "Estoque de biomassa radicular em três estádios sucessionais de florestas da mata atlântica na região do médio Paraíba do Sul – Rio de Janeiro." **I Simpósio de Pesquisa em Mata Atlântica**. Engenheiro Paulo de Frontin, RJ.
- DORMAN, J. L. & SELLERS, P. J. 1989. "A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the Simple Biosphere model (SiB)." **Journal of Applied Meteorology**, v.28, p.833-855
- DRUMMOND, J. A. 1997. **Devastação e preservação ambiental: os parques nacionais do estado do Rio de Janeiro**. Niterói. EDUFF, 306 p.
- EAKIN, H. (2012). "Human vulnerability to global environmental change". Disponível em: <<http://www.eoearth.org/view/article/153598>> Acesso em: 07/07/2015
- EDDY, J. A. 1976. "The Maunder Minimum." **Science**, New Series, Vol. 192, No. 4245. pp. 1189-1202.
- EDWARDS, P. N. 2010. **A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming**. Cambridge, MA: MIT Press. London, England. 552 pp.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA & INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. 2008. **Carta de Solos do Estado do Paraná Folha MIR – 516, SG-22-Y-A**. Londrina, EMBRAPA e IAPAR.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 1988. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 105 p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 2009. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ªEd. Rio de Janeiro, RJ Centro Nacional de Pesquisa de Solos (). xxvi, 412p. : il.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 2009. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 2013. **Embrapa - Milho e Sorgo**. Online. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br>>. Acesso em: 11/02/2013
- ENGEACORPS. 2014. **Elaboração do Plano das Bacias do Cinzas, Itararé e Paranapanema 1 e 2**. São Paulo.
- ENGEACORPS. 2015. **Elaboração do Plano das Bacias: Pirapó, Paranapanema 3 e 4**. São Paulo,
- ERICKSEN, P. J. 2008. "What is the vulnerability of a food system to global environmental change?", **Ecology and Society** 13(2), pp. 14. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art14/>
- ESRI 2014. **ArcGIS Desktop: Release 10.2.2**. Redlands, CA. Environmental Systems Research Institute.
- FERNANDES, D. S. & FOSTER, P. R. P. **Cálculo da evapotranspiração potencial através do método de Thornthwaite e comparação com dados de reanálise de evaporação potencial do NCEP para a cidade de Pelotas-RS**. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/14-1c697bfe1e69ce97a1c45d482dc1b713.pdf>> Acesso em: 09/01/2013
- FERNANDES, L. C.; PAIVA, C. M. & ROTUNNO FILHO, O. C. 2012. "Evaluation of six empirical evapotranspiration equations - case study: Campos dos Goytacazes/RJ." **Rev. bras. meteorol.** [online]. vol.27, n.3, pp. 272-280.
- FERNANDES, M. C.; LAGÜENS, J. V. M.; NETTO, A. L. C., 1999, **O processo de ocupação por favelas e sua relação com os eventos de deslizamentos no maciço da Tijuca/RJ**
- FERNANDEZ, F. 2000. **O poema imperfeito: crônicas de Biologia, conservação da natureza e seus heróis**. Editora da Universidade Federal do Paraná, 260 páginas.
- FIASCHI, P. & PIRANI, J. R. 2009. "Review of plant biogeographic studies in Brazil." **Journal of Systematics and Evolution** 47:477-496.
- FIELD, A. 2009. **Discovering statistics using SPSS**. Sage publications.
- FISHER, R. A. 1925. **Statistical Methods for Research Workers**. Edinburgh, UK: Oliver and Boyd. Disponível em: <<http://psychclassics.yorku.ca/Fisher/Methods/index.htm>>
- FOLEGATTI, M. V. 2013. **Física do ambiente agrícola: Capítulo 7 – Capilaridade**. Departamento de Engenharia de Biossistemas - ESALQ – USP, SP. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/aulas/lce200/lce200.html>> Acesso em: 11/02/2013.
- FRANKE, C. R.; ROCHA, P. L. B.; KLEIN, W.; GOMES, S.L. 2005. **Mata Atlântica e biodiversidade**. Salvador: Edufba. 461 p.
- FREITAS, AVL *et al.* 2011. "The endangered butterfly *Charonias theano* (Boisduval) (Lepidoptera: Pieridae): current status, threats and its rediscovery in the state of São Paulo, southeastern Brazil." **Neotrop. entomol.** [online]. vol.40, n.6, pp. 669-676.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA - SOSMA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. 2008. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2005 – 2008**. Relatório Parcial. Fundação SOS Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, 156p.

- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA - SOSMA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. 2009. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica – Período 2008-2010**. Fundação SOS Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, 122 p.
- FÜSSEL, H. M. 2007. “Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research”, **Global Environmental Change**, Volume 17, Issue 2, May 2007, Pages 155-167
- GALINDO-LEAL, C. & CÂMARA, I. G. 2005. **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. São Paulo, Fundação SOS Mata Atlântica; Belo Horizonte, Conservação Internacional. 472 p.: il.
- GARCÍA, N. & VARGAS, W. 1998. “The temporal climatic variability in the Rio de la Plata basin displayed by the river discharges.” **Climatic Change**, 38, 359-379.
- GOMES, L. M.; REIS, R. B.; CRUZ, C. B. M. 2009. “Análise da cobertura florestal da Mata Atlântica por município no Estado do Rio de Janeiro”, **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3849-3857.
- GONÇALVES, A. C. A. 2006. **Água no sistema solo-planta-atmosfera. Fundamentos para a irrigação**. Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Irrigação e Drenagem. Universidade Estadual de Maringá. PR.. *Online*.
- GOVERNO DO BRASIL. 2013. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/sobre/meio-ambiente/geografia>> Acesso em 01/02/2013.
- GUBERT, F. A. 1988. “Levantamento de áreas de relevante interesse ecológico (ARIE) no Paraná.” In: **Congresso Florestal do Paraná**, 2. Anais Curitiba, Instituto Florestal do Paraná, v. 1, p. 136-160, 1988.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S.B. 2011. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 10ª ed., Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil, 458 p.
- GUJARATI, D. 2004. **Basic Econometrics**. 4th ed. Tata McGraw-Hill. 1032p.
- HADDAD, C. F. B; GIOVANELLI, J. G. R & ALEXANDRINO, J, 2008. “O aquecimento global e seus efeitos na distribuição e declínio dos anfíbios.” In: Buckeridge M. S.A. **Biologia e as Mudanças Climáticas no Brasil**. São Carlos: RiMa Editora. p. 195-206.
- HANNAH, L. 2011. **Climate change biology**. Elsevier, Amsterdam.
- HARTKAMP, A.D.; DE BEURS, K., STEIN, A. *et al.* 1999. “Interpolation Techniques for Climate Variables, NRG-GIS Series 99-01.” **CIMMYT**. Mexico, DF.
- HAXELTINE, A., & PRENTICE, I. C. 1996. “BIOME3: an equilibrium terrestrial biosphere model based on ecophysiological constraints, resource availability, and competition among plant functional types.” **Global Biogeochemical Cycles** 10(4), pp. 693-709.
- HELLER, N. E. & ZAVALA, E. S. 2009. “Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations.” **Biological conservation** 142 (1), pp. 14-32.
- HICKLER, T. *et al.* 2012. “Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model.” **Global Ecol. Biogeogr.** 21: pp. 50–63.
- HIJMANS, R.J., S.E. CAMERON, J.L. PARRA, *et al.* 2005. “Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas.” **International Journal of Climatology** 25, pp. 1965-1978.
- HIJMANS, R. J.; GRAHAM, C. H. 2006. “The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions.” **Global Change Biology**, 12, pp. 2272–2281.

- HOEGH-GULDBERG, O.; HUGHES, L.; MCINTYRE, S. *et al.* 2008. "Assisted Colonization and Rapid Climate Change." **Science**, Vol. 321 n°. 5887 pp. 345-346
- HOSMER, D. W., & LEMESHOW, S. 2000. **Applied Logistic Regression**, 2nd ed. New York, John Wiley and Sons.
- HOSMER, D. W. & HJORT, N. L. 2002. "Goodness-of-fit processes for logistic regression: simulation results." **Statistics in Medicine**. Statist. Med. 21-18. John Wiley & Sons, Ltd.
- HOWSTUFFWORKS, 2012. Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/clima5.htm>>. Acessado em: 30/05/2012.
- HUBERTY, C. J. 1984. "Issues in the use and development of discriminant analysis." **Psychological Bulletin**, 95, 156-171.
- HUTCHINSON, G. E. 1957. "Concluding remarks." **Cold Spring Harbor Symp Quantitative Biol.**, n° 22, pp. 415-427.
- HUTCHINSON, M. F. 2004. **Anusplin Version 4.3**. Centre for Resource and Environmental Studies. The Australian National University: Canberra, Australia
- IBAMA, 2002. **Roteiro metodológico de planejamento - parque nacional, reserva biológica, estação ecológica**. IBAMA, Brasília.
- IBM, 2013. **IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0**. Armonk, NY: IBM Corp.
- IMBRIE, J. 1985. "A theoretical framework for the Pleistocene ice ages: William Smith Lecture." **Journal of the Geological Society**, v. 142, pp. 417-432
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ – IAP. **Plano da Bacia do Rio Tibagi – Produto 3: Cenários Alternativos**. Curitiba. 2013a.
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ – IAP. 2003. **Revisão do plano de manejo do Parque Estadual Vila Rica do Espírito Santo**. Curitiba: IAP.
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ – IAP. 2015. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br>> Acesso em: 07/01/2015.
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ – IAP. **Plano da Bacia do Rio Jordão. Fase 1 - Diagnóstico**. Curitiba. 2008
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ – IAP. **Plano da Bacia do Rio Jordão. P01: Revisão do Diagnóstico**. Curitiba. 2013b.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL – IBDF – 1981. **Plano de Manejo Parque Nacional de Caparaó**. Brasília.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 1992. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 91p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 1995. **Manual técnico de pedologia** – 1ª edição. Rio de Janeiro, IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 104 p. (Manuais técnicos em geociências, n.º 4)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2002. **Mapa de Climas do Brasil**.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2004. **Mapa de Biomas do Brasil**. 1ª aproximação.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE 2007. **Manual técnico de pedologia** – 2ª edição. Rio de Janeiro, IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 300 p. (Manuais técnicos em geociências, n.º 4)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2009. **Manual Técnico de Geomorfologia** – 2ª edição. Rio de Janeiro, IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 113p. (Manuais técnicos em geociências, n.º 5)

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2011. **Produção, Extrativismo Vegetal e Silvicultura**. Rio de Janeiro, v. 26, p.1-55.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2012a. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais 271 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2012b. **Mapa da Área de Aplicação da Lei no 11.428, de 2006**. 2ª Edição
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2013. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br>> Acesso em: 12/02/2013
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2014a. **Contas regionais do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 55 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2014b. **Estimativas da População 2014**. Rio de Janeiro: IBGE. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pr>> Acesso em: 10/04/2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. 1999. **Plano de manejo do Parque Nacional do Iguaçu**. Brasília.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. 2002. **Roteiro metodológico de planejamento de parques nacionais, reservas biológicas e estações ecológicas**. Brasília: Edições IBAMA, 135 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. 2013. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/mata_atlantica.htm> Acesso em 01/02/2013
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. 2013. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica>> Acesso em: 03/02/13
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE – INEA. 2013. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/basetematica_estadoambiente/> Acesso em: 07/01/2013
- INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - IPARDES. 2011. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/>> Acesso em: 11/04/2015.
- INSTITUTO VIRTUAL DE MUDANÇAS GLOBAIS – IVIG. 2013^a. **Levantamento dos Sistemas de Monitoramento e Observação de Impactos das Mudanças Climáticas: Países e Experiências Multilaterais**. Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais IVIG/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.
- INSTITUTO VIRTUAL DE MUDANÇAS GLOBAIS – IVIG. 2013b. **Documento com subsídios para implantação de sistemas de observação e monitoramento dos impactos das mudanças climáticas no Brasil**. Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais IVIG/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.
- IPARDES, 2006. **Referências ambientais e socioeconômicas para o uso do território do estado do Paraná - Uma contribuição ao zoneamento ecológico-econômico – ZEE**. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Curitiba: IPARDES. 160p.
- IPCC 2000. **Land Use, Land-Use Change and Forestry**. WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN, B. *et al.* (Eds.). Cambridge University Press, UK. Pp. 375.

- IPCC, 2000. **Special Report on Emissions Scenarios: A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press.
- IPCC, 2001a. **Climate Change 2001: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press.
- IPCC, 2001b. **Climate Change 2001: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press.
- IPCC, 2006. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. National Greenhouse Gas Inventories Programme. EGGLESTON H.S., BUENDIA L., MIWA K., NGARA T. and TANABE K. (eds). IGES, Japan.
- IPCC, 2007a. **Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC. Cambridge University Press.
- IPCC, 2007b. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press.
- IPCC, 2007c. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press.
- IPCC, 2007d. **Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press.
- IPCC, 2010. **Understanding climate change: 22 years of IPCC assessment**. IPCC Secretariat. Geneva, Switzerland. 12 pp.
- IPCC, 2012. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [FIELD, C.B., V. BARROS, T.F. STOCKER, *et al.* (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- IPCC, 2013a. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. *et al.* (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC, 2013b. **Principles governing IPCC work**. IPCC Secretariat. Geneva, Switzerland. 2 pp.
- IPCC, 2014a. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J. *et al.* (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- IPCC, 2014b. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [BARROS, V.R.; FIELD, C.B.; DOKKEN, D.J. *et al.* (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 688 pp.
- IPCC, 2015. Site. Acesso em: 12/02/2015. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch>>

- JACKSON, R. B.; CANADELL, J.; EHLERINGER, J. R. *et al.* 1996. "A global analysis of root distributions for terrestrial biomes.", **Oecologia**, 108, pp. 389-411
- JENKS, G. F. 1967. "The data model concept in statistical mapping.", In: **International Cartographic Association ed. International Yearbook of Cartography** 7, p. 186 – 190.
- JENKINS, C. N & JOPPA, L. N. 2009. "Expansion of the global terrestrial protected area system." **Biological Conservation**, vol. 142; 2166-2174.
- JENSEN, J. R. 2009. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP. Parêntese Editora.
- JESKE-PIERUSCHKA, V.; FIDELIS, A.; BERGAMIN, R. S. *et al.* 2010. "Araucaria forest dynamics in relation to fire frequency in southern Brazil based on fossil and modern pollen data." **Review of Palaeobotany and Palynology**, Volume 160, Issues 1–2, pp. 53-65.
- JESKE-PIERUSCHKA, V. L. 2011. **Studies of vegetation, fire and climate dynamics during the late Quaternary as contribution towards conservation and management of the biodiversity hotspot "Mata Atlântica" in southern Brazil**. PHD Thesis. Georg August University Göttingen, Faculty of Biology, Germany. 218 pp. II.
- JOPPA, L. N.; VISCONTI, P.; JENKINS, C. N. *et al.* 2013. "Achieving the Convention on Biological Diversity's Goals for Plant Conservation." **Science**, vol. 341 (6150); 1100-1103.
- KANJI, G. K. **100 Statistical Tests**. London. SAGE Publication Ltd., 1993.
- KLEIN, R.J.T.; NICHOLLS, R.J. & MIMURA, N. 1999. "Coastal adaptation to climate change: Can the IPCC Technical Guidelines be applied?", **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 4, pp. 51-64.
- KOLLURU, R., 1996, "Risk Assessment and Management: a Unified Approach". In: KOLLURU, R.; BARTELL, S.; PITBLADO, R.; STRICOFF, S., **Risk Assessment and Management Handbook: for Environmental, Health and Safety Professionals**. chap. 1, Boston, Massachusetts. McGraw Hill.
- KOPP, G. & LEAN, J. L. 2011. A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. **Geophysical Research Letters**, Vol. 38
- LACERDA, M. P. C.; BARBOSA, I. O.; MENESES, P. R. *et al.* 2005. "Aplicação de geotecnologias em correlações entre solos, geomorfologia, geologia e vegetação nativa no Distrito Federal, DF." **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, INPE, p. 2211-2218.
- LEONHARDT, A. & LORSCHUITTER, M.L. 2010. "The last 25.000 years in the Eastern Plateau of Southern Brazil according to Alpes de São Francisco record." **J South Am Earth Sci** 29, 454-463.
- LEPSCH, I. F. 2002. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 178 p.
- LEXTER, W., *et al.* 2006, **Risk Assessment D 3.2 Report WP 3**. ÖIR, Österreichisches Institut für Raumplanung, Vienna, Austria. 245 pp.
- LIBARDI, P. L. 2013. "Física do ambiente agrícola: Capítulo 7 – Capilaridade." Departamento de Engenharia de Biosistemas - ESALQ – USP, SP. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/aulas/lce200/lce200.html>> Acesso em: 11/02/2013.
- LIMA, A. R.; & CAPOBIANO, J. P. R. 1997. **Documentos do ISA nº4 - Mata Atlântica: avanços legais e institucionais para sua conservação**. Instituto Socioambiental, São Paulo, SP.
- LIMA, J. E.F.W.; SILVA, C. L. DA & OLIVEIRA, C. A. DA S. 2001. "Comparação da evapotranspiração real simulada e observada em uma bacia hidrográfica em

- condições naturais de cerrado.” **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** [online]. vol.5, n.1, pp. 33-41. ISSN 1807-1929.
- LOARIE, S.R.; DUFFY, P. B.; HAMILTON, H. *et al.* 2009. “The velocity of climate change.” **Nature**, 462: 1052-1055.
- LORSCHREITER, M. L. & ROTH, L. 2013. “O Uso da Concentração Polínica em Interpretações Paleoambientais.” **Anu. Inst. Geocienc.** [online]. vol.36, n.1, pp. 80-84. ISSN 0101-9759.
- LOVEJOY, T. E. & HANNAH, L. 2005. **Climate change and biodiversity**. New Haven, CT. Yale University Press.
- LOYOLA, R.D.; NABOUT, J. C.; TRINDADE-FILHO, J. *et al.* 2012. “Climate change might drive species into reserves: a case study of the American bullfrog in the Atlantic Forest Biodiversity Hotspot.” **Alytes**, 29 (1-4), pp. 61-74.
- MALCZEWSKI, J. 2004. **GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview**. Progress in Planning 62, pp. 3–65
- MALONE, E. L. 2009. **Vulnerability and Resilience in the Face of Climate Change: Current Research and Needs for Population Information**. In: PNWD-4087, Pacific Northwest National Laboratory, Washington, DC.
- MARENGO J.A., VALVERDE, MARIA C. 2007. “Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4.” **Revista Multiciência Campinas**, v. 8.
- MARENGO, J. A. 2007. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2007. **Série Biodiversidade**, v. 26. 2a edição. 212 p.: il. Color. 21 cm.
- MASTRANDREA, M.D.; MACH, K.J.; PLATTNER, G.-K.; *et al.* 2011. “The IPCC AR5 guidance note on consistent treatment of uncertainties: a common approach across the working groups.” **Climatic Change** 108, pp. 675–691.
- MASUI, T.; MATSUMOTO, K.; HIJIOKA, Y. *et al.* 2011. “A emission pathway to stabilize at 6 W/m² of radiative forcing.” **Climatic Change** 109, pp. 59–76.
- MAY, P H & VINHA, V. 2012. “Adaptação às mudanças climáticas no Brasil: o papel do investimento privado.” **Estud. av.** [online], vol.26, n.74, pp. 229-246.
- MCFADDEN, D. 1974. “Conditional logit analysis of qualitative choice behavior.” In: **Frontiers in Economics**, ZAREMBKA, P. eds. New York: Academic Press.
- MCLACHLAN, J. S.; HELLMANN, J. J. & SCHWARTZ, M. W. 2007. “A Framework for Debate of Assisted Migration in an Era of Climate Change.” **Conservation Biology**, Volume 21, Issue 2, pp. 297–302.
- MCT. 2004. **Comunicação nacional inicial do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília – DF
- MCT. 2010. **Segunda comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília - DF
- MEDEIROS, R. & PEREIRA, G. S. 2011. “Evolução e implementação dos planos de manejo em parques nacionais no estado do Rio de Janeiro.” **Rev. Árvore** [online] vol.35, n.2, pp. 279-288.
- MEEHL, G. A., COVEY, C., MCAVANNEY, B., *et al.* 2005. “Overview of the Coupled Model Intercomparison Project.” In: *Second CMIP workshop. Meeting Summaries*. American Meteorological Society. 89-93.

- MEEHL, G. A., G. J. BOER, C. COVEY, M. LATIF, AND R. J. STOUFFER, 2000. The Coupled Model Intercomparison Project (CMIP). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 313-318.
- MEEHL, G.A.; BOER, COVEY, G.J. *et al.* 1997. "Intercomparison makes for a better climate model." *Eos*, 78, pp. 445-446, 451.
- MENARD, S. 1995. "Applied logistic regression analysis." **Sage university paper series on quantitative applications in the social sciences**, 07-106. Thousand Oaks, CA: Sage.
- MENARD, S. 2000. "Coefficients of determination for multiple logistic regression analysis." **The American Statistician**, 54(1), pp. 17-24.
- MENARD, S. 2004. "Proportional reduction of error (PRE)." In: LEWIS-BECK, M.; BRYMAN, A. & LIAO, T. (Eds.), **Encyclopedia of social science research methods**. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications. pp. 877-878.
- MENON, S.; SOBERÓN, J.; Li, X. *et al.* 2010. "Preliminary global assessment of terrestrial biodiversity consequences of sea-level rise mediated by climate change." **Biodiversity Conservation**, 19:1599–1609
- MESQUITA, 2005. **Modelação bioclimática de Portugal continental**. Tese de mestrado Instituto Superior Técnico, Univ. Técnica de Lisboa, 2005. II, 129 p.: il.; 30 cm
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA 2012. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC**. Brasília. MAPA/ACS. 173 p.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME, Projeto RADAMBRASIL. 1981. **Folha SC. 22 Tocantins. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra**. Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME, Projeto RADAMBRASIL. 1983. **Folhas SF. 23/24 Rio de Janeiro/Vitória**. Ministério das Minas e Energia, 775 p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 32).
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA e INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. 2012. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satellite. **Monitoramento do Bioma Mata Atlântica – 2002 a 2008**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente – MMA
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. 2007. **Mapa de cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/publicacoes/biomas>>. Acesso em: 04/04/2012
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. 2013a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/publicacoes/biomas/category/63-mata-atlantica>> Acesso em: 26/01/2013
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. 2013b. **Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 3ª fase (2012-2015) pelo uso sustentável e conservação da Floresta**. Brasília, MMA, 174 p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. 2014. **PPCerrado – Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado: 2ª fase (2014-2015)**. Brasília, MMA, 2014. 132 p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. 2006. **Diretrizes Metodológicas para o Zoneamento Ecológico-Econômico**. Brasília.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. 2015. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 14/04/2015.

- MOLINOS, J.G.; HALPERN, B. S.; SCHOEMAN, D. S. *et al.* 2015. "Climate velocity and the future global redistribution of marine biodiversity." **Nature Climate Change**, Advance online publication, 31 august 2015.
- MONTEZUMA, R. C. M.; GOMES, E. S. 2010. "Conectando cidades e florestas: o caso do município de Nova Iguaçu." In: **VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física. II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física**. Universidade de Coimbra.
- MORETTIN, P. A. & BUSSAB, W. O. 2010. **Estatística Básica**. 6. ed. São Paulo Saraiva.
- MORRISON, D. G. 1969. On the interpretation of discriminant analysis. **Journal of Marketing Research**, 6, pp. 156-163.
- MOSS R. H.; BRENKERT, A. L.; MALONE, E. L. 2001. **Vulnerability to climate change: a quantitative approach**. In: PNNL-SA-33642. Pacific Northwest National Laboratory, Washington, DC.
- MOSS, R.; MUSTAFA, B.; SANDER, B. *et al.* 2008. **Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies**. Geneva. Intergovernmental Panel on Climate Change. p. 132.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G. *et al.* 2000. "Biodiversity hotspots for conservation priorities." **Nature**, 403: 853–858
- NAGELKERKE, N. J. D. 1991. "A note on a general definition of the coefficient of determination." **Biometrika**, 78(3), pp. 691-692.
- NASCIMENTO, J. A. S. 2011. **Vulnerabilidade a eventos climáticos extremos na Amazônia Ocidental: uma visão integrada na bacia do rio Acre**. Tese (Doutorado) UFRJ/COPPE, XII, 285 p.: il; 29,7 cm. 2011.
- NASCIMENTO, R. S. & BRITO, J. I. B. 2007. "Modelo de vegetação potencial para a região nordeste decorrente da precipitação pluvial." **Bragantia**, Campinas, v.66, n.3, p.511-519
- NASCIMENTO, R. S.; BRITO, J. I. B.; SOUZA, M. S. M. 2008. "Avaliação de um modelo de vegetação potencial para a região nordeste com restrições hídricas." **Revista de biologia e ciências da terra**. Vol. 8, nº1.
- NEWMAN, J. A.; ANAND, M.; HENRY, H. A. L. *et al.* 2011. **Climate change biology**. Cambridge, MA. CABI.
- NIMA Technical Report TR8350.2. 2004. **Department of Defense World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationships With Local Geodetic Systems**. Third Edition. National Geospatial-Intelligence Agency.
- NOBRE, A. D. 2014. **O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica**. São José dos Campos, SP: ARA: CCST-INPE: INPA.
- NOBRE, C. A.; REID, J. & VEIGA, A. P. S. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 44 p.
- NORUSIS, M. 2004. **SPSS 13.0 Advanced Statistical Procedures Companion**. Upper Saddle-River, N.J.: Prentice Hall, Inc.
- NOVAS, M. F. B. 2008. **Mapeamento das estimativas do saldo de radiação e índices de vegetação em área do Estado de Alagoas com base em sensores remotos**. Dissertação de M.Sc. Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió.
- NUSBAUMER, J. & MATSUMOTO, K. 2008. "Climate and carbon cycle changes under the overshoot scenario." **Global and Planetary Change**, Volume 62, Issues 1–2, pp. 164-172

- O'BRIEN, K.; LEICHENKO, R.; KELKAR, U. *et al.* 2004. "Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India", **Global Environmental Change**, Volume 14, Issue 4, Pages 303-313.
- ODUM, E. P. 1988. **Fundamentos de ecologia**. Editora Guanabara Koogan S.A. Rio de Janeiro, RJ.
- OLIVEIRA, A. A. B. 1999. **Projeto RADAMBRASIL – Histórico. Sítio Eletrônico dos Antigos Funcionários do Projeto RADAMBRASIL**. Endereço eletrônico: <http://www.projeto.radam.nom.br/apresentacao.html> Acesso em: 24/10/2012
- OLIVEIRA, R. R. de. 2007. "Mata Atlântica, paleoterritórios e história ambiental. Campinas, SP." **Ambiente & Sociedade**. Vol. X, n. 2 12 p.
- OYAMA M. D. & NOBRE, C. A. 2002. "Um modelo de vegetação potencial para estudos climáticos Foz de Iguaçu, PR." **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**.
- OYAMA, M.D. & NOBRE, C.A., 2003. "A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America." **Geophys. Res. Lett.** 30, 2199.
- OYAMA M. D. & NOBRE, C. A. 2004. "A simple potential vegetation model for coupling with the simple biosphere model (sib)." **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, pp. 203-216
- PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V. & PEREIRA, R. S. 2011. "Estoque de carbono em cerrado *sensu stricto* do Distrito Federal". **Rev. Árvore** [online], vol.35, n.3, pp. 527-538.
- PARANÁ. 1988a. **Plano de Manejo da Floresta Estadual Metropolitana**. Curitiba.
- PARANÁ. 1988b. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Ibiporã**. Curitiba.
- PARANÁ. 1988c. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Palmas**. Curitiba.
- PARANÁ. 1991. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Ibicatu**. Curitiba.
- PARANÁ. 1996a. **Plano de Manejo do Parque Estadual Amaporã**. Curitiba.
- PARANÁ. 1996b. **Plano de Manejo do Parque Estadual Pico do Marumbi**. Curitiba.
- PARANÁ. 2002a. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Mata dos Godoy**. Curitiba.
- PARANÁ. 2002b. **Plano de Manejo do Parque Estadual das Lauráceas**. Curitiba.
- PARANÁ. 2002c. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Cerrado**. Curitiba.
- PARANÁ. 2002d. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Guartelá**. Curitiba.
- PARANÁ. 2002e. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Monge**. Curitiba.
- PARANÁ. 2002f. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Rio Guarani**. Curitiba.
- PARANÁ. 2003a. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Campinhos**. Curitiba.
- PARANÁ. 2003b. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Vila Rica do Espírito Santo**. Curitiba.
- PARANÁ. 2004a. **Plano de Manejo da APA Estadual da Escarpa Devoniana**. Curitiba.
- PARANÁ. 2004b. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Vila Velha**. Curitiba.
- PARANÁ. 2004c. **Zoneamento ecológico econômico, plano de manejo e regulamentação legal da área de proteção ambiental da escarpa devoniana**. Curitiba.
- PARANÁ. 2005a. **Plano de Manejo da Estação Ecológica do Guaraguaçu**. Curitiba.
- PARANÁ. 2005b. **Plano de Manejo do Parque Estadual Lago Azul**. Curitiba.
- PARANÁ. 2006a. **Plano de Manejo da APA Estadual de Guaratuba**. Curitiba.
- PARANÁ. 2006b. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Cabeça do Cachorro**. Curitiba.
- PARANÁ. 2006c. **Plano de Manejo do Parque Estadual de São Camilo**. Curitiba.
- PARANÁ. 2006d. **Plano de Manejo do Horto Florestal de Jacarezinho**. Curitiba.
- PARANÁ. 2006e. **Plano de Manejo do Refúgio da Vida Silvestre do Pinhão**. Curitiba.

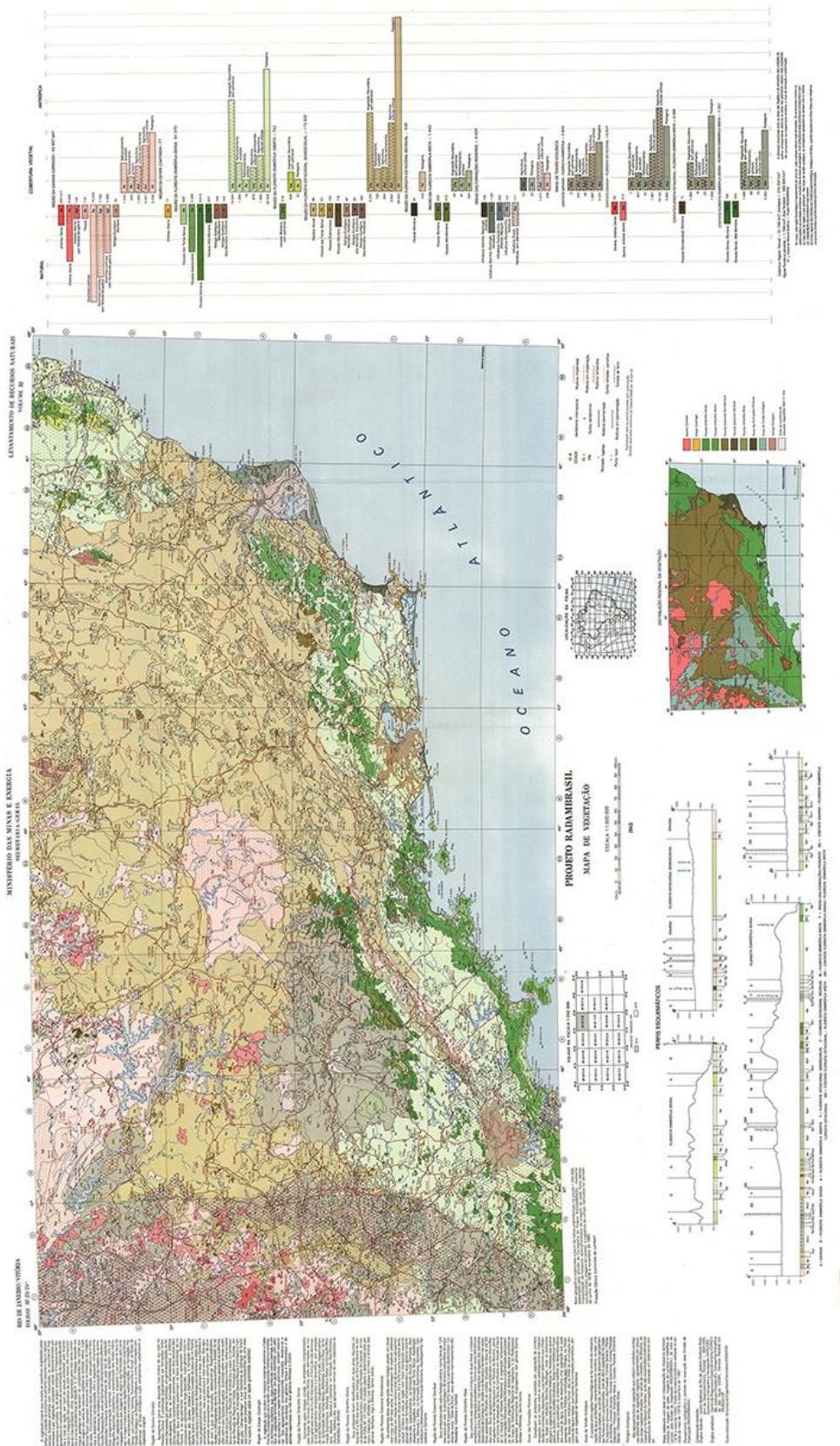
- PARANÁ. 2009a. **Plano de Manejo da APA Estadual da Serra da Esperança**. Curitiba.
- PARANÁ. 2009b. **Plano de Manejo da Estação Ecológica do Caiuá**. Curitiba.
- PARANÁ. 2009c. **Plano da Bacia do Rio Tibagi – Módulos 1 e 2**. Curitiba.
- PARANÁ. 2010. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná - PLERH/PR**. Curitiba.
- PARANÁ. 2013a. **Plano de Manejo da Estação Ecológica da Ilha do Mel**. Curitiba.
- PARANÁ. 2013b. **Plano de Manejo do Parque Estadual Ilha do Mel**. Curitiba.
- PARANÁ. 2013c. **Finalização do Plano das bacias do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira**. Curitiba.
- PARANÁ. 2015. Site. Disponível em: <<http://www.bioclima.pr.gov.br/>> Acesso em: 12/04/2015.
- PBMC, 2014. **Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**. [BUSTAMANTE, M. M. C., ROVERE E.L.L., (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 463 pp.
- PEARSON, R. G. & DAWSON, T. P. 2005. "Long-distance plant dispersal and habitat fragmentation: identifying conservation targets for spatial landscape planning under climate change." **Biological Conservation**, 123 (3), pp. 389 - 401.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L., & MCMAHON T. A. 2007. "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification." **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 11, pp. 1633-1644
- PERONI, 2003. **Rochas ígneas**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Engenharia de Minas. [online]. Disponível em: <http://www.lapes.ufrgs.br/discipl_grad/geologia1/peroni/apostilas/7igneas_2003.pdf> Acesso em: 1/02/2013
- PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; ARAVENA, R. *et al.* 2004. "Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes." **Quaternary International**, 114, pp. 35-43.
- PESSENDA, L. C. R.; SORAYA, E. M. G.; SAIA, S. E. M. *et al.* 2010. "Last millennium environmental changes and climate inferences in the Southeastern Atlantic forest, Brazil." **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 82(3), pp. 717-729
- PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P. *et al.* 1995. "Environmental and economical costs of soil erosion and conservation benefits." **Science, News Series**, Vol. 267, Nº 5201, pp. 117-1123.
- PIMM, S.I.; JENKINS, C. N.; ABELL, R. *et al.* 2014. "The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection." *Science*, vol. 344 (6187).
- POR, F. D. 1992. **Sooretama: the Atlantic Forest of Brazil**. SPB Academic Publishing, New York, 130p.
- PORECATU, 2006. **Plano Diretor Municipal de Porecatu – PR**. Prefeitura de Porecatu, Paraná.
- POST, E. 2013. **Ecology of Climate Change: The Importance of Biotic Interactions**. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. 408 pp.
- POUGH, F.H., C. M. JANIS & J. B. HEISER. 2003. **A Vida dos Vertebrados: 3ª ed.** Atheneu, São Paulo.
- PRENTICE, I. C.; CRAMER, W.; HARRISON, S. P. *et al.* 1992. "Special paper: a global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate", **Journal of biogeography**, pp. 117-134.

- PRENTICE, I. C. 1992. "Climate change and long-term vegetation dynamics." In: GLENN-LEWIN, D. C., PEET, R. K. & VEBLEN, T. T. 1992. **Plant Succession; theory and prediction**. Chapman & Hall, London, pp 293-339.
- PRIMACK, R. B. & RODRIGUES, E. 2001. **Biologia da conservação**. Londrina: Ed. Planta, VIII, 328p.
- PROJETO DE MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO DOS BIOMAS BRASILEIROS POR SATÉLITE – PMDBBS. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/mataatlantica/index.htm>> Acesso em: 01/02/2013
- QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2014. **QGIS Geographic Information System - Ver. 2.2**. Open Source Geospatial Foundation. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>
- RAMACHANDRAN, M., & EASTMAN, J. R. 1997. "Applications of GIS to vulnerability mapping: a West African food security case study." Chapter 3, in: EASTMAN, J. R. *et al.*, **Application of Geographic Information Systems (GIS) Technology in Environmental Risk Assessment and Management**. Worcester, Mass., Clark University, Idrisi Project.
- RAVEN, P. H., R. F. EVERT & S. E. EICHORN. 2001. **Biologia vegetal**. 6ª ed. Guanabara, Rio de Janeiro.
- REGRA, A. P. M. 2013. **Cenários como ferramenta na gestão ambiental municipal: um estudo de caso em Brotas – SP**. Dissertação (Mestrado). Escola de engenharia de São Carlos. USP, São Carlos. 154 pp.
- RIAH, K.; KREY, V.; RAO, S. *et al.* 2011. "RCP-8.5: exploring the consequence of high emission trajectories." **Climatic Change** 109, pp. 33-57.
- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C. *et al.* 2009. "The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation." **Biological Conservation**, vol. 142, no. 6, p. 1141-1153.
- RICKLEFS, R.E. 2003. **A economia da natureza**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 501p.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S.; SÁNCHEZ-MATA, D.; COSTA, M. 2008. **Global Bioclimatics** (Clasificación Bioclimática de la Tierra). Disponível em: <<http://www.globalbioclimatics.org/>> Acesso em: 10/02/2013.
- ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K. *et al.* 2009. "Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity." **Nature**, vol. 461, 472-475.
- ROSS, J. L. S. 1992. "O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo." **Revista do Dep. de. Geografia da USP**, nº. 6, p. 17-30
- ROSSATO, L. 2001. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 145 p. Disponível em: <<http://urlib.net/cptec.inpe.br/walmeida/2003/08.21.10.48>>. Acesso em: 16 fev. 2013.
- ROUX, D. J.; NEL, J. L.; ASHTON, P.J. *et al.* 2008. "Designing protected areas to conserve riverine biodiversity: Lessons from a hypothetical redesign of the Kruger National Park." **Biological Conservation**, vol. 141, p. 100-117.
- RUPPERT, E. & BARNES, R.D. 1996. **Zoologia dos Invertebrados**. 6ª ed., Roca Ed. São Paulo. 1029 p.
- SAATCHI, S.S. *et al.* 2007. "Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin." **Global Change Biology**, v.13, n.4, pp. 816-837.

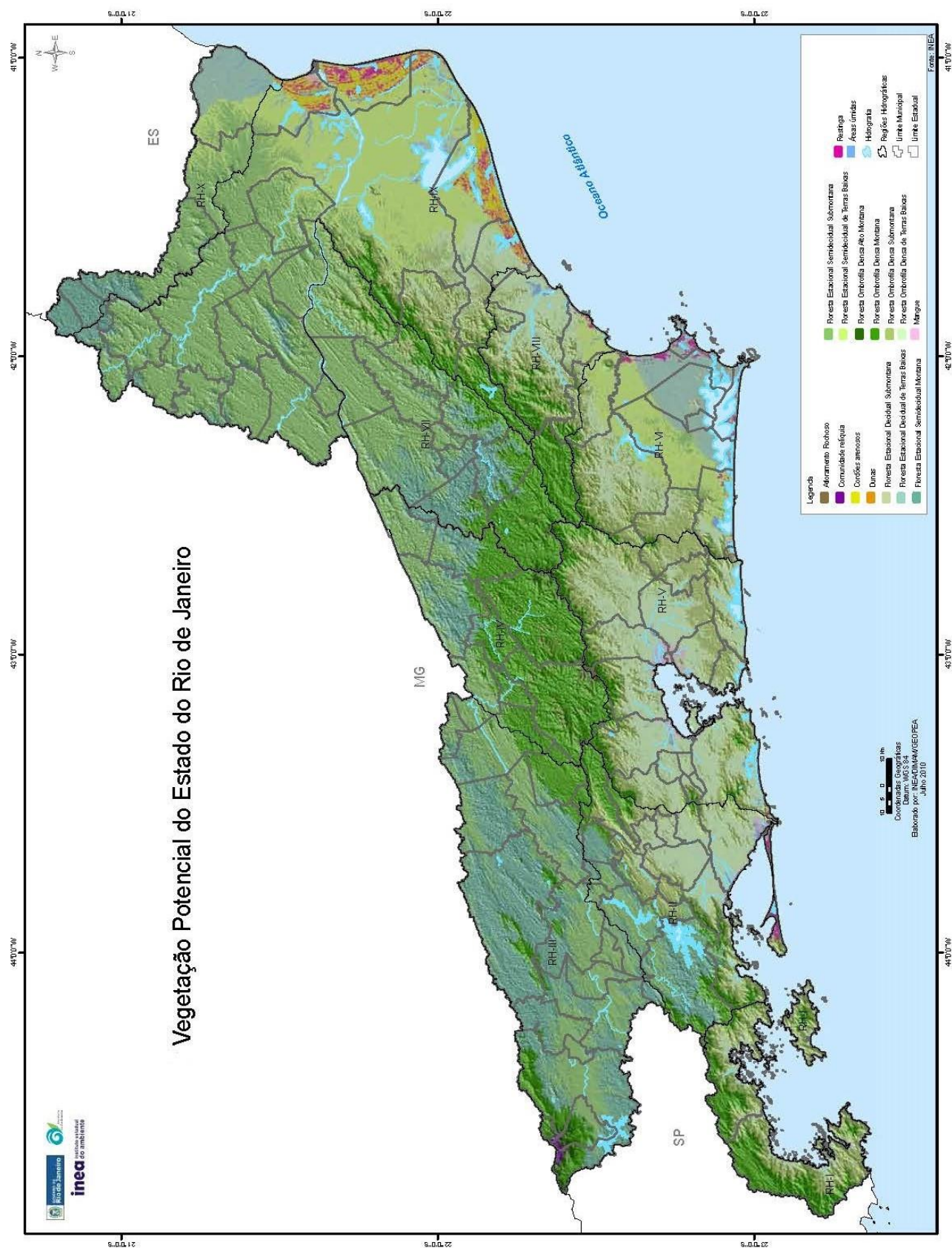
- SAMPAIO, G. 2012. “Projeções climáticas para o Brasil no século XXI: impactos na precipitação, temperatura e distribuição de biomas.”, **Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas - Cadernos Temáticos**. Rio de Janeiro.
- SÁNCHEZ, L. E. 2006. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1. 496 p
- SANDERS, M.S. & MCCORMICK, E. J., 1993, “Human Error, Accidents, and Safety”. In: Sanders, M.S. & McCormick, E. J., **Human Factors in Engineering and Design**. 7th ed., chapter 20, pp. 655 - 695. New York, USA, McGraw-Hill.
- SANTOS FILHO, A. 1980. “As principais consequências do desmatamento e uso do solo no estado do Paraná.” Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. **Revista Floresta**. v. 11, n.1.
- SANTOS, R. F. 2004. **Planejamento Ambiental - Teoria e Prática**. Oficina de Textos. Rio de Janeiro, RJ.
- SANTOS, T. S.; MENDES, D; CASTRO, A. A *et al.* 2015. “Incertezas das projeções de mudanças climáticas: Análise preliminar.” **Ciência e Natura**, v. 37 Ed. Especial SIC, pp. 63 – 68
- SCHLOTTMANN, R. S. 1989. “A BASIC program for classification analysis using proportional and maximum chance estimates of prior probabilities.” **Behavior Research Methods, Instruments, & Computers** 21 (6), pp. 636-638.
- SCHWEIGER, O.; HARPKE, A; HEIKKINEN, R. *et al.* 2012. “Increasing range mismatching of interacting species under global change is related to their ecological characteristics.” **Global Ecology and Biogeography**, 21(1), pp. 88-99.
- SECRETARIA ESTADUAL DO AMBIENTE - SEA. 2011. **O estado do ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro**. SEA/INEA; Rio de Janeiro, RJ. 160p.
- SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO - CPRM. 2013. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>> Acesso em: 10/04/2013.
- SETTI, A.A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M. *et al.* 2001. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2ª Ed. Brasília. Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. 207p. : Il., 23cm. Edição Multimídia.
- SHINAR, D.; GURION, B.; FLASCHER, O. M., 1991, “The Perceptual Determinants of Workplace Hazards”. **Proceedings of the Human Factors Society: 35th Annual Meeting**, San Francisco, California: v.2, p. 1095 - 1099, 2-6 sep.
- SILVEIRA, C, S. *et al.* 2013. “Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região Nordeste do Brasil, Amazônia e bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5.” **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 317-330.
- SMIT, B. & WANDEL J. 2006. “Adaptation, adaptive capacity and vulnerability”, **Global Environmental Change**, Volume 16, Issue 3, pp. 282-292
- SONDA, C. & TRAUZYNSKI, S. C. 2010. **Reforma agrária e meio ambiente: teoria e prática no estado do Paraná**. Curitiba: ITCG.
- SOUZA, T. V.; LORINE, M. L.; ALVES M. A. S. *et al.* 2011. “Redistribution of threatened and endemic Atlantic Forest birds under Climate Change.” **Natureza & Conservação** 9, pp. 214-218.
- STERN, N., 2006. **Stern Review on the Economics of Climate Change**. UK Government Economic Service, London. Disponível em: <www.sternreview.org.uk> Acesso em: 12/03/2013.
- TABACHNICK, B. G., & FIDELL, L. S. 2006. **Using multivariate statistics**. 5th ed. Boston, Allyn & Bacon.

- TAYLOR, K. E., R. J. STOUFFER & G. A. MEEHL, 2009. **A Summary of the CMIP5 Experiment Design**. World Climate Research Programme (WCRP). Acesso em: 09/02/2015. Disponível em: <https://pcmdi.llnl.gov/cmip5/docs/Taylor_CMIP5_design.pdf>
- THE HADGEM2 DEVELOPMENT TEAM. 2011. "The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations." **Geosci. Model Dev.**, 4, pp. 723–757.
- THOMSON A. M.; CALVIN, K. V.; SMITH, S. J. *et al.* 2011. "RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100." **Climatic Change** 109, pp. 77-94.
- THORNTHWAITE, C. W. 1948. "An approach toward a rational classification of climate." **The Geographical Review**, 38 (1):55-94
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. 1955. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology. 104p.
- THUILLER, W.; LAVOREL, S.; ARAÚJO, M. B. *et al.* 2005. "Climate change threats to plant diversity in Europe." **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 102 (23), pp. 8245-8250.
- TONHASCA JUNIOR, A., 2005. **Ecologia e história natural da Mata Atlântica**. Rio de Janeiro: Interciência.
- TOWNSEND, C. R., BEGON, M. & HARPER, J. L. 2006. **Fundamentos em Ecologia**. 2ªed. Artmed, Porto Alegre.
- TUCCI, C. E. M. & CLARKE, R. T. (1998). "Environmental Issues in the la Plata basin." **Water Resources Development** 14, 2, p. 157-73.
- UNFCCC. 1992. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**.
- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME - UNDP. **Human Development Statistical Tables 2014**. Disponível em: <<http://hdr.undp.org/en/data>> Acesso em: 02 de julho de 2015.
- UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2012. **World Urbanization Prospects, the 2011 Revision: Highlights**. New York.
- UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE. 2014. **Plano da bacia hidrográfica do Paraná 3**. Cascavel.
- VALE, M. M.; ALVES, M. A. S. & LORINI, M.L. 2009. "Mudanças Climáticas: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira." **Oecologia Brasiliensis**, 13:518-535.
- VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M. *et al.* 2011a. "The representative concentration pathways: an overview." **Climatic Change**. Volume 109, Issue 1-2, pp. 5-31,
- VAN VUUREN, D. P.; STEHFEST, E.; DEN ELZEN, M. G. J. *et al.* 2011b. "RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature change below 2°C." **Climatic Change** 109, 5-31.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. 2006. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife, Pernambuco. Brasil.
- VARJABEDIAN, R. 2010. "Lei da Mata Atlântica: Retrocesso ambiental." **Estud. Av.** [online]. vol.24, n.68, pp. 147-160. ISSN 0103-4014.
- VENTURI, L. A. B. 2011. **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Sarandi.
- VIDOTTO, E. *et al.* 2007. "Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos." **Acta Amaz.** [online]. vol.37, n.3, pp. 385-400. ISSN 0044-5967.
- VITAL; A. R. T.; LIMA, W. P.; CAMARGO, F. R. A. 1999. "Efeitos do corte raso de plantação de Eucalyptus sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e as perdas

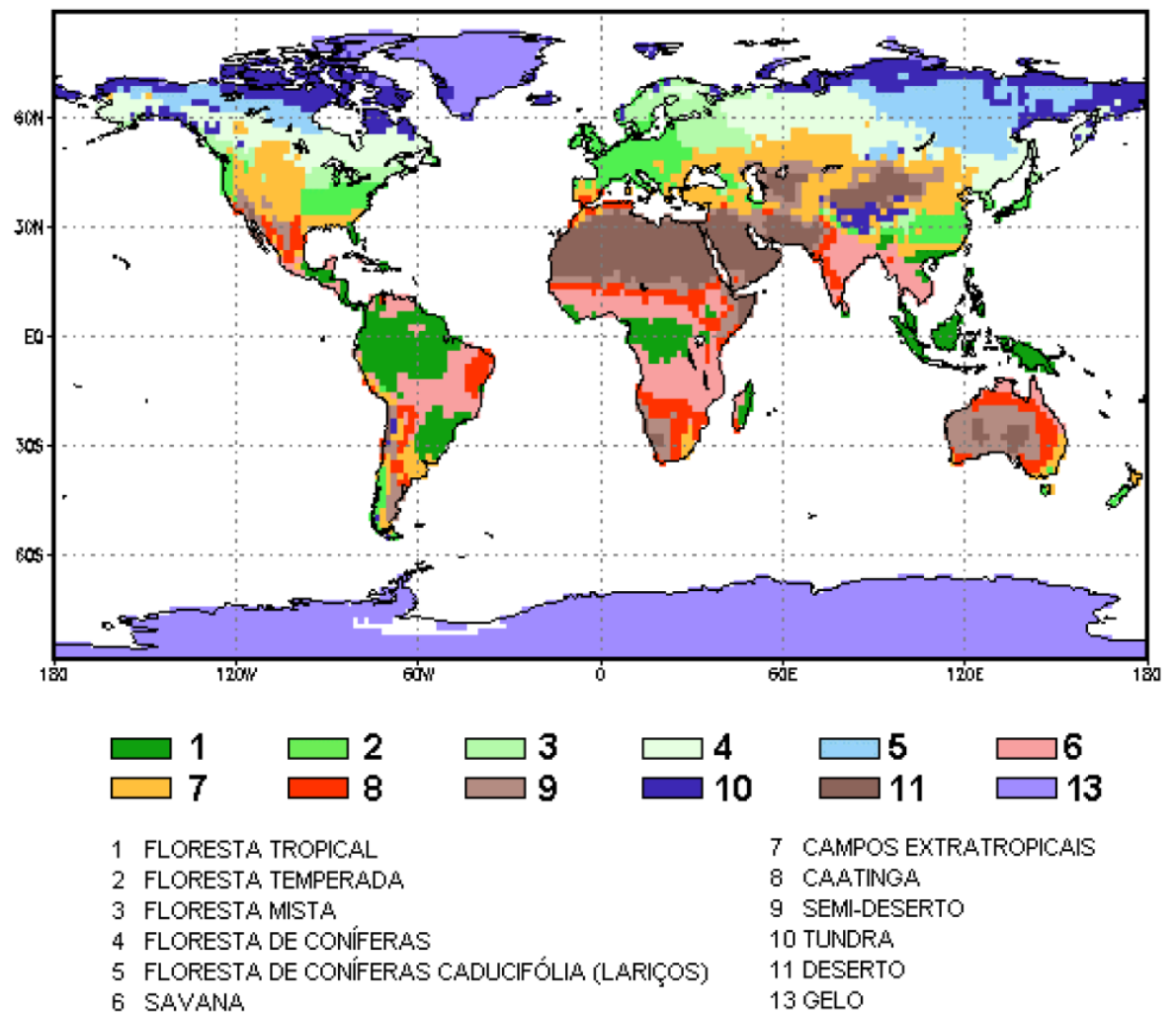
- de solo e de nutrientes em uma microbacia do Vale do Paraíba, S.P.” **Scientia Florestales**, 55: 5-16
- WATANABE, M.; SUZUKI, T.; O’ISHI, R. *et al.* 2010: “Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity.” **J. Climate**, 23, pp. 6312–6335.
- WORLD CLIMATE RESEARCH PROGRAMME – WCRP. 2015. Acesso em: 16/02/2015. Disponível em: <<http://wcrp-climate.org/wgcm-cmip/about-cmip>>
- WEST, J. M.; JULIUS, S.H.; KAREIVA, P. *et al.* 2009. “US natural resources and climate change: concepts and approaches for management adaptation.” **Environ. Manage.** 44, pp. 1001–21.
- WHITE, I. J. 2013. “Logical regression model Effectiveness - Proportional chance criteria and Proportional reduction in error.” **Journal of Contemporary Research in Education**, 2(1), pp. 4-10.
- WILCOX, R. R. 2005. **Introduction to robust estimation and hypothesis testing**. 2nd ed. Burlington, MA, Elsevier.
- WORLDCLIM, 2013. Disponível em: <<http://www.worldclim.org/>> Acesso em: 03/01/2013
- WWF-BRASIL & RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA – RBMA. 2011. **Avaliação do cumprimento das metas globais e nacionais de biodiversidade 2010 para a Mata Atlântica**. *Online*.
- ZAKOUR, M. J. & GILLESPIE, D. F. 2013. **Community disaster vulnerability: Theory, research, and practice**. New York, NY: Springer Science.
- ZELLER, R. H. 2008. **Aplicabilidade dos planos de manejo de oito parques nacionais do sul e sudeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- ZHANG, L.; DAWES, W. R. & WALKER, G.R. 1999. “Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.” **CSIRO Land and Water**. Disponível em: <<http://www.catchment.crc.org.au/pdfs/technical199912.pdf>> Acesso em: 28/01/2013



Anexo 2: Mapa de Vegetação Potencial do SEA/INEA (2011)



Anexo 3: Mapa de Vegetação Potencial de OYAMA & NOBRE (2002)



Anexo 4: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas dos cenários estudados.

Tabela 47: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TH54 (n = 255265).

	Média	Mediana	Moda	Desvio padrão	Variância	Assimetria	Kurtosis	Amplitude	Mínimo	Máximo
BIO1	212.8901	212	233	19.42405	377.2937	0.012001	-1.06432	112	144	256
BIO2	123.5207	127	131	11.19149	125.2495	-1.83857	4.407031	68	72	140
BIO3	58.24676	58	58	3.363416	11.31256	-1.08613	2.365974	21	44	65
BIO4	2950.982	2921	2908	248.6212	61812.5	0.591337	-0.08641	1311	2458	3769
BIO5	311.6011	312	294	20.44117	417.8415	-0.12236	-0.97276	125	231	356
BIO6	101.4792	99	91	17.90135	320.4584	0.18152	-0.62191	103	54	157
BIO8	237.083	241	257	24.5932	604.8255	-0.68479	0.025078	135	151	286
BIO9	186.8922	191	198	23.30425	543.0881	-0.17593	-1.07015	125	112	237
BIO10	247.3436	248	269	17.96269	322.6582	-0.0898	-1.06856	113	176	289
BIO11	172.0465	171	191	18.7806	352.7111	0.09089	-1.0394	106	110	216
BIO12	1680.876	1644	1445	271.2864	73596.3	0.493781	-0.56949	1463	1166	2629
BIO13	219.2568	210	183	37.68305	1420.012	0.616088	-0.46319	246	150	396
BIO14	80.59977	80	87	27.01309	729.7071	0.413145	-0.43129	132	31	163
BIO15	29.63088	28	27	6.350269	40.32592	0.671974	-0.107	35	17	52
BIO16	552.4637	545	600	72.73828	5290.857	1.144396	2.801652	620	364	984
BIO17	296.8414	298	301	89.61385	8030.642	0.185505	-0.54605	425	122	547
BIO18	530.5691	526	544	67.26626	4524.75	1.387259	4.378714	621	363	984
BIO19	341.1605	337	318	77.93853	6074.415	0.306964	-0.283	447	173	620

Tabela 48: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TH58 (n = 255265).

	Média	Mediana	Moda	Desvio padrão	Variância	Assimetria	Kurtosis	Amplitude	Mínimo	Máximo
BIO1	215.7408	215	237	19.64299	385.8472	0.019432	-1.08013	113	147	260
BIO2	126.0328	129	132	11.53579	133.0744	-2.05843	5.332002	72	71	143
BIO3	58.65268	59	61	3.172667	10.06581	-1.58677	4.003372	22	44	66
BIO4	3025.812	2994	2992	253.3999	64211.49	0.694546	0.093631	1379	2510	3889
BIO5	316.8493	317	296	22.30516	497.5203	-0.05547	-1.06249	129	234	363
BIO6	103.947	102	93	18.62372	346.8428	0.183731	-0.698	103	57	160
BIO8	243.586	249	263	24.7072	610.4459	-0.72129	-0.1075	132	159	291
BIO9	191.7183	193	201	21.29785	453.5985	-0.20742	-0.68378	125	115	240
BIO10	250.976	251	235	18.39277	338.2939	-0.06028	-1.07641	113	181	294
BIO11	173.7038	172	193	18.76406	352.09	0.112118	-1.05863	106	112	218
BIO12	1657.992	1631	1407	274.3627	75274.92	0.421339	-0.55302	1522	1142	2664
BIO13	208.3467	202	172	34.13072	1164.906	0.575106	-0.25704	223	137	360
BIO14	76.4697	75	35	28.58212	816.9373	0.498232	-0.35229	141	31	172
BIO15	28.37868	27	24	6.557548	43.00144	0.745822	-0.09027	35	16	51
BIO16	537.9028	531	521	76.14904	5798.677	1.306883	4.013696	654	351	1005
BIO17	291.4868	296	319	88.54105	7839.517	0.101902	-0.69287	406	121	527
BIO18	518.7472	517	524	68.46512	4687.473	1.148237	3.717784	641	351	992
BIO19	346.7583	346	351	78.49059	6160.772	0.319448	-0.07617	440	177	617

Tabela 49: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TH74 (n = 255265).

	Média	Mediana	Moda	Desvio padrão	Variância	Assimetria	Kurtosis	Amplitude	Mínimo	Máximo
BIO1	218.4639	218	239	19.86047	394.4382	0.000469	-1.05609	116	147	263
BIO2	121.4666	124	128	10.5472	111.2434	-1.80588	4.527372	66	72	138
BIO3	57.34056	57	56	3.139869	9.858779	-0.75461	1.533764	20	44	64
BIO4	2944.008	2916	2947	256.1373	65606.34	0.643013	0.019536	1381	2415	3796
BIO5	314.4537	315	296	20.72501	429.5262	-0.11916	-0.94823	129	231	360
BIO6	104.4347	103	121	18.24413	332.8484	0.136066	-0.68463	103	56	159
BIO8	241.0107	243	264	24.83299	616.6773	-0.43971	-0.59487	126	164	290
BIO9	195.132	199	207	22.10109	488.4583	-0.33131	-0.79089	127	116	243
BIO10	252.3173	253	275	18.40168	338.622	-0.11606	-1.05589	116	179	295
BIO11	177.2679	176	196	19.03473	362.3211	0.092649	-1.04332	109	114	223
BIO12	1696.425	1656	1468	271.1155	73503.61	0.530235	-0.50359	1497	1174	2671
BIO13	227.4404	215	197	39.33011	1546.858	0.522075	-0.81009	227	150	377
BIO14	73.95688	70	38	26.99157	728.5448	0.781225	0.09955	124	34	158
BIO15	31.90356	31	28	6.231251	38.82849	0.690247	-0.07987	34	20	54
BIO16	569.7735	560	495	73.23114	5362.8	0.73112	0.710385	572	379	951
BIO17	293.8149	295	295	83.92729	7043.79	0.136136	-0.68425	391	133	524
BIO18	536.1093	531	536	63.42433	4022.646	1.35767	4.192743	607	344	951
BIO19	347.8355	345	362	85.5584	7320.24	0.322198	-0.23912	470	165	635

Tabela 50: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TH78 (n = 255265).

	Média	Mediana	Moda	Desvio padrão	Variância	Assimetria	Kurtosis	Amplitude	Mínimo	Máximo
BIO1	229.9176	229	252	20.72382	429.4769	0.010478	-1.06592	119	157	276
BIO2	125.2999	128	132	11.54494	133.2857	-1.99467	5.011872	71	71	142
BIO3	58.0418	58	57	3.322659	11.04006	-0.87854	2.046071	22	44	66
BIO4	2948.355	2907	2748	261.8896	68586.16	0.787	0.271175	1452	2410	3862
BIO5	330.8162	331	363	23.2554	540.8136	-0.10858	-1.04207	135	243	378
BIO6	116.8186	114	103	18.84255	355.0418	0.140326	-0.86557	103	67	170
BIO8	251.1111	252	277	26.02273	677.1827	-0.24483	-0.96364	145	156	301
BIO9	209.4059	209	192	21.53251	463.6489	0.005469	-0.77031	132	129	261
BIO10	264.7851	265	248	19.12104	365.614	-0.08914	-1.06231	120	190	310
BIO11	187.8962	186	164	19.51829	380.9638	0.103248	-1.05972	110	124	234
BIO12	1806.351	1775	1742	309.143	95569.39	0.46327	-0.46258	1668	1225	2893
BIO13	243.4763	234	202	39.06026	1525.704	0.434778	-0.79697	226	169	395
BIO14	76.2575	72	38	30.15573	909.3683	0.734122	0.079233	150	30	180
BIO15	32.00715	31	28	6.52206	42.53727	0.554017	-0.36676	33	19	52
BIO16	593.5725	580	510	84.16502	7083.751	0.723598	0.350348	590	414	1004
BIO17	294.0639	289	339	101.9702	10397.93	0.291155	-0.59753	467	109	576
BIO18	549.8487	550	575	69.01948	4763.688	0.950766	2.988191	634	370	1004
BIO19	386.8784	388	378	88.60388	7850.647	0.376283	0.223399	500	199	699

Tabela 51: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TM54 (n = 255265).

	Média	Mediana	Moda	Desvio padrão	Variância	Assimetria	Kurtosis	Amplitude	Mínimo	Máximo
BIO1	203.577	202	183	18.95659	359.3522	0.038821	-1.05136	108	138	246
BIO2	119.7916	122	124	10.57399	111.8092	-1.99519	5.509128	69	69	138
BIO3	59.29653	59	58	3.549859	12.6015	-1.22952	2.983739	22	44	66
BIO4	2830.428	2808	2741	275.3245	75803.56	0.382749	-0.46091	1351	2271	3622
BIO5	299.3532	300	313	18.72133	350.4881	-0.1707	-0.92248	120	222	342
BIO6	99.04223	97	90	19.43639	377.7734	0.111219	-0.77102	103	51	154
BIO8	220.6143	227	242	29.48966	869.6399	-0.60131	-0.40719	159	119	278
BIO9	191.9025	194	196	22.0786	487.4647	-0.16555	0.195167	146	105	251
BIO10	237.5116	237	258	17.35682	301.2591	-0.0627	-1.05402	108	170	278
BIO11	165.8509	164	185	19.34398	374.1896	0.128988	-1.02322	108	105	213
BIO12	1767.311	1738	1686	243.0297	59063.46	0.425106	-0.47166	1575	1227	2802
BIO13	209.8361	204	187	30.04211	902.5284	0.870153	0.903053	216	146	362
BIO14	92.77912	91	92	23.68987	561.2097	0.451904	-0.25084	131	40	171
BIO15	23.92912	23	23	5.281864	27.89809	0.6443	0.181153	32	12	44
BIO16	537.0272	530	590	71.84968	5162.376	2.2533	9.289006	689	360	1049
BIO17	344.7005	348	354	73.92865	5465.445	-0.1105	-0.41777	366	173	539
BIO18	503.7768	491	473	69.80021	4872.069	2.93166	13.64495	702	347	1049
BIO19	424.4361	425	356	86.50263	7482.704	0.12186	-0.69962	483	216	699

Tabela 52: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TM58 (n = 255265).

	Média	Mediana	Moda	Desvio padrão	Variância	Assimetria	Kurtosis	Amplitude	Mínimo	Máximo
BIO1	207.1372	206	188	18.23992	332.6946	0.030655	-1.02254	107	142	249
BIO2	120.0832	121	121	9.789492	95.83416	-1.89621	6.329737	70	71	141
BIO3	58.83298	58	57	3.390243	11.49375	-0.78986	1.831638	21	45	66
BIO4	2841.22	2809	2718	326.4907	106596.2	0.439313	-0.36925	1583	2210	3793
BIO5	304.6838	305	318	17.46817	305.137	-0.10825	-0.72198	126	227	353
BIO6	102.0695	100	93	20.03725	401.4912	0.104187	-0.84477	103	53	156
BIO8	221.8369	225	227	24.47666	599.107	-0.86346	1.289806	160	123	283
BIO9	195.8249	196	198	19.7626	390.5604	0.37149	0.894292	140	119	259
BIO10	241.4422	241	228	16.81609	282.7807	-0.06157	-1.00385	109	174	283
BIO11	169.1522	167	152	19.32778	373.563	0.131712	-0.99449	106	110	216
BIO12	1707.221	1683	1621	229.1515	52510.39	0.476729	-0.186	1564	1212	2776
BIO13	230.8337	224	197	36.63108	1341.836	0.551474	-0.48862	221	158	379
BIO14	75.35612	73	74	21.65317	468.8596	0.548115	-0.32194	113	33	146
BIO15	33.18657	33	30	4.9468	24.47083	0.10895	-0.53416	28	21	49
BIO16	541.3377	531	585	70.70014	4998.51	1.948711	7.427862	667	370	1037
BIO17	299.9266	307	310	65.05384	4232.003	-0.29388	-0.46396	333	147	480
BIO18	484.4503	473	466	71.44832	5104.862	2.577353	11.80994	709	328	1037
BIO19	412.4473	410	362	76.82704	5902.394	0.16937	-0.03048	483	220	703

Tabela 53: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TM74 (n = 255265).

	Média	Mediana	Moda	Desvio padrão	Variância	Assimetria	Kurtosis	Amplitude	Mínimo	Máximo
BIO1	205.6986	205	185	19.03329	362.2661	0.034694	-1.05358	108	140	248
BIO2	119.1541	122	124	10.46997	109.6204	-1.89959	5.183407	68	69	137
BIO3	58.97175	59	58	3.422549	11.71384	-0.92655	2.258271	22	44	66
BIO4	2849.031	2816	2723	304.8284	92920.33	0.475301	-0.30755	1520	2259	3779
BIO5	301.8795	303	310 ^a	19.51366	380.7829	-0.13364	-0.91367	125	223	348
BIO6	101.4918	99	93	19.40364	376.5014	0.117489	-0.74386	103	54	157
BIO8	200.4203	198	151	39.30549	1544.921	0.002513	-1.37647	158	120	278
BIO9	195.2487	198	200	23.65464	559.5418	0.086262	-0.18869	139	118	257
BIO10	238.7925	239	260	17.76945	315.7532	-0.07381	-1.07241	108	171	279
BIO11	166.9839	165	149	19.87151	394.8771	0.145479	-1.0047	108	107	215
BIO12	1816.904	1790	1696	235.3636	55396	0.331389	-0.6259	1475	1225	2700
BIO13	242.4383	243	275	45.3603	2057.557	0.193028	-0.75371	233	154	387
BIO14	86.51847	83	82	22.74182	517.1903	0.882515	0.419101	127	39	166
BIO15	28.22363	28	24	4.589706	21.0654	0.160432	-0.56326	25	17	42
BIO16	549.4756	540	472	77.35473	5983.755	0.93698	1.482679	600	343	943
BIO17	345.1684	349	364	75.54583	5707.172	-0.15069	-0.58546	365	172	537
BIO18	464.795	457	455	70.82186	5015.736	2.292343	9.211134	624	319	943
BIO19	470.3702	471	403	83.62787	6993.621	0.157812	-0.45431	504	264	768

Tabela 54: Análise descritivas das variáveis bioclimáticas da TM78 (n = 255265).

	Média	Mediana	Moda	Desvio padrão	Variância	Assimetria	Kurtosis	Amplitude	Mínimo	Máximo
BIO1	214.0184	213	194	18.7357	351.0266	0.064369	-1.0173	109	149	258
BIO2	119.1019	120	120	9.800338	96.04663	-1.86215	6.149869	69	70	139
BIO3	59.46022	59	59	3.191299	10.18439	-1.17642	3.181961	22	45	67
BIO4	2790.011	2762	2658 ^a	300.334	90200.52	0.443167	-0.38314	1428	2217	3645
BIO5	308.743	309	297	17.83083	317.9384	-0.1254	-0.81671	124	232	356
BIO6	110.0064	108	101	19.89473	395.8002	0.113095	-0.85481	101	62	163
BIO8	227.9754	230	219	24.35539	593.1851	-0.69006	0.661369	144	144	288
BIO9	191.3431	190	178	21.578	465.6102	0.10773	-1.03714	132	127	259
BIO10	246.5632	246	234	17.10375	292.5382	-0.0444	-1.00759	108	180	288
BIO11	175.5091	173	155	19.30304	372.6075	0.169747	-0.97903	108	116	224
BIO12	1765.401	1751	1785	239.0419	57141.03	0.377141	-0.23678	1590	1257	2847
BIO13	239.7585	233	217	32.21281	1037.665	0.352094	-0.79061	198	170	368
BIO14	62.125	60	62	17.27133	298.299	0.966983	0.919558	101	35	136
BIO15	32.90249	33	30	5.159235	26.61771	0.146187	-0.31266	31	19	50
BIO16	561.9639	556	604	66.18437	4380.371	1.318162	3.95804	578	399	977
BIO17	298.2927	300	282	70.81482	5014.738	-0.0765	-0.43791	362	140	502
BIO18	469.8627	462	470	79.07405	6252.706	1.85069	6.665889	656	321	977
BIO19	441.5604	446	461	84.10945	7074.399	-0.06734	-0.35292	481	232	713

Anexo 5: Estimativas dos parâmetros das VPs para as categorias de vegetação.

Tabela 55: Estimativas dos parâmetros das VPs para a vegetação de referência 5.

5	B				Wald				Exp(B)			
	6	7	8	11	6	7	8	11	6	7	8	11
Intercepto	-9,876	-10,939	16,624	-50,302	10,411	2,247	48,936	62,212	-	-	-	-
BIO1	1,817	1,200	0,528	1,169	4393,608	272,009	684,037	704,568	6,151	3,319	1,695	3,218
BIO2	0,392	-0,307	0,412	0,377	242,885	21,680	419,213	105,625	1,480	0,736	1,509	1,458
BIO3	0,540	0,152	-0,107	-0,219	149,829	2,124	9,013	11,290	1,716	1,164	0,899	0,803
BIO4	0,011	0,030	0,024	0,009	247,639	265,764	2308,361	80,191	1,011	1,031	1,024	1,009
BIO5	-0,458	-0,450	-0,440	-0,589	599,026	56,652	830,547	268,278	0,632	0,638	0,644	0,555
BIO6	-0,034	-0,252	0,141	-0,083	3,595	27,344	105,403	9,979	0,967	0,777	1,151	0,920
BIO8	0,020	0,129	0,014	0,096	43,692	13,038	154,438	18,319	1,020	1,137	1,014	1,100
BIO9	0,038	-0,015	0,030	-0,264	784,002	0,398	849,764	360,781	1,039	0,985	1,030	0,768
BIO10	-1,016	-0,936	-0,776	-0,151	1042,366	142,939	1061,953	9,297	0,362	0,392	0,460	0,860
BIO11	-0,537	0,605	0,421	0,035	311,851	70,377	318,868	0,531	0,584	1,831	1,524	1,035
BIO12	0,049	0,028	0,012	0,017	4262,740	63,108	372,944	134,664	1,050	1,028	1,012	1,017
BIO13	-0,024	-0,269	0,030	-0,020	73,733	437,086	145,557	7,476	0,977	0,764	1,031	0,980
BIO14	-0,190	0,106	-0,195	-0,156	1669,995	28,283	2352,882	192,716	0,827	1,112	0,823	0,855
BIO15	-0,136	-1,284	-0,428	-0,270	77,376	565,980	1050,956	68,225	0,873	0,277	0,652	0,763
BIO16	-0,078	0,097	-0,049	-0,063	1236,979	111,613	920,961	170,433	0,925	1,102	0,952	0,939
BIO17	-0,052	-0,145	-0,009	-0,129	482,599	158,088	20,819	536,411	0,949	0,865	0,991	0,879
BIO18	0,038	0,024	0,060	0,038	430,630	22,171	2149,710	293,653	1,038	1,024	1,062	1,038
BIO19	-0,032	-0,143	-0,026	0,067	334,566	266,101	330,089	205,225	0,969	0,866	0,974	1,069
Altitude	-0,032	0,014	-0,004	0,022	5844,401	142,249	150,249	280,698	0,968	1,015	0,996	1,022
Textura	-0,134	0,277	-0,202	-0,023	78,027	38,687	258,468	1,888	0,874	1,319	0,817	0,977
Relevo	0,374	0,708	0,393	0,182	3697,235	1936,359	5420,259	451,806	1,453	2,030	1,482	1,200

Obs: A categoria de referência é a 5 (Estepe)

Tabela 56: Estimativas dos parâmetros das VPs para a vegetação de referência 6.

6	B				Wald				Exp(B)			
	5	7	8	11	5	7	8	11	5	7	8	11
Intercepto	9,876	-1,063	26,500	-40,426	10,411	0,022	179,812	42,411	-	-	-	-
BIO1	-1,817	-0,617	-1,289	-0,648	4393,608	72,384	4706,616	223,711	0,163	0,540	0,276	0,523
BIO2	-0,392	-0,699	0,019	-0,015	242,885	116,630	1,582	0,193	0,676	0,497	1,020	0,985
BIO3	-0,540	-0,388	-0,646	-0,759	149,829	14,507	576,702	152,909	0,583	0,678	0,524	0,468
BIO4	-0,011	0,020	0,013	-0,002	247,639	112,892	845,242	2,455	0,989	1,020	1,014	0,998
BIO5	0,458	0,008	0,018	-0,131	599,026	0,019	2,680	14,336	1,581	1,008	1,018	0,877
BIO6	0,034	-0,218	0,175	-0,049	3,595	20,882	222,078	3,695	1,035	0,804	1,191	0,952
BIO8	-0,020	0,109	-0,005	0,076	43,692	9,307	3,917	11,420	0,980	1,115	0,995	1,079
BIO9	-0,038	-0,054	-0,008	-0,302	784,002	4,822	81,277	473,898	0,963	0,948	0,992	0,739
BIO10	1,016	0,080	0,240	0,865	1042,366	1,050	131,834	321,540	2,762	1,083	1,272	2,375
BIO11	0,537	1,142	0,958	0,572	311,851	257,879	2381,092	156,887	1,711	3,133	2,607	1,772
BIO12	-0,049	-0,021	-0,037	-0,032	4262,740	36,596	6800,066	512,315	0,952	0,979	0,963	0,969
BIO13	0,024	-0,246	0,054	0,004	73,733	374,161	2062,563	0,303	1,024	0,782	1,055	1,004
BIO14	0,190	0,296	-0,005	0,034	1669,995	226,219	3,878	10,095	1,210	1,345	0,995	1,035
BIO15	0,136	-1,148	-0,292	-0,134	77,376	476,170	1201,165	18,582	1,146	0,317	0,747	0,874
BIO16	0,078	0,175	0,029	0,015	1236,979	364,668	349,991	10,070	1,081	1,192	1,030	1,015
BIO17	0,052	-0,092	0,043	-0,077	482,599	65,866	1144,709	210,161	1,054	0,912	1,044	0,926
BIO18	-0,038	-0,014	0,022	0,000	430,630	7,418	294,546	0,001	0,963	0,986	1,023	1,000
BIO19	0,032	-0,112	0,005	0,098	334,566	165,654	29,032	476,977	1,032	0,894	1,005	1,103
Altitude	0,032	0,047	0,028	0,055	5844,401	1531,049	10993,436	1759,672	1,033	1,048	1,029	1,056
Textura	0,134	0,411	-0,068	0,111	78,027	88,372	55,063	55,491	1,144	1,509	0,934	1,118
Relevo	-0,374	0,334	0,020	-0,191	3697,235	467,479	40,747	655,609	0,688	1,397	1,020	0,826

Obs: A categoria de referência é a 6 (Floresta Estacional Semidecidual)

Tabela 57: Estimativas dos parâmetros das VPs para a vegetação de referência

7	B				Wald				Exp(B)			
	5	6	8	11	5	6	8	11	5	6	8	11
Intercepto	10,939	1,063	27,563	-39,363	2,247	0,022	15,662	18,519	-	-	-	-
BIO1	-1,200	0,617	-0,672	-0,031	272,009	72,384	91,467	0,146	0,301	1,854	0,511	0,970
BIO2	0,307	0,699	0,719	0,684	21,680	116,630	129,849	94,869	1,359	2,012	2,051	1,981
BIO3	-0,152	0,388	-0,258	-0,371	2,124	14,507	6,869	10,786	0,859	1,474	0,772	0,690
BIO4	-0,030	-0,020	-0,006	-0,021	265,764	112,892	12,299	112,181	0,970	0,980	0,994	0,979
BIO5	0,450	-0,008	0,010	-0,139	56,652	0,019	0,031	4,367	1,568	0,992	1,010	0,870
BIO6	0,252	0,218	0,393	0,169	27,344	20,882	71,692	10,695	1,287	1,244	1,481	1,184
BIO8	-0,129	-0,109	-0,114	-0,033	13,038	9,307	10,316	0,614	0,879	0,897	0,892	0,968
BIO9	0,015	0,054	0,045	-0,249	0,398	4,822	3,467	78,719	1,016	1,055	1,046	0,780
BIO10	0,936	-0,080	0,160	0,785	142,939	1,050	4,537	81,438	2,550	0,923	1,174	2,193
BIO11	-0,605	-1,142	-0,184	-0,570	70,377	257,879	7,170	50,558	0,546	0,319	0,832	0,565
BIO12	-0,028	0,021	-0,016	-0,010	63,108	36,596	22,075	7,998	0,973	1,021	0,984	0,990
BIO13	0,269	0,246	0,300	0,249	437,086	374,161	560,061	301,241	1,309	1,278	1,349	1,283
BIO14	-0,106	-0,296	-0,301	-0,262	28,283	226,219	236,464	139,191	0,899	0,743	0,740	0,769
BIO15	1,284	1,148	0,857	1,014	565,980	476,170	266,332	283,617	3,613	3,153	2,355	2,757
BIO16	-0,097	-0,175	-0,146	-0,160	111,613	364,668	259,479	249,870	0,907	0,839	0,864	0,852
BIO17	0,145	0,092	0,135	0,015	158,088	65,866	142,521	1,484	1,156	1,097	1,145	1,015
BIO18	-0,024	0,014	0,036	0,014	22,171	7,418	53,954	7,009	0,976	1,014	1,037	1,014
BIO19	0,143	0,112	0,117	0,210	266,101	165,654	182,563	467,881	1,154	1,118	1,124	1,234
Altitude	-0,014	-0,047	-0,018	0,008	142,249	1531,049	249,474	19,843	0,986	0,954	0,982	1,008
Textura	-0,277	-0,411	-0,479	-0,300	38,687	88,372	124,083	45,362	0,758	0,663	0,619	0,741
Relevo	-0,708	-0,334	-0,315	-0,526	1936,359	467,479	429,118	999,412	0,493	0,716	0,730	0,591

Obs: A categoria de referência é a 7 (Floresta Ombrófila Densa)

Tabela 58: Estimativas dos parâmetros das VPs para a vegetação de referência 8.

8	B				Wald				Exp(B)			
	5	6	7	11	5	6	7	11	5	6	7	11
Intercepto	-16,624	-26,500	-27,563	-66,926	48,936	179,812	15,662	125,776	-	-	-	-
BIO1	0,004	-0,028	0,018	0,026	150,249	10993,436	249,474	418,279	1,004	0,972	1,019	1,027
BIO2	0,202	0,068	0,479	0,179	258,468	55,063	124,083	207,849	1,224	1,070	1,614	1,196
BIO3	-0,393	-0,020	0,315	-0,211	5420,259	40,747	429,118	945,905	0,675	0,980	1,370	0,810
BIO4	-0,528	1,289	0,672	0,641	684,037	4706,616	91,467	260,199	0,590	3,629	1,958	1,899
BIO5	-0,412	-0,019	-0,719	-0,035	419,213	1,582	129,849	1,212	0,663	0,981	0,487	0,966
BIO6	0,107	0,646	0,258	-0,113	9,013	576,702	6,869	3,999	1,112	1,909	1,295	0,894
BIO8	-0,024	-0,013	0,006	-0,015	2308,361	845,242	12,299	277,068	0,976	0,987	1,006	0,985
BIO9	0,440	-0,018	-0,010	-0,149	830,547	2,680	0,031	20,395	1,553	0,982	0,990	0,861
BIO10	-0,141	-0,175	-0,393	-0,224	105,403	222,078	71,692	94,787	0,868	0,839	0,675	0,799
BIO11	-0,014	0,005	0,114	0,081	154,438	3,917	10,316	13,295	0,986	1,005	1,121	1,085
BIO12	-0,030	0,008	-0,045	-0,294	849,764	81,277	3,467	449,543	0,970	1,008	0,956	0,745
BIO13	0,776	-0,240	-0,160	0,625	1061,953	131,834	4,537	199,141	2,172	0,786	0,852	1,868
BIO14	-0,421	-0,958	0,184	-0,387	318,868	2381,092	7,170	84,090	0,656	0,384	1,202	0,679
BIO15	-0,012	0,037	0,016	0,006	372,944	6800,066	22,075	17,511	0,988	1,038	1,016	1,006
BIO16	-0,030	-0,054	-0,300	-0,050	145,557	2062,563	560,061	53,536	0,970	0,947	0,741	0,951
BIO17	0,195	0,005	0,301	0,039	2352,882	3,878	236,464	13,470	1,216	1,005	1,352	1,040
BIO18	0,428	0,292	-0,857	0,158	1050,956	1201,165	266,332	27,140	1,534	1,339	0,425	1,171
BIO19	0,049	-0,029	0,146	-0,014	920,961	349,991	259,479	9,313	1,050	0,971	1,158	0,986
Altitude	0,009	-0,043	-0,135	-0,120	20,819	1144,709	142,521	526,423	1,009	0,958	0,874	0,887
Textura	-0,060	-0,022	-0,036	-0,022	2149,710	294,546	53,954	152,066	0,942	0,978	0,964	0,978
Relevo	0,026	-0,005	-0,117	0,093	330,089	29,032	182,563	438,528	1,027	0,995	0,889	1,097

Obs: A categoria de referência é a 8 (Floresta Ombrófila Mista)

Tabela 59: Estimativas dos parâmetros das VPs para a vegetação de referência 11.

11	B				Wald				Exp(B)			
	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
Intercepto	50,302	40,426	39,363	66,926	62,212	42,411	18,519	125,776	-	-	-	-
BIO1	-1,169	0,648	0,031	-0,641	704,568	223,711	0,146	260,199	0,311	1,911	1,031	0,569
BIO2	-0,377	0,015	-0,684	0,035	105,625	0,193	94,869	1,212	0,686	1,015	0,505	1,101
BIO3	0,219	0,759	0,371	0,113	11,290	152,909	10,786	3,999	1,245	2,136	1,449	1,250
BIO4	-0,009	0,002	0,021	0,015	80,191	2,455	112,181	277,068	0,991	1,002	1,022	1,017
BIO5	0,589	0,131	0,139	0,149	268,278	14,336	4,367	20,395	1,802	1,140	1,149	1,238
BIO6	0,083	0,049	-0,169	0,224	9,979	3,695	10,695	94,787	1,087	1,050	0,845	1,309
BIO8	-0,096	-0,076	0,033	-0,081	18,319	11,420	0,614	13,295	0,909	0,927	1,033	0,963
BIO9	0,264	0,302	0,249	0,294	360,781	473,898	78,719	449,543	1,302	1,353	1,282	1,379
BIO10	0,151	-0,865	-0,785	-0,625	9,297	321,540	81,438	199,141	1,163	0,421	0,456	0,584
BIO11	-0,035	-0,572	0,570	0,387	0,531	156,887	50,558	84,090	0,966	0,564	1,769	1,599
BIO12	-0,017	0,032	0,010	-0,006	134,664	512,315	7,998	17,511	0,983	1,032	1,011	0,997
BIO13	0,020	-0,004	-0,249	0,050	7,476	0,303	301,241	53,536	1,020	0,996	0,779	1,066
BIO14	0,156	-0,034	0,262	-0,039	192,716	10,095	139,191	13,470	1,169	0,967	1,300	0,982
BIO15	0,270	0,134	-1,014	-0,158	68,225	18,582	283,617	27,140	1,310	1,144	0,363	0,906
BIO16	0,063	-0,015	0,160	0,014	170,433	10,070	249,870	9,313	1,065	0,985	1,174	1,023
BIO17	0,129	0,077	-0,015	0,120	536,411	210,161	1,484	526,423	1,138	1,080	0,985	1,139
BIO18	-0,038	0,000	-0,014	0,022	293,653	0,001	7,009	152,066	0,963	1,000	0,986	1,026
BIO19	-0,067	-0,098	-0,210	-0,093	205,225	476,977	467,881	438,528	0,936	0,906	0,811	0,919
Altitude	-0,022	-0,055	-0,008	-0,026	280,698	1759,672	19,843	418,279	0,978	0,947	0,992	0,977
Textura	0,023	-0,111	0,300	-0,179	1,888	55,491	45,362	207,849	1,024	0,895	1,350	0,857
Relevo	-0,182	0,191	0,526	0,211	451,806	655,609	999,412	945,905	0,833	1,211	1,692	1,252

Obs: A categoria de referência é a 11 (Savana)

**Anexo 6: Tabulação cruzada entre as classes de vegetação previstas
na TP com a dos cenários estudados.**

Tabela 60: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TH54 (n = 242750).

			PreTH54					Total	
			5	6	7	8	11		
PreTP	5	Contagem	4483	0	1	0	435	4919	
		% dentro de PreTP	91.1%	0.0%	.0%	0.0%	8.8%	100.0%	
		% dentro de PreTH54	7.8%	0.0%	.0%	0.0%	1.3%	2.0%	
	6	Contagem	1791	81255	217	5687	8200	97150	
		% dentro de PreTP	1.8%	83.6%	.2%	5.9%	8.4%	100.0%	
		% dentro de PreTH54	3.1%	95.3%	1.5%	11.0%	24.2%	40.0%	
	7	Contagem	2	43	10462	36	115	10658	
		% dentro de PreTP	.0%	.4%	98.2%	.3%	1.1%	100.0%	
		% dentro de PreTH54	.0%	.1%	71.7%	.1%	.3%	4.4%	
	8	Contagem	50948	3959	3740	46038	22119	126804	
		% dentro de PreTP	40.2%	3.1%	2.9%	36.3%	17.4%	100.0%	
		% dentro de PreTH54	89.0%	4.6%	25.6%	88.9%	65.2%	52.2%	
	11	Contagem	0	0	171	0	3048	3219	
		% dentro de PreTP	0.0%	0.0%	5.3%	0.0%	94.7%	100.0%	
		% dentro de PreTH54	0.0%	0.0%	1.2%	0.0%	9.0%	1.3%	
Total			Contagem	57224	85257	14591	51761	33917	242750
			% dentro de PreTP	23.6%	35.1%	6.0%	21.3%	14.0%	100.0%

Tabela 61: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TH58 (n = 242750).

			PreTH58					Total	
			5	6	7	8	11		
PreTP	5	Contagem	3558	1	0	298	1062	4919	
		% dentro de PreTP	72.3%	0.0%	.0%	6.1%	21.6%	100.0%	
		% dentro de PreTH58	8.3%	0.0%	.0%	0.5%	1.8%	2.0%	
	6	Contagem	21	68051	334	2782	25962	97150	
		% dentro de PreTP	0.0%	70.0%	.3%	2.9%	26.7%	100.0%	
		% dentro de PreTH58	0.0%	94.0%	2.7%	5.0%	43.2%	40.0%	
	7	Contagem	4	0	10610	0	44	10658	
		% dentro de PreTP	.0%	.0%	99.5%	.0%	0.4%	100.0%	
		% dentro de PreTH58	.0%	.0%	85.9%	.0%	.1%	4.4%	
	8	Contagem	39084	4354	1413	52110	29843	126804	
		% dentro de PreTP	30.8%	3.4%	1.1%	41.1%	23.5%	100.0%	
		% dentro de PreTH58	91.6%	6.0%	11.4%	94.4%	49.6%	52.2%	
	11	Contagem	0	0	0	0	3219	3219	
		% dentro de PreTP	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	
		% dentro de PreTH58	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.4%	1.3%	
Total			Contagem	42667	72406	12357	55190	60130	242750
			% dentro de PreTP	17.6%	29.8%	5.1%	22.7%	24.8%	100.0%

Tabela 62: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TH74 (n = 242750).

			PreTH74					Total	
			5	6	7	8	11		
PreTP	5	Contagem	3176	0	3	0	1740	4919	
		% dentro de PreTP	64.6%	0.0%	.1%	0.0%	35.4%	100.0%	
		% dentro de PreTH74	5.6%	0.0%	.0%	0.0%	2.8%	2.0%	
	6	Contagem	2016	69494	2774	5436	17430	97150	
		% dentro de PreTP	2.1%	71.5%	2.9%	5.6%	17.9%	100.0%	
		% dentro de PreTH74	3.6%	95.8%	18.7%	14.5%	28.2%	40.0%	
	7	Contagem	0	5	9642	0	1011	10658	
		% dentro de PreTP	.0%	.0%	90.5%	.0%	9.5%	100.0%	
		% dentro de PreTH74	.0%	.0%	65.1%	.0%	1.6%	4.4%	
	8	Contagem	51085	3041	2345	31946	38387	126804	
		% dentro de PreTP	40.3%	2.4%	1.8%	25.2%	30.3%	100.0%	
		% dentro de PreTH74	90.8%	4.2%	15.8%	85.5%	62.2%	52.2%	
	11	Contagem	0	0	43	0	3176	3219	
		% dentro de PreTP	0.0%	0.0%	1.3%	0.0%	98.7%	100.0%	
		% dentro de PreTH74	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	5.1%	1.3%	
Total			Contagem	56277	72540	14807	37382	61744	242750
			% dentro de PreTP	23.2%	29.9%	6.1%	15.4%	25.4%	100.0%

Tabela 63: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TH78 (n = 242750).

			PreTH78					Total	
			5	6	7	8	11		
PreTP	5	Contagem	3197	0	0	0	1722	4919	
		% dentro de PreTP	65.0%	0.0%	.0%	0.0%	35.0%	100.0%	
		% dentro de PreTH78	4.3%	0.0%	.0%	0.0%	1.3%	2.0%	
	6	Contagem	4594	25422	0	631	66503	97150	
		% dentro de PreTP	4.7%	26.2%	.0%	0.6%	68.5%	100.0%	
		% dentro de PreTH78	6.2%	90.3%	0.0%	20.6%	50.6%	40.0%	
	7	Contagem	1178	0	6326	51	3103	10658	
		% dentro de PreTP	11.1%	.0%	59.4%	.5%	29.1%	100.0%	
		% dentro de PreTH78	1.6%	.0%	100.0%	1.7%	2.4%	4.4%	
	8	Contagem	64835	2743	0	2385	56841	126804	
		% dentro de PreTP	51.1%	2.2%	0.0%	1.9%	44.8%	100.0%	
		% dentro de PreTH78	87.8%	9.7%	0.0%	77.8%	43.3%	52.2%	
	11	Contagem	0	0	0	0	3219	3219	
		% dentro de PreTP	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	
		% dentro de PreTH78	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.4%	1.3%	
Total			Contagem	73804	28165	6326	3067	131388	242750
			% dentro de PreTP	30.4%	11.6%	2.6%	1.3%	54.1%	100.0%

Tabela 64: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TM54 (n = 242750).

			PreTM54					Total	
			5	6	7	8	11		
PreTP	5	Contagem	4917	0	0	2	0	4919	
		% dentro de PreTP	100.0%	0.0%	.0%	0.0%	0.0%	100.0%	
		% dentro de PreTM54	5.7%	0.0%	.0%	0.0%	0.0%	2.0%	
	6	Contagem	4483	87919	18	1856	2874	97150	
		% dentro de PreTP	4.6%	90.5%	.0%	1.9%	3.0%	100.0%	
		% dentro de PreTM54	5.2%	91.6%	0.2%	4.6%	27.2%	40.0%	
	7	Contagem	87	0	9019	1434	118	10658	
		% dentro de PreTP	.8%	.0%	84.6%	13.5%	1.1%	100.0%	
		% dentro de PreTM54	.1%	.0%	98.8%	3.5%	1.1%	4.4%	
	8	Contagem	76724	8042	95	37176	4767	126804	
		% dentro de PreTP	60.5%	6.3%	0.1%	29.3%	3.8%	100.0%	
		% dentro de PreTM54	88.7%	8.4%	1.0%	91.7%	45.1%	52.2%	
	11	Contagem	329	0	0	85	2805	3219	
		% dentro de PreTP	10.2%	0.0%	0.0%	2.6%	87.1%	100.0%	
		% dentro de PreTM54	0.4%	0.0%	0.0%	0.2%	26.6%	1.3%	
Total			Contagem	86540	95961	9132	40553	10564	242750
			% dentro de PreTP	35.6%	39.5%	3.8%	16.7%	4.4%	100.0%

Tabela 65: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TM58 (n = 242750).

			PreTM58					Total	
			5	6	7	8	11		
PreTP	5	Contagem	4092	0	0	0	827	4919	
		% dentro de PreTP	83.2%	0.0%	.0%	0.0%	16.8%	100.0%	
		% dentro de PreTM58	3.5%	0.0%	.0%	0.0%	1.8%	2.0%	
	6	Contagem	25880	54182	0	15	17073	97150	
		% dentro de PreTP	26.6%	55.8%	.0%	0.0%	17.6%	100.0%	
		% dentro de PreTM58	21.8%	87.8%	0.0%	0.1%	37.3%	40.0%	
	7	Contagem	364	843	3961	3964	1526	10658	
		% dentro de PreTP	3.4%	7.9%	37.2%	37.2%	14.3%	100.0%	
		% dentro de PreTM58	.3%	1.4%	99.9%	30.9%	3.3%	4.4%	
	8	Contagem	88108	6667	3	8854	23172	126804	
		% dentro de PreTP	69.5%	5.3%	0.0%	7.0%	18.3%	100.0%	
		% dentro de PreTM58	74.4%	10.8%	0.1%	69.0%	50.6%	52.2%	
	11	Contagem	1	0	0	0	3218	3219	
		% dentro de PreTP	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	
		% dentro de PreTM58	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.0%	1.3%	
Total			Contagem	118445	61692	3964	12833	45816	242750
			% dentro de PreTP	48.8%	25.4%	1.6%	5.3%	18.9%	100.0%

Tabela 66: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TM74 (n = 242750).

			PreTM74					Total	
			5	6	7	8	11		
PreTP	5	Contagem	4553	0	0	5	361	4919	
		% dentro de PreTP	92.6%	0.0%	.0%	0.1%	7.3%	100.0%	
		% dentro de PreTM74	3.6%	0.0%	.0%	0.1%	0.9%	2.0%	
	6	Contagem	26234	50859	2	3	20052	97150	
		% dentro de PreTP	27.0%	52.4%	.0%	0.0%	20.6%	100.0%	
		% dentro de PreTM74	20.9%	86.8%	0.0%	0.0%	47.8%	40.0%	
	7	Contagem	3	955	6800	1299	1601	10658	
		% dentro de PreTP	.0%	9.0%	63.8%	12.2%	15.0%	100.0%	
		% dentro de PreTM74	.0%	1.6%	99.8%	13.0%	3.8%	4.4%	
	8	Contagem	94502	6781	13	8676	16832	126804	
		% dentro de PreTP	74.5%	5.3%	0.0%	6.8%	13.3%	100.0%	
		% dentro de PreTM74	75.4%	11.6%	0.2%	86.9%	40.1%	52.2%	
	11	Contagem	123	0	0	0	3096	3219	
		% dentro de PreTP	3.8%	0.0%	0.0%	0.0%	96.2%	100.0%	
		% dentro de PreTM74	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	7.4%	1.3%	
Total			Contagem	125415	58595	6815	9983	41942	242750
			% dentro de PreTP	51.7%	24.1%	2.8%	4.1%	17.3%	100.0%

Tabela 67: Tabulação cruzada entre as vegetações previstas na TP e a da TM78 (n = 242750).

			PreTM78					Total	
			5	6	7	8	11		
PreTP	5	Contagem	2551	0	0	48	2320	4919	
		% dentro de PreTP	51.9%	0.0%	.0%	1.0%	47.2%	100.0%	
		% dentro de PreTM78	5.6%	0.0%	.0%	0.6%	2.1%	2.0%	
	6	Contagem	1050	59840	0	0	36260	97150	
		% dentro de PreTP	1.1%	61.6%	.0%	0.0%	37.3%	100.0%	
		% dentro de PreTM78	2.3%	78.0%	0.0%	0.0%	33.3%	40.0%	
	7	Contagem	0	1524	4115	1812	3207	10658	
		% dentro de PreTP	.0%	14.3%	38.6%	17.0%	30.1%	100.0%	
		% dentro de PreTM78	.0%	2.0%	100.0%	23.3%	2.9%	4.4%	
	8	Contagem	41626	15374	0	5906	63898	126804	
		% dentro de PreTP	32.8%	12.1%	0.0%	4.7%	50.4%	100.0%	
		% dentro de PreTM78	92.0%	20.0%	0.0%	76.0%	58.7%	52.2%	
	11	Contagem	0	0	0	0	3219	3219	
		% dentro de PreTP	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	
		% dentro de PreTM78	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.0%	1.3%	
Total			Contagem	45227	76738	4115	7766	108904	242750
			% dentro de PreTP	18.6%	31.6%	1.7%	3.2%	44.9%	100.0%

Anexo 7: Mapas da alteração da vegetação prevista por cenário estudado.

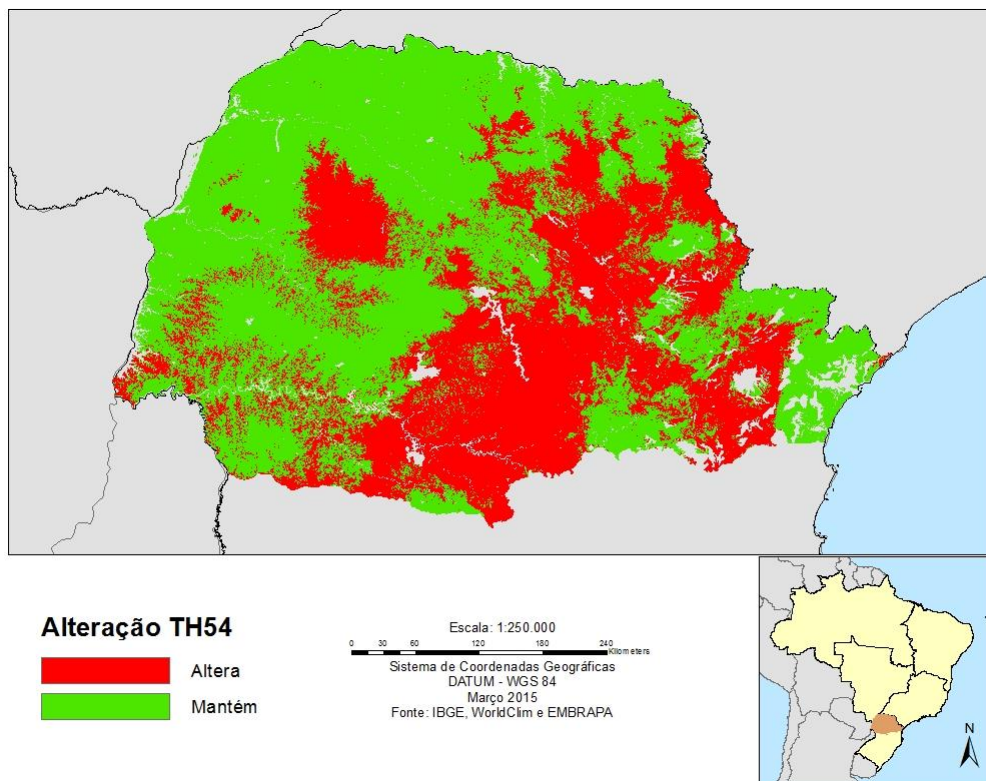


Figura 56: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TH54.

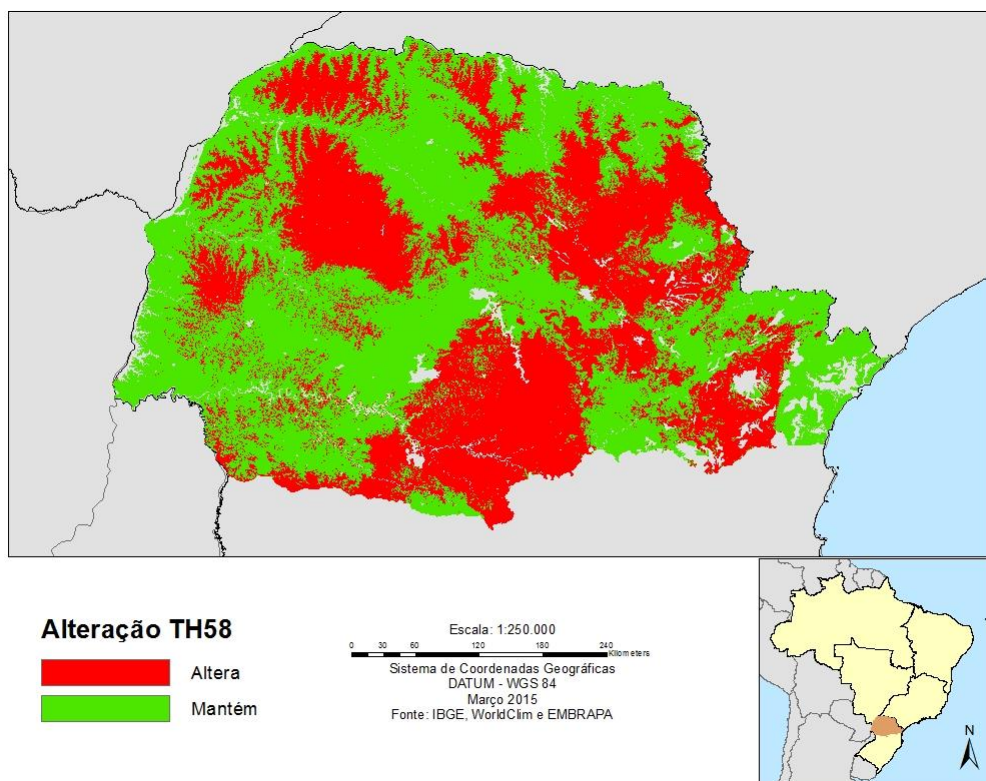


Figura 57: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TH58.

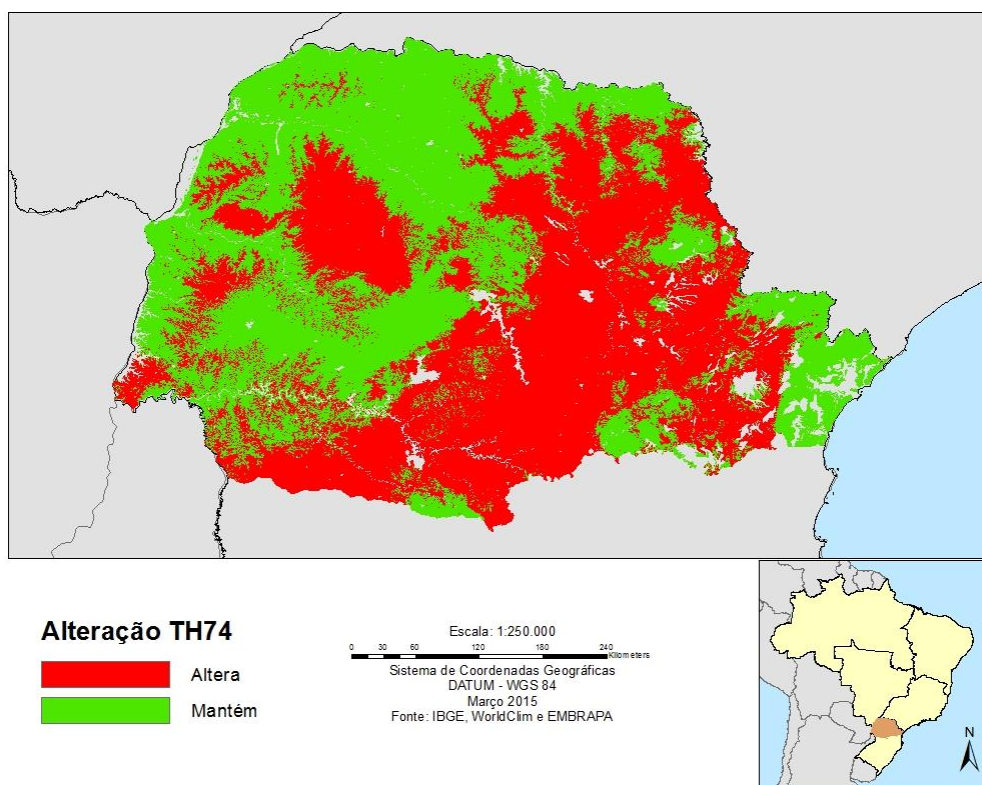


Figura 58: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TH74.

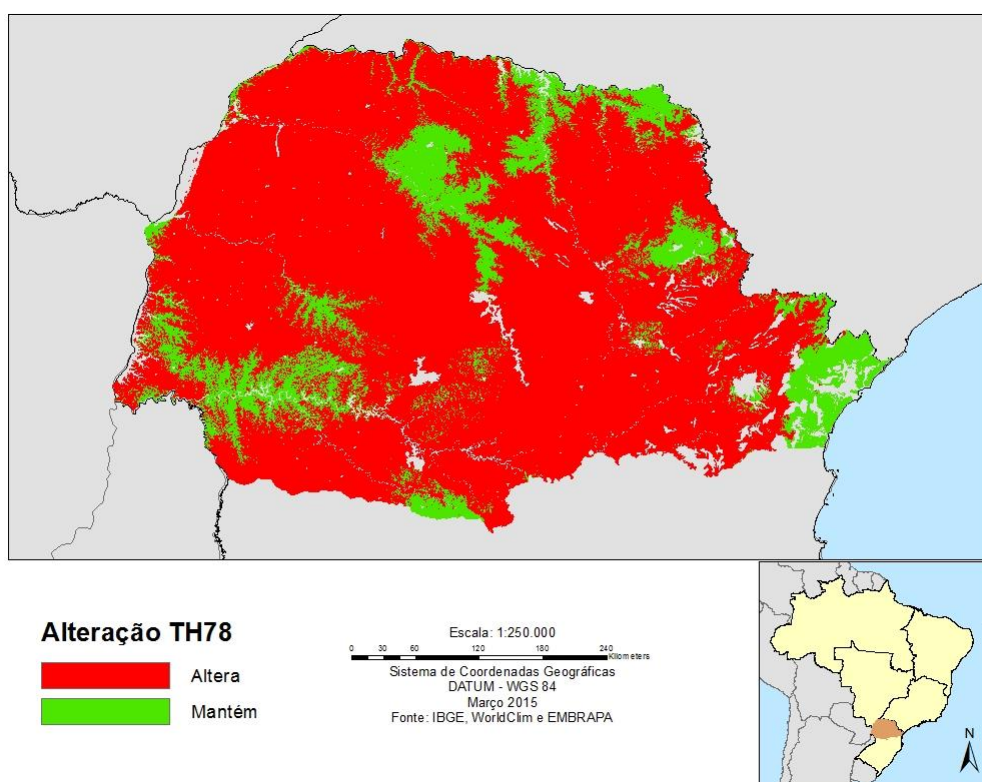


Figura 59: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TM78.

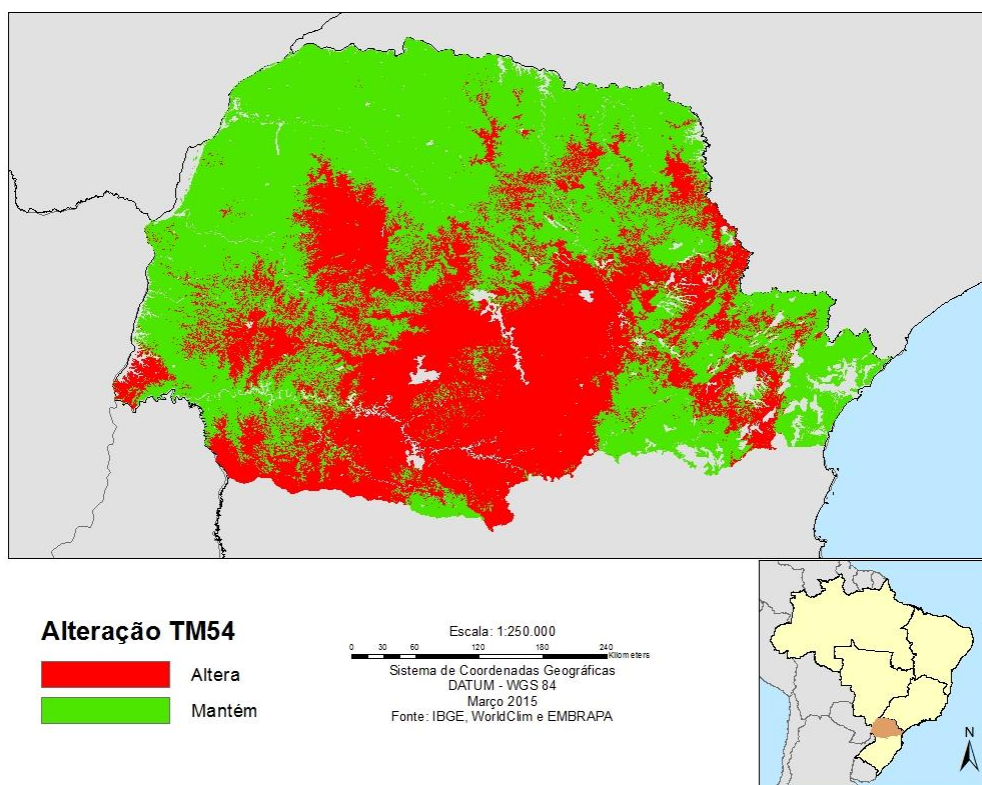


Figura 60: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TM54.

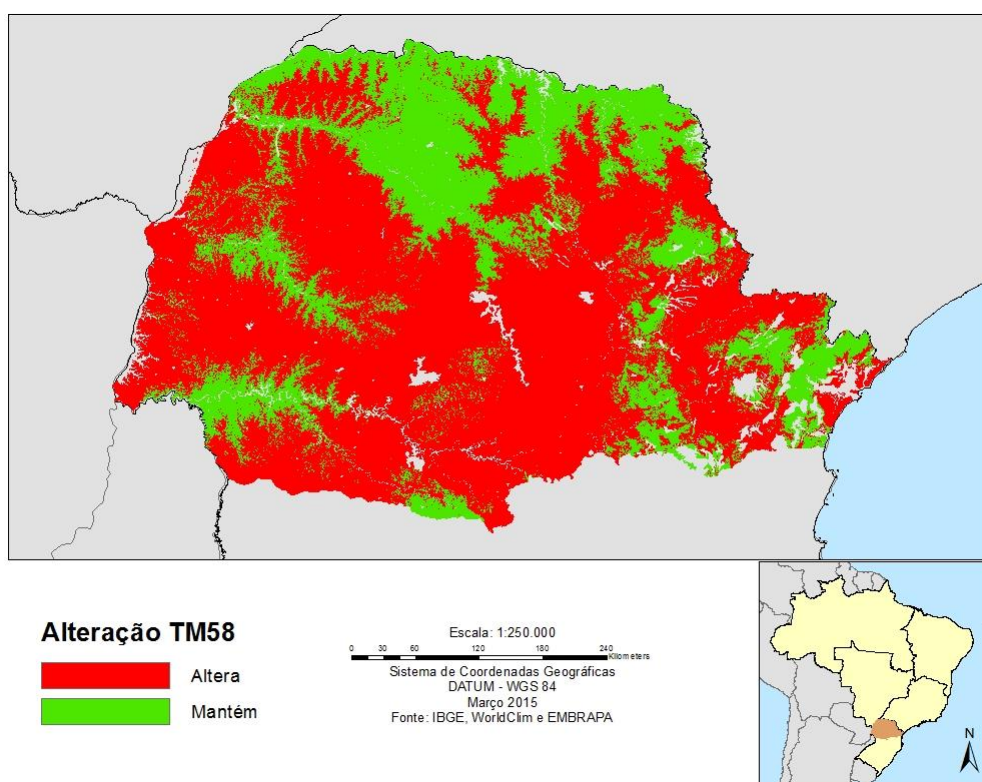


Figura 61: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TM584.

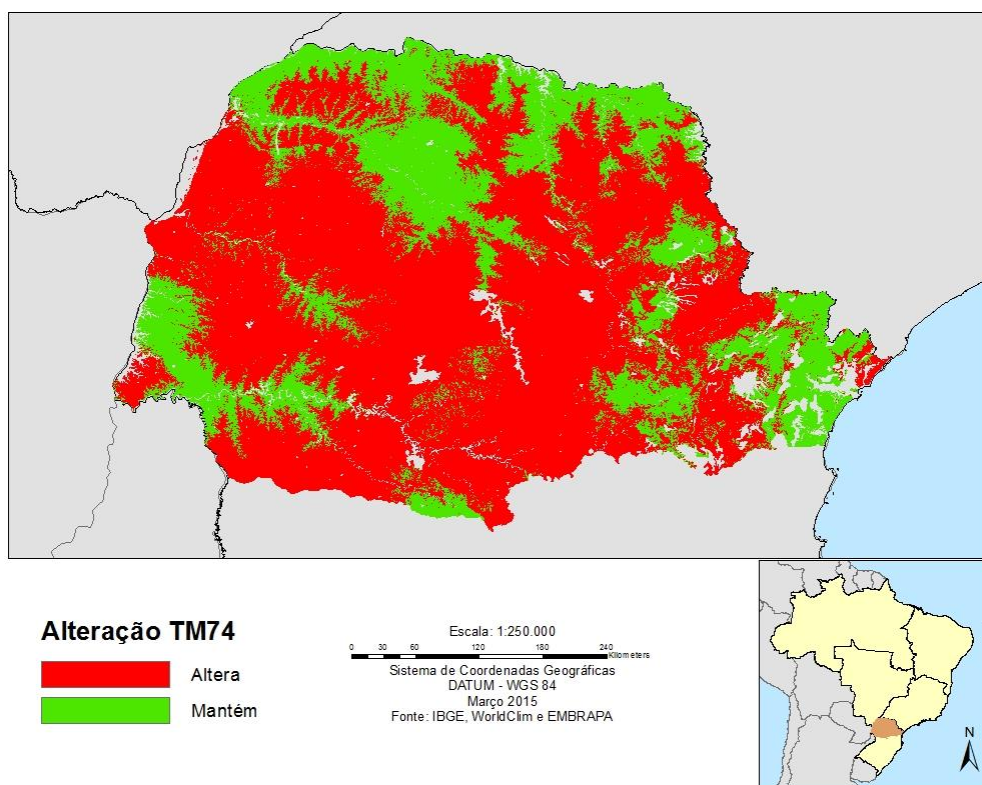


Figura 62: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TM74.

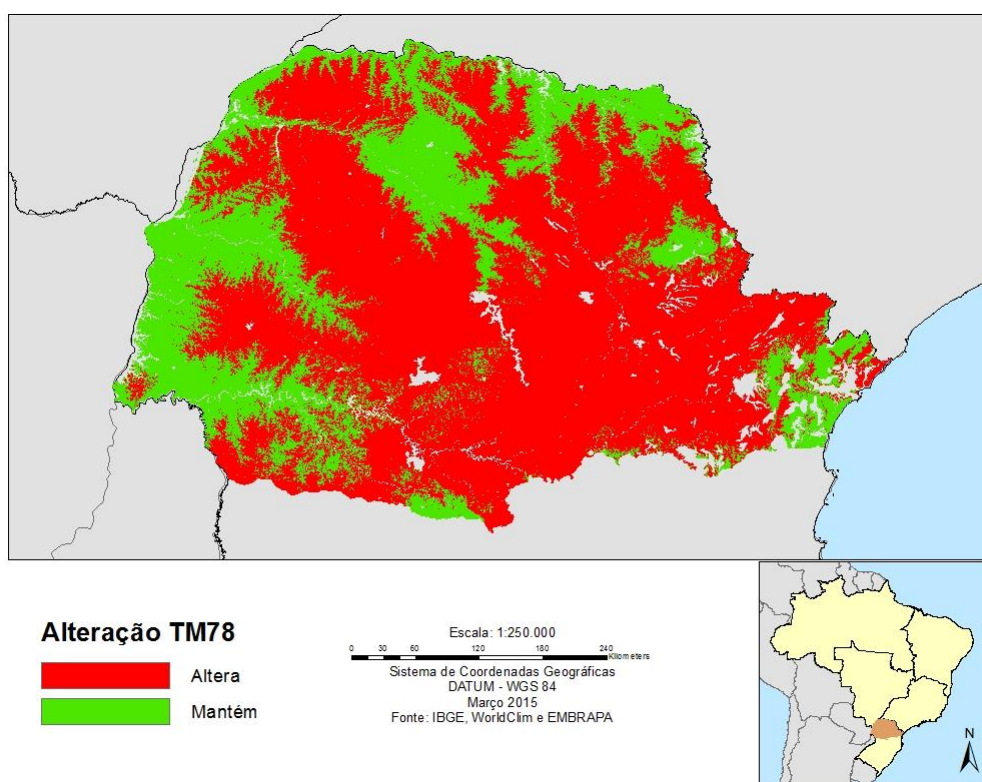


Figura 63: Mapa da alteração da vegetação prevista para o cenário TM78.

Anexo 8: Mapas do Índice de Alteração Fitofisionômica Potencial (IAFP) por cenário estudado.

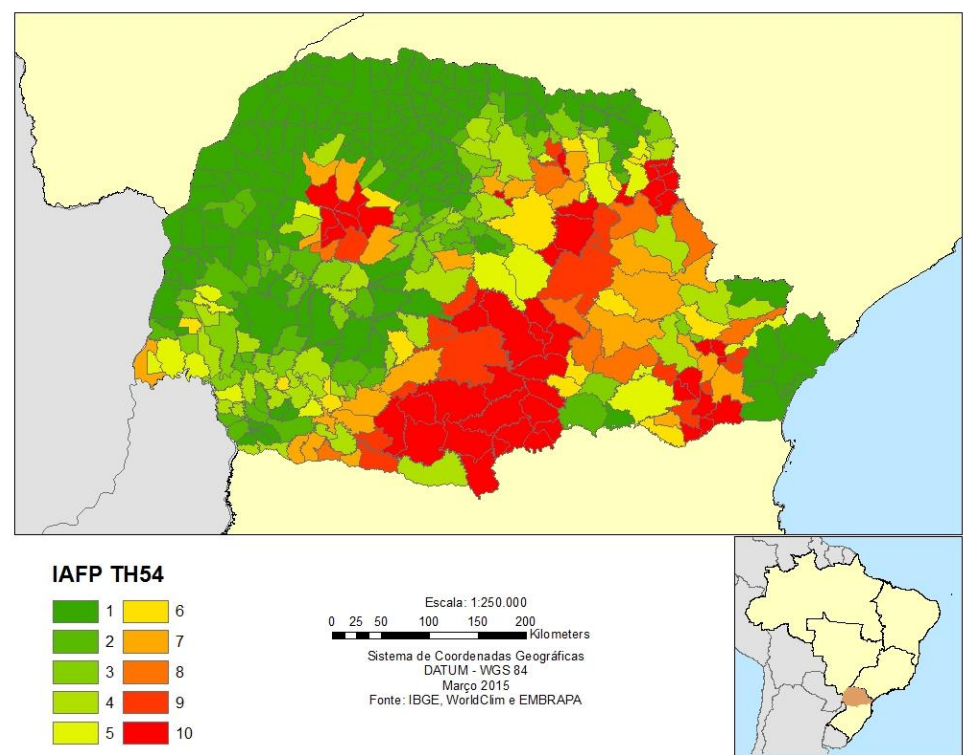


Figura 64: Mapa do IAFP para o cenário TH54.

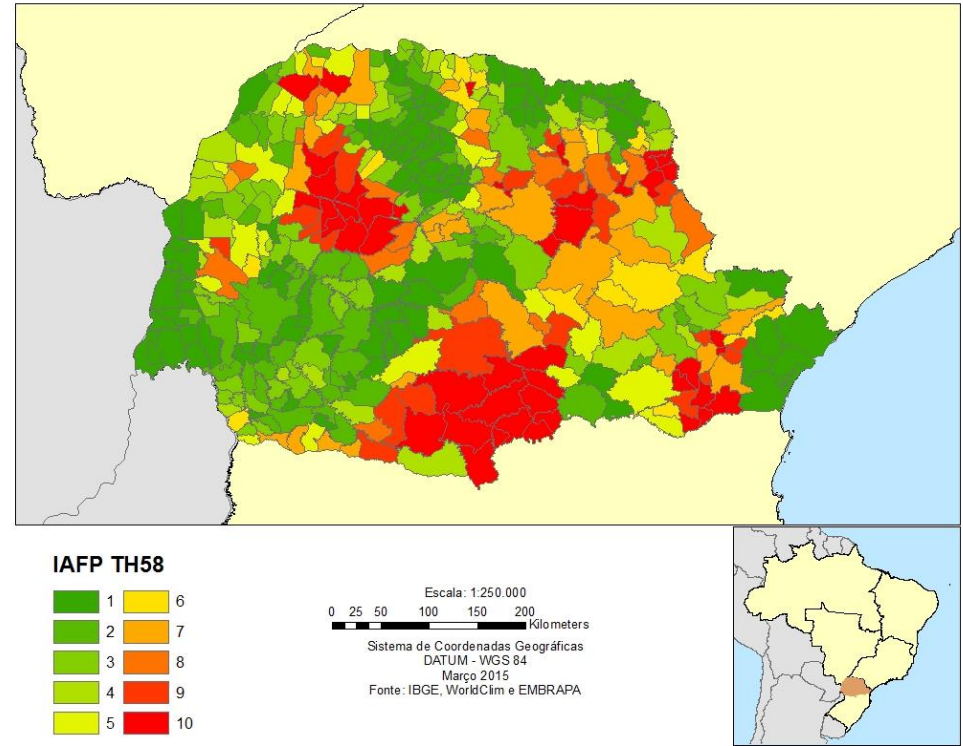


Figura 65: Mapa do IAFP para o cenário TH58.

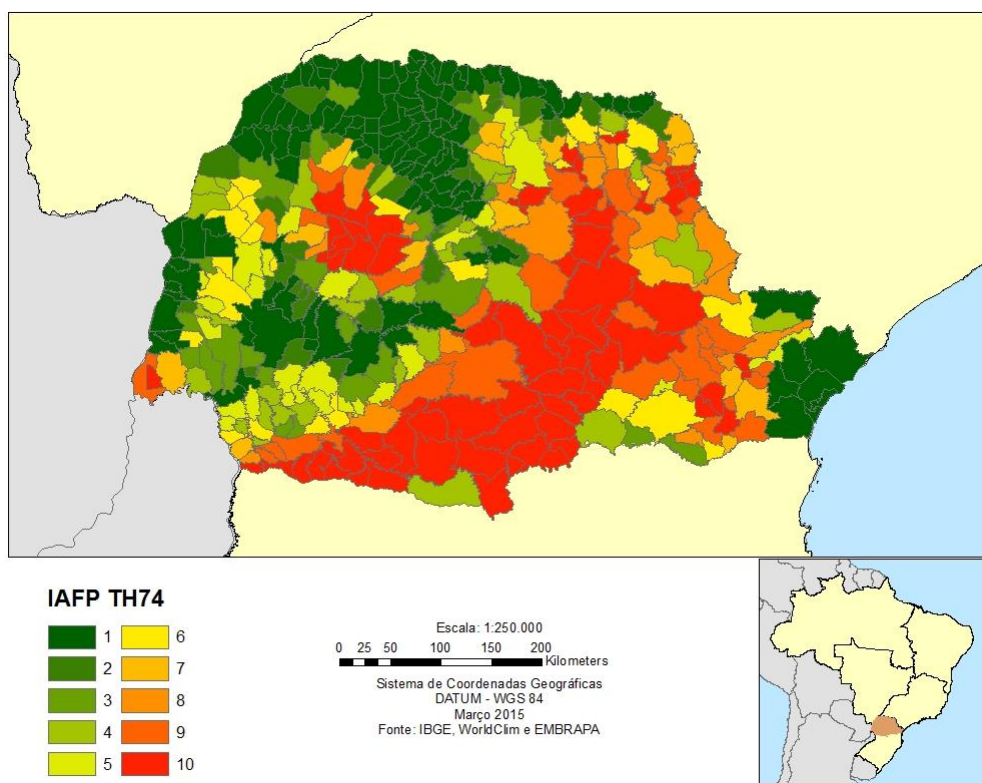


Figura 66: Mapa do IAFP para o cenário TH74.

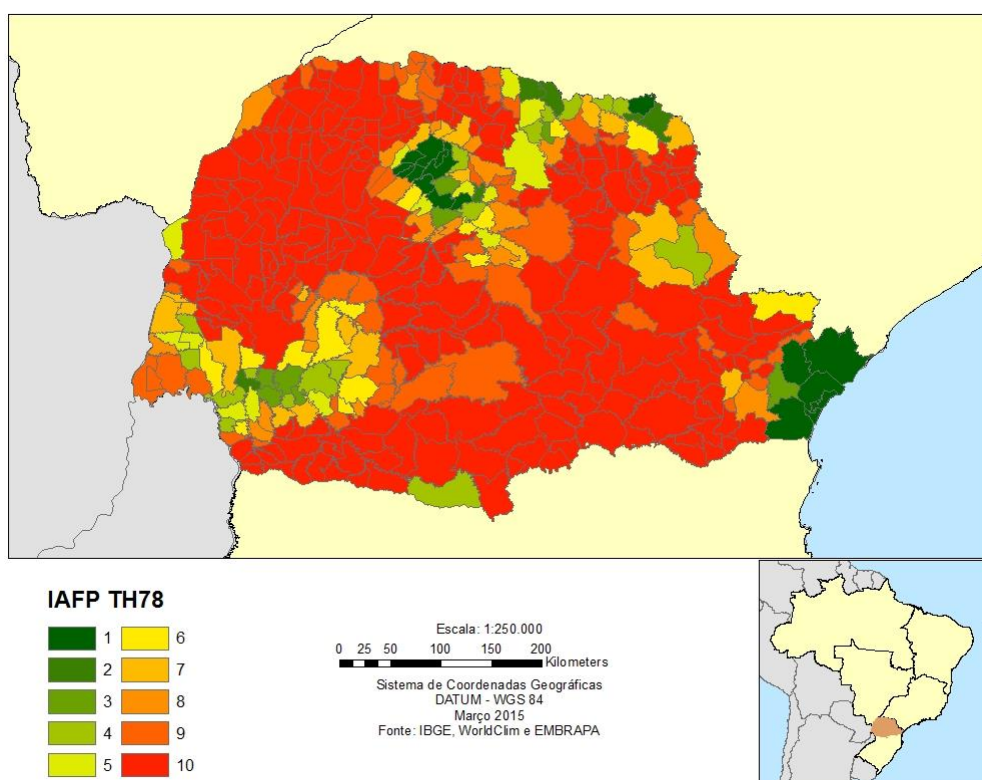


Figura 67: Mapa do IAFP para o cenário TH78.

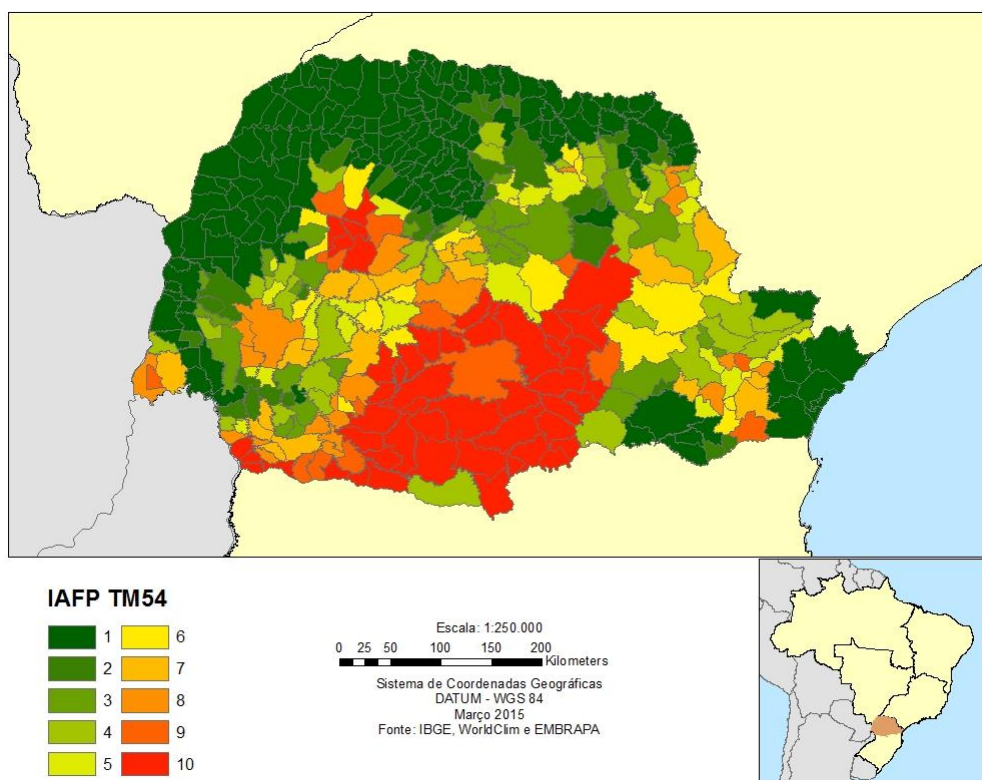


Figura 68: Mapa do IAFP para o cenário TM54.

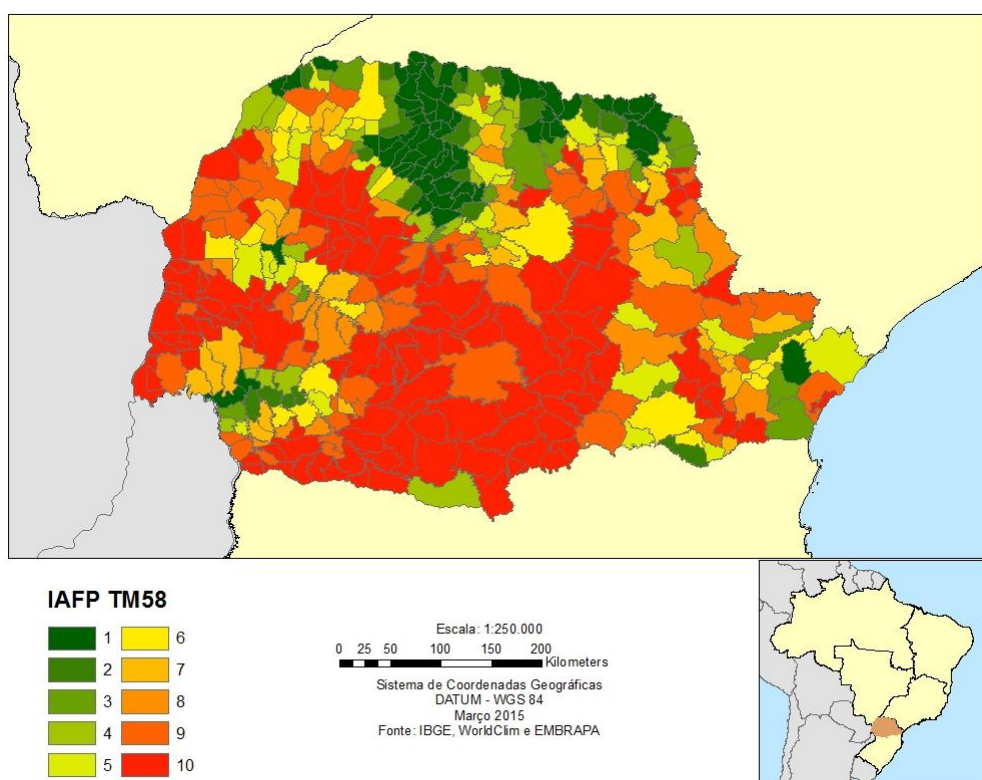


Figura 69: Mapa do IAFP para o cenário TM58.

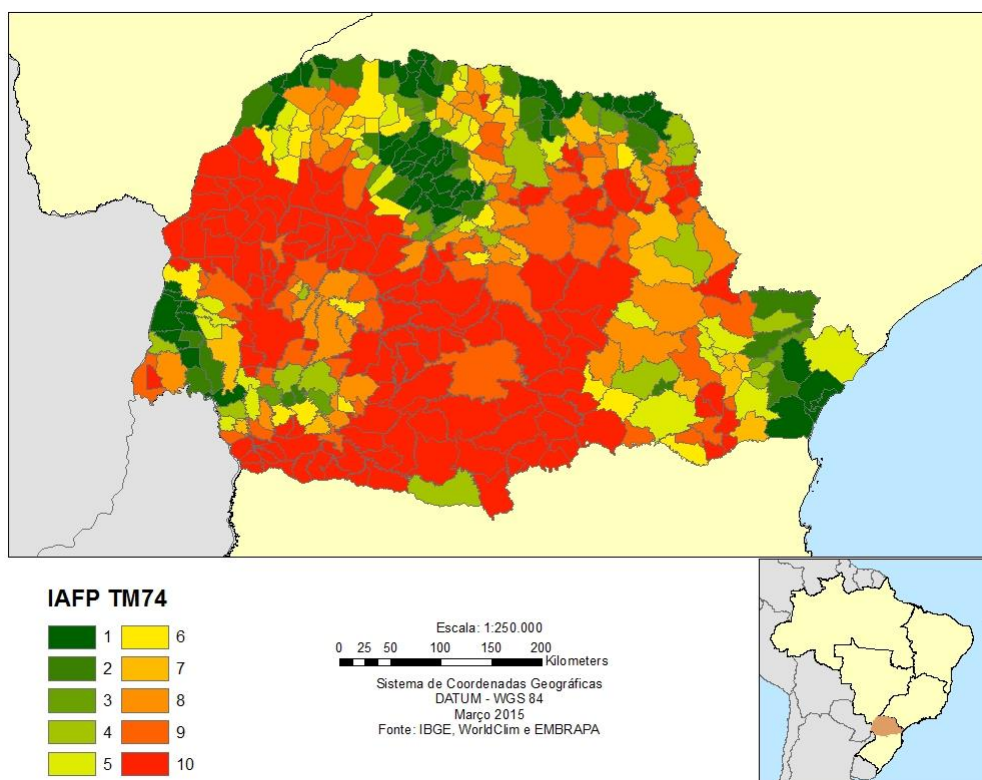


Figura 70: Mapa do IAFP para o cenário TM74.

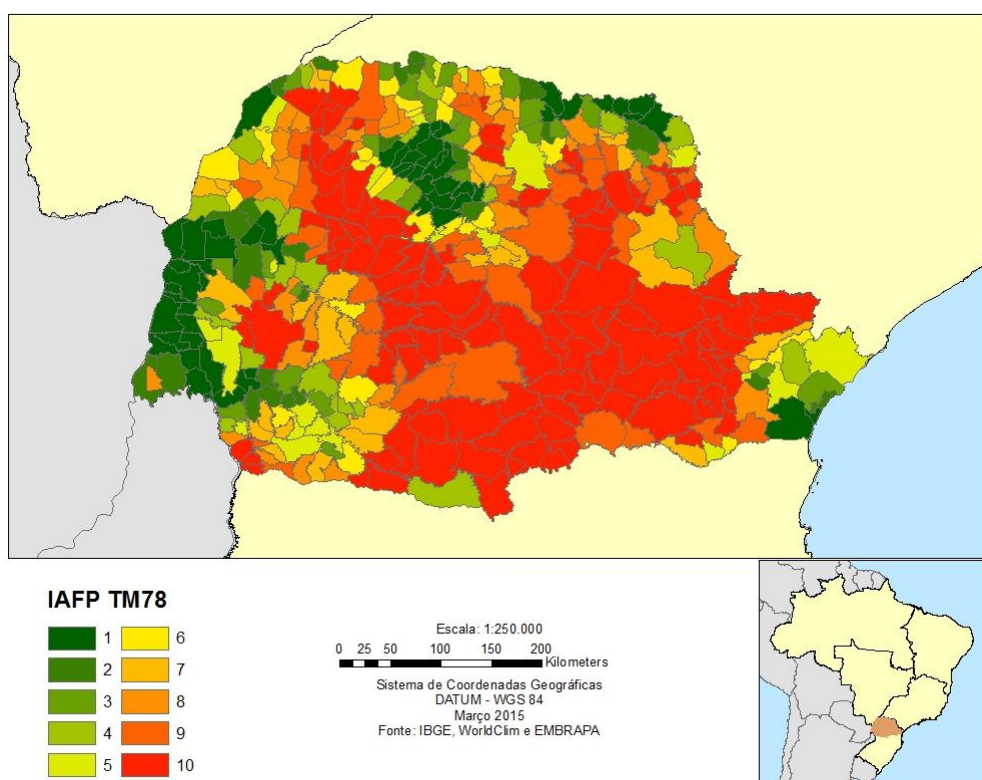


Figura 71: Mapa do IAFP para o cenário TM78.

Anexo 9: Mapas dos remanescentes e respectivas composições fitofisionômicas potenciais para cada cenário estudado.

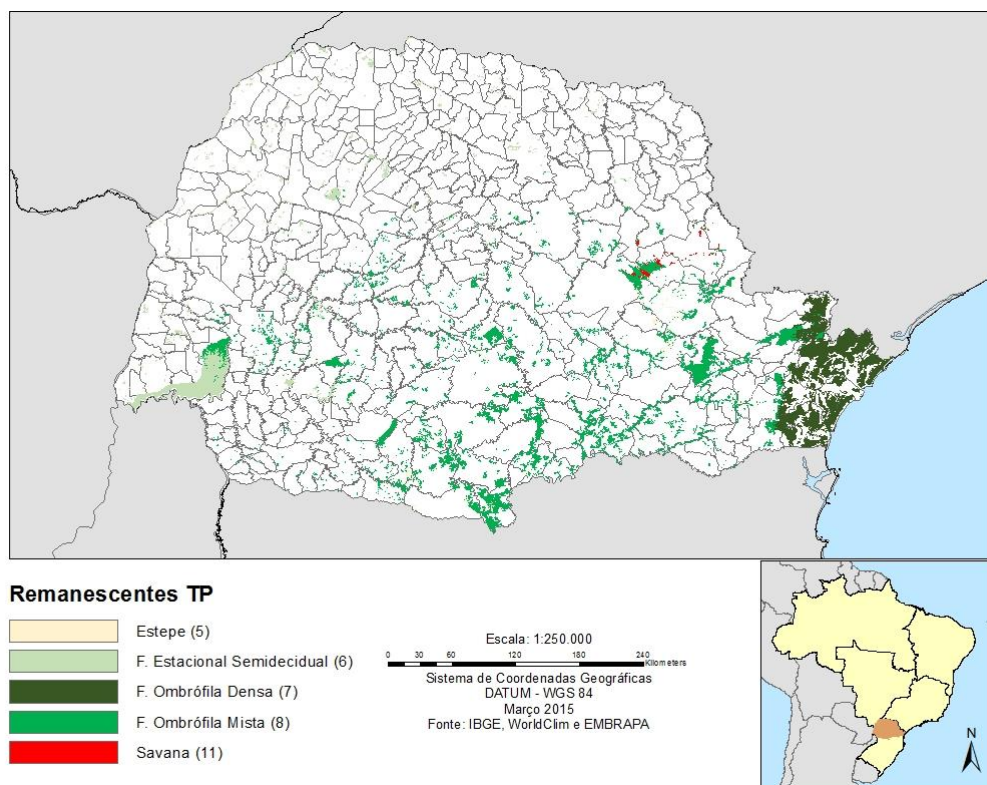


Figura 72: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para a TP.

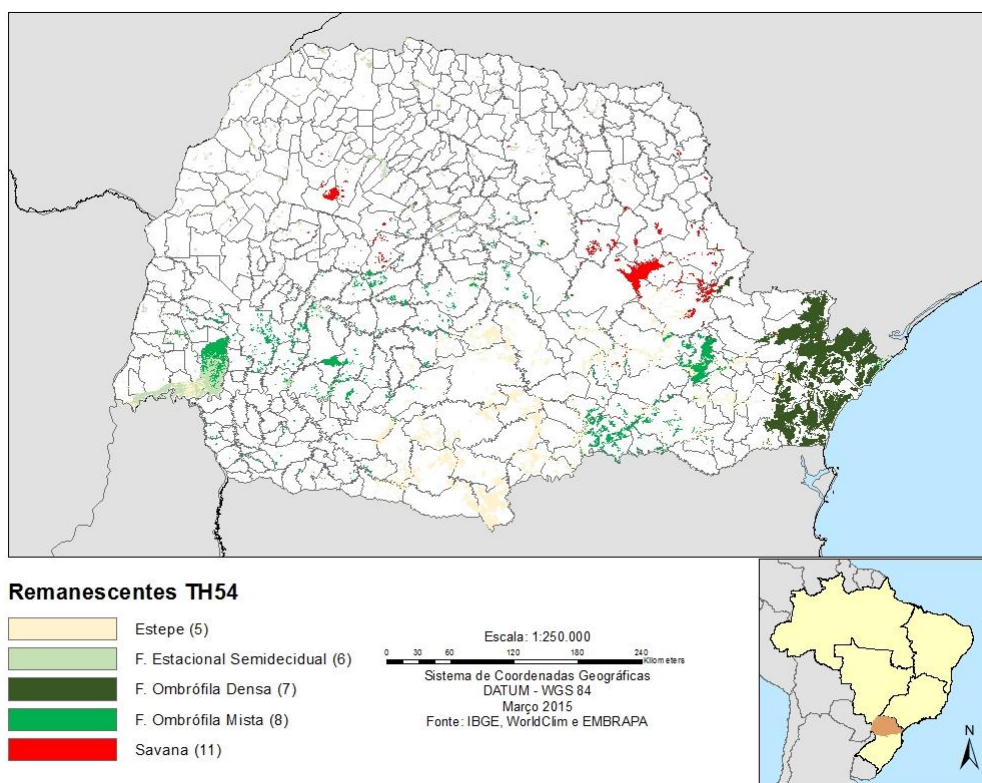


Figura 73: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TH54.

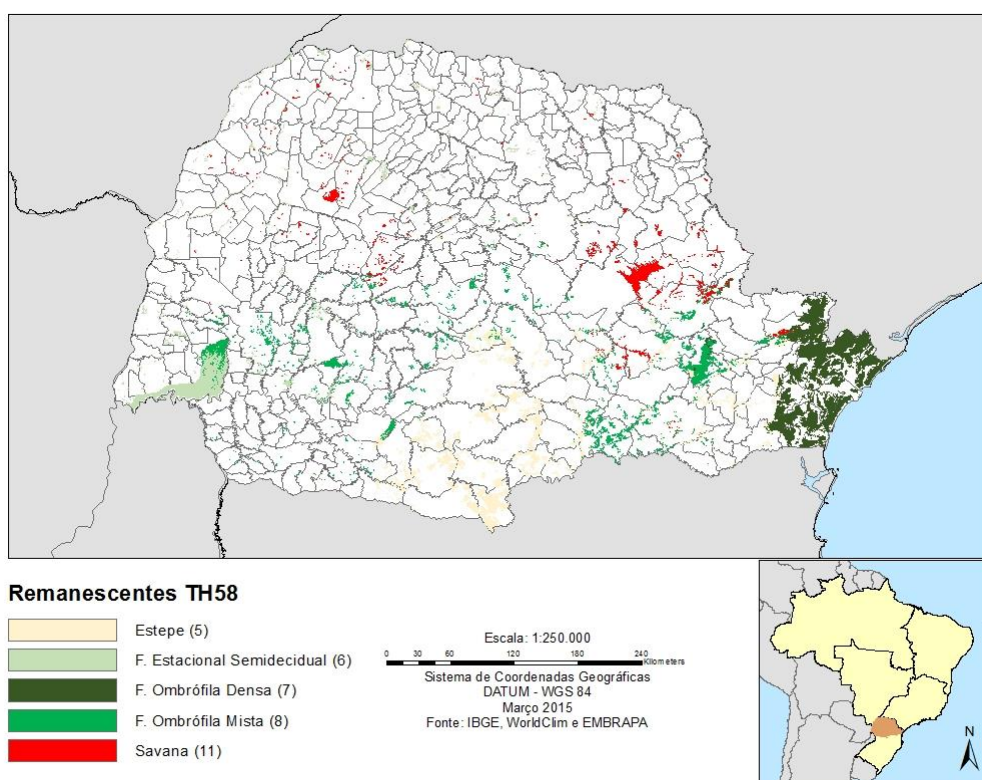


Figura 74: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TH58.

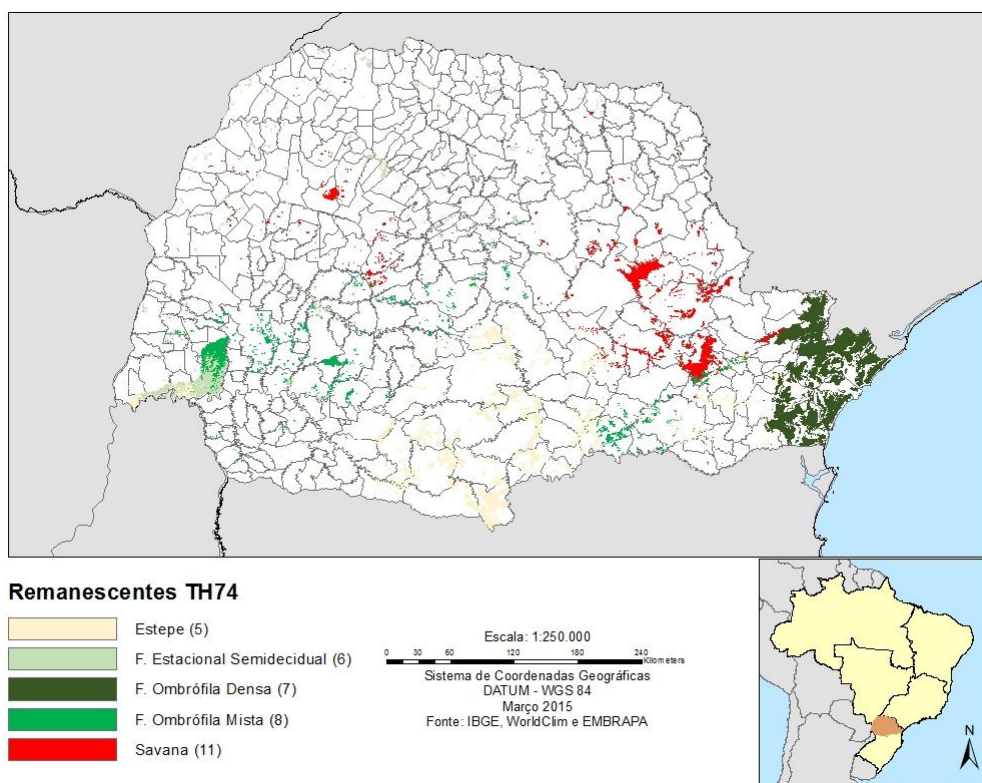


Figura 75: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TH74.

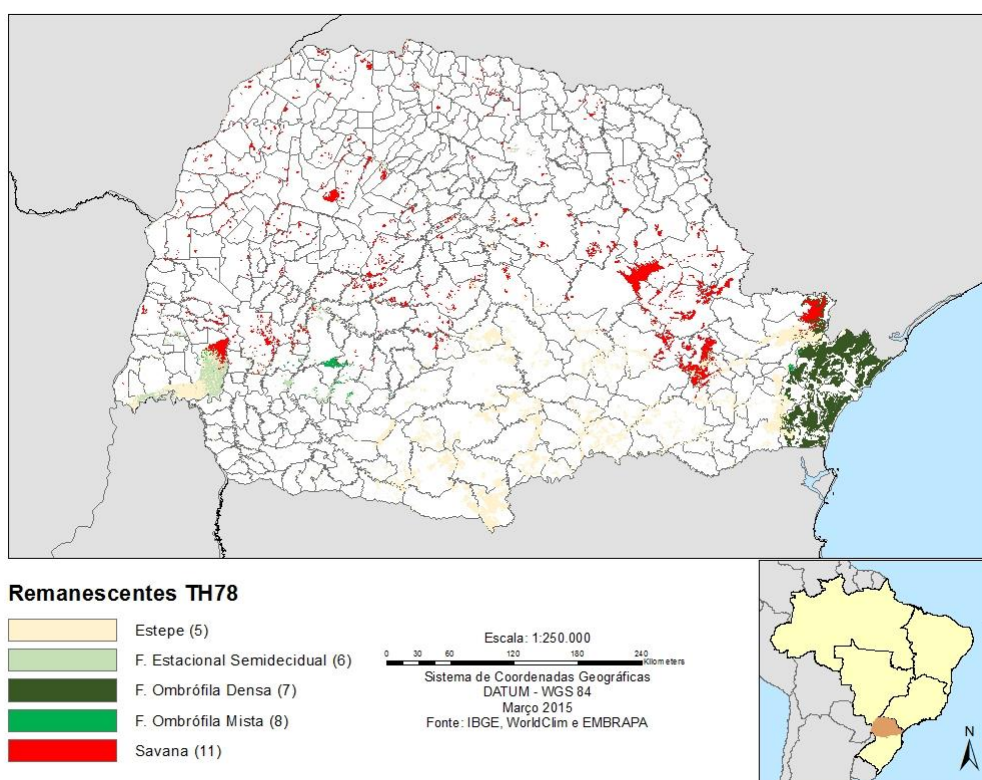


Figura 76: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TH78.

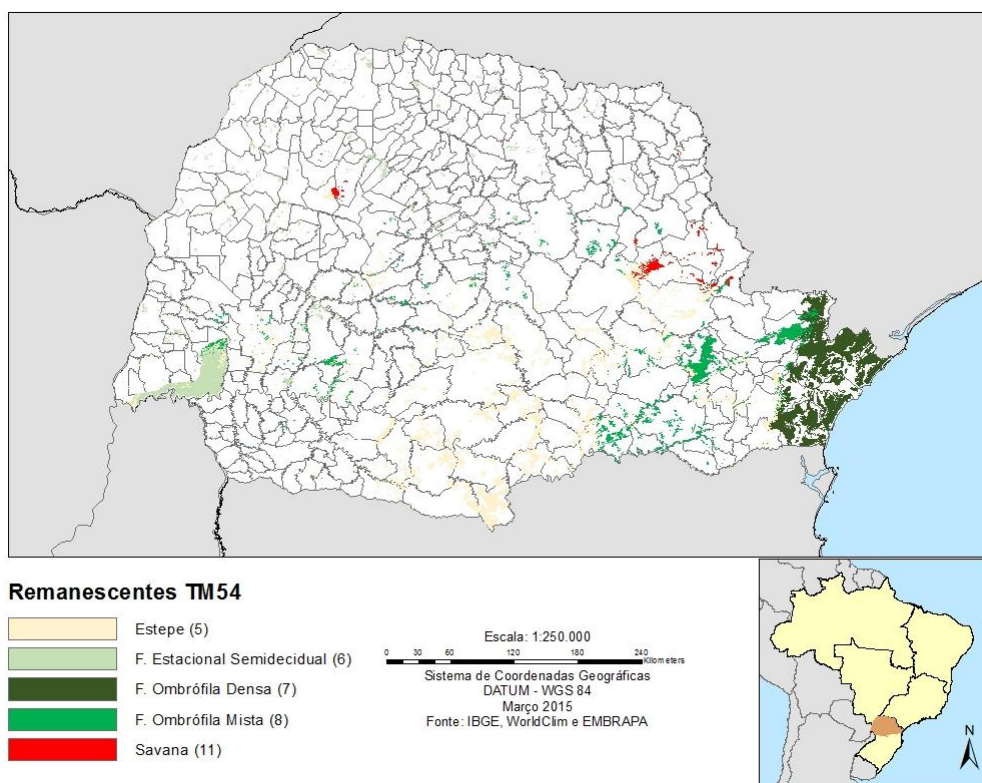


Figura 77: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TM54.

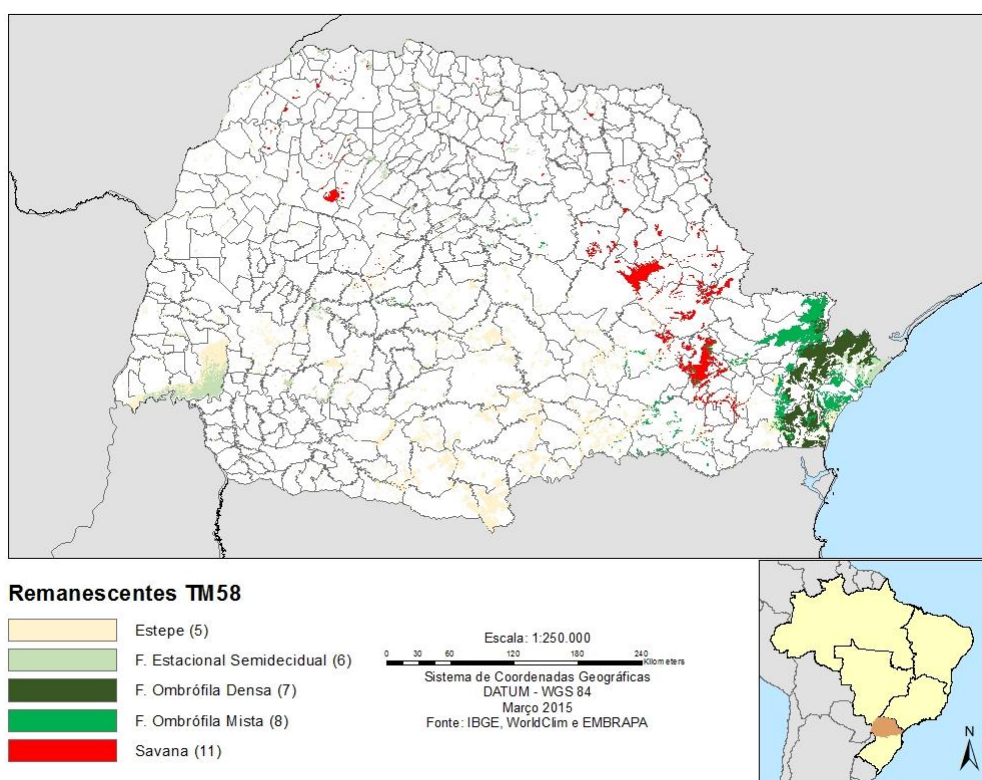


Figura 78: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TM58.

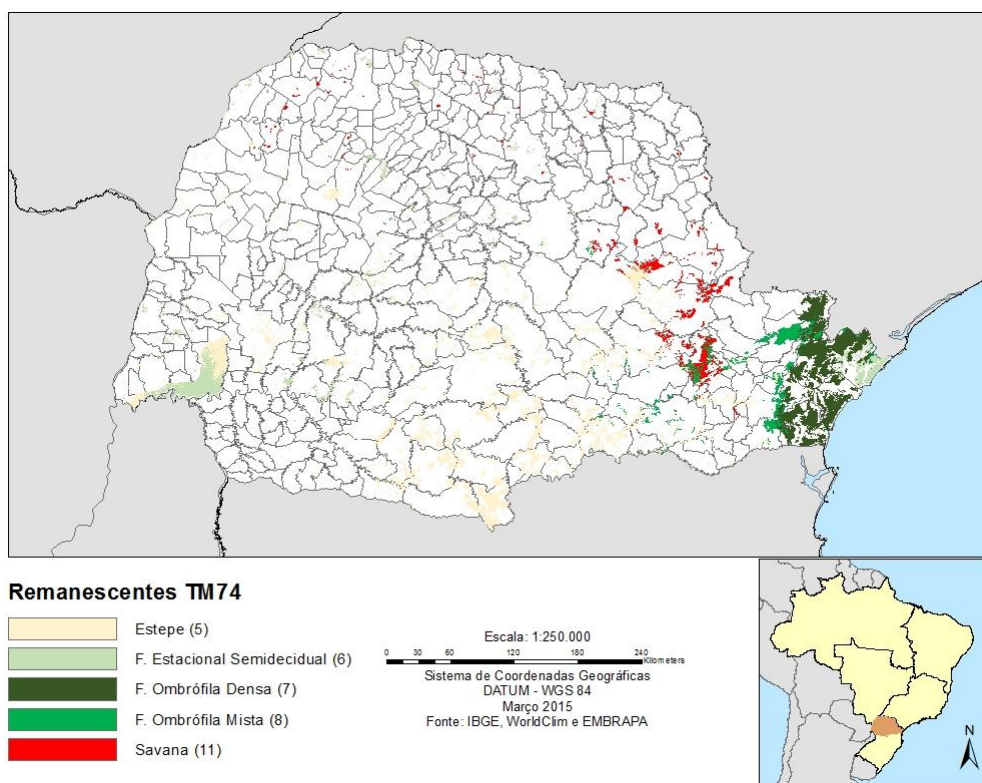


Figura 79: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TM74.

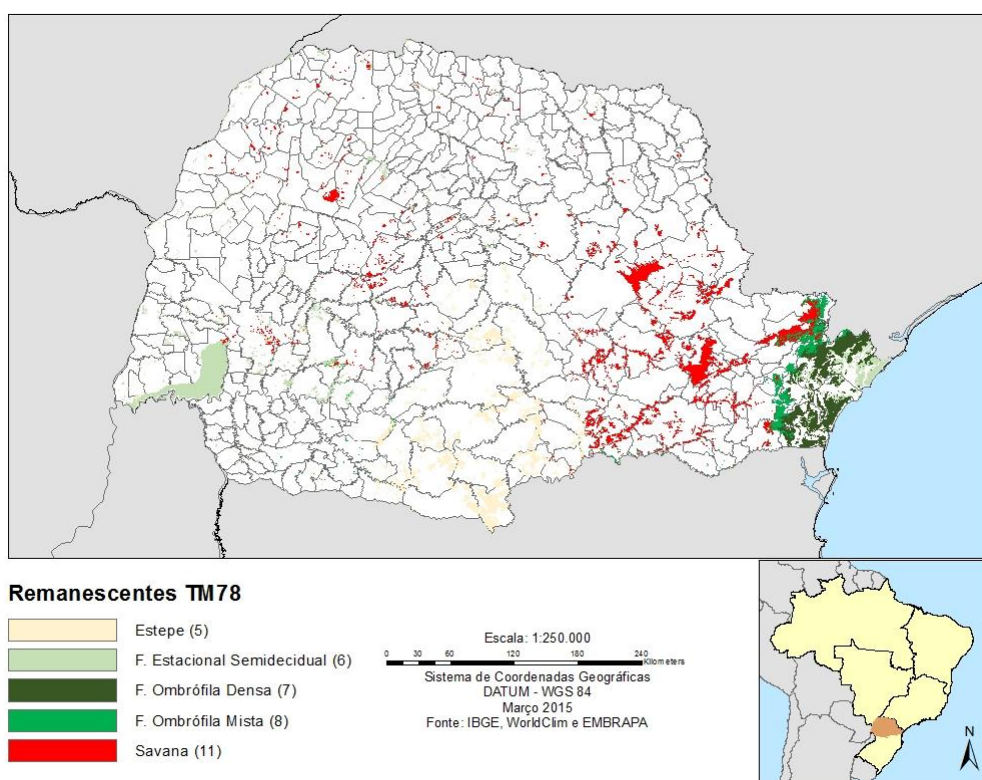


Figura 80: Mapa das classes de vegetação dos remanescentes para o cenário TM78.