

GESTÃO DA COBERTURA VEGETAL DA PORÇÃO EMERSA DA BACIA
SEDIMENTAR POTIGUAR (RN): UMA CONTRIBUIÇÃO COM USO DE
GEOPROCESSAMENTO

Nilce Olivier Costa

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:

Prof. Emilio Lèbre La Rovere, D. Sc.

Prof. Jorge Xavier da Silva, D. Sc.

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

Prof. Luiz Landau, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JULHO DE 2007

COSTA, NILCE OLIVIER

Gestão da cobertura vegetal da porção emersa da bacia
sedimentar potiguar (RN): uma contribuição com uso de
geoprocessamento

[Rio de Janeiro] 2007

XI, 96. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc.,
Planejamento Energético, 2007)

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro,
COPPE

1. Gestão ambiental

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

O vidente que prevê mudança está sempre certo.
(Richard T. T. Forman)

AGRADECIMENTOS

Com esta dissertação, concluo um período de convívio extraordinariamente rico com o ambiente acadêmico em duas áreas da Universidade Federal do Rio de Janeiro: o Programa de Planejamento Energético da COPPE e o Laboratório de Geoprocessamento do Instituto de Geografia do CCMN (LAGEOP). Sou sinceramente grato aos professores e colegas que, com o brilhantismo intelectual e a sinceridade de cada um, fizeram esta quadra memorável.

Sou especialmente grato aos dois mestres, os professores Emilio Lèbre La Rovere e José Xavier da Silva, que aceitaram compartilhar a orientação do trabalho aqui descrito. E, com ainda mais razão, sou grato a eles por poder afirmar como amizade a relação já antiga que tenho com ambos.

Ao geógrafo Oswaldo Elias Abdo, do LAGEOP, tenho motivos especiais para agradecer. Sem o seu generoso auxílio na montagem da base de dados, a execução deste trabalho teria sido extremamente mais penosa. Conhecê-lo se inclui entre os muitos benefícios adicionais da empreitada que aqui se arremata.

Duas instituições tornaram este trabalho possível, de maneiras diferentes: a ANP, pelo apoio material e pelo franqueamento dos dados referentes às operações petrolíferas, e o IDEMA/RN, pelo fornecimento dos mapas com os outros temas utilizados. A esses dois entes governamentais agradeço sinceramente.

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

GESTÃO DA COBERTURA VEGETAL DA PORÇÃO EMERSA DA BACIA
SEDIMENTAR POTIGUAR (RN): UMA CONTRIBUIÇÃO COM USO DE
GEOPROCESSAMENTO.

Nilce Olivier Costa

Julho/2007

Orientadores: Emilio Lèbre LaRovere

Jorge Xavier da Silva

Programa: Planejamento Energético

A degradação da cobertura vegetal natural é uma das principais causas de perda de biodiversidade e, nos climas semi-áridos, aumenta decisivamente o risco de desertificação. Com uso de ferramentas específicas de geoprocessamento são tratados dados em escala regional com o objetivo de estabelecer indicações básicas para gestão da vegetação de forma a minimizar este risco. Os dados utilizados se compõem de um conjunto de temas referentes às condições naturais e outro de mapas dos efeitos das atividades humanas. A área escolhida para o estudo é a porção emersa da Bacia Sedimentar Potiguar e nela tem especial relevância a influência das atividades da indústria petrolífera sobre a vegetação. Com o uso das ferramentas do Sistema SAGA, desenvolvido pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFRJ, demonstrou-se a utilização de uma metodologia heurística para avaliação ambiental. Foi construído um mapa do grau de impacto sobre os remanescentes de vegetação natural, e a partir dele procurou-se inferir diretrizes de gestão para conservação da vegetação natural, em particular dos remanescentes ecologicamente mais significativos. Também são feitas recomendações de aperfeiçoamento e ampliação da metodologia utilizada.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

VEGETATION COVER MANAGEMENT IN EMERSED PORTION OF POTIGUAR
BASIN (RN, BRAZIL): A CONTRIBUTION USING GEOPROCESSING TOOLS.

Nilce Olivier Costa

July/2007

Advisors: Emilio Lèbre LaRovere

Jorge Xavier da Silva

Department: Energy Planning

The degradation of natural vegetation cover is one of main causes of biodiversity loss and, in semiarid climates, increases the risk of installment of processes leading to desertification. In this study, georeferenced data in regional scale are treated, using specific geoprocessing tools, aiming to achieve basic indications for vegetation management so as to reduce the desertification risk.

For the application of the technique, the emerged portion of a sedimentary basin, the Potiguar Basin, in Northeast Brazil, was chosen. In this region, oil industry operations are of primary importance for vegetation integrity. For this reason, efforts were undertaken to characterize the effect of these activities on vegetation cover.

A heuristic methodology for environmental evaluation was demonstrated, using the SAGA System, developed by the Geoprocessing Technology Laboratory of UFRJ. A map of impact on vegetation was built from natural conditions of the area and the present state of its occupation and use. From the results, guidelines for vegetation management were inferred, with special consideration for ecologically significant remnants. Recommendations for improvement and extension of the applied methodology are also produced.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo Geral	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
1.2.2.1 Base de dados georreferenciados	11
1.2.2.2 Mapas de análise	11
1.2 JUSTIFICATIVA	11
1.4 ÁREA DE ESTUDO	12
2. REVISÃO DA LITERATURA	13
3. MATERIAL E MÉTODO	14
3.1 A COBERTURA VEGETAL	14
3.1.1 Descrição da fito-fisionomia	15
3.1.2 A presença humana na área de estudo	19
3.1.3 Os impactos da indústria petrolífera sobre a vegetação	22
3.1.4 Fragmentação e antropização da vegetação natural.	34
3.2 CONSTRUÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA	36
3.2.1 O sistema geográfico SAGA/SAD	37
3.2.2 Preparação dos mapas	41
3.2.3 Descrição dos mapas de dados	42
3.3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL	52
3.4 RELAÇÃO DOS MATERIAIS USADOS	60
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	61

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
7. ANEXOS	76

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Áreas propostas para implantação de Unidades de Conservação (APAs) no litoral norte potiguar, nas imediações da foz do rio Açu (mostrando também, em sombreado escuro, a delimitação de campos de produção de petróleo e poços já perfurados) (Fonte: IDEMA).
- Figura 2. Classificação de áreas quanto à sensibilidade às operações petrolíferas na faixa costeira norte potiguar (Fonte: IDEMA/RN).
- Figura 3. Sensibilidade ambiental da Bacia Potiguar, localização de cavernas e blocos propostos pela ANP para a 8ª Rodada de licitações (Fonte IDEMA/RN).
- Figura 4. Perfil da vegetação da Savana Estépica (adaptado de Veloso, 1991)
- Figura 5. Paisagem próxima a Porto do Mangue, formada pelo contato entre duna móvel, dunas fixas, planície fluviomarinha e carnaubal.
- Figura 6. Coluna estratigráfica da Bacia Potiguar (Araripe & Feijó, 1994).
- Figura 7. Imagem orbital retirada do Google, mostrando área de Caatinga Arbóreo-arbustiva coberta por aquisição sísmica 3D recente (2006), a NW de Serra do Mel, em área adjacente ao campo de Canto do Amaro.
- Figura 8. Trilha de aquisição sísmica 3D antiga (2001) mostrando regeneração lenta da vegetação de Caatinga Arbóreo-arbustiva e evidenciando algum uso como acesso (atalho entre propriedades rurais ou caça).
- Figura 9. Trilha de aquisição sísmica 3D antiga (2001), mostrando uso consolidado como trilha (certamente como acesso a propriedade rural).
- Figura 10. Trilha de aquisição sísmica 3D recente (2006), aberta com ‘deitamento’ da vegetação de Caatinga Arbóreo-arbustiva.
- Figura 11. Obra de construção da estação central de disposição de resíduos sólidos no campo de Estreito.
- Figura 12. Parte da malha de drenagem do campo de Canto do Amaro, visto em imagem orbital, retirada do Google.

Figura 13. Típica locação de poço equipado com bombeio mecânico, construída segundo os padrões antigos (campo de Janduí).

Figura 14. Locação de poço isolado, com bombeio mecânico e armazenagem de óleo, na Caatinga Antropizada (campo de Poço Verde).

Figura 15. Locação de poço abandonado com erosão, na Serra do Cajueiro (Caatinga Arbóreo-arbustiva, Formação Barreiras).

Figura 16. Modelo ambiental de impacto sobre a vegetação.

Figura 17. Divisão da área de estudo para cálculo de densidade de trilhas sísmicas 2D.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção setorial e índice de desenvolvimento humano dos municípios (Fonte: IBGE).

Tabela II - Percentagem da área das quadrículas representadas na Figura 5 coberta por representação de trilhas de sísmica 2D.

Tabela III - Densidade de pastoreio nos municípios (calculado de IBGE, 2004).

Tabela IV - Ponderação das condições naturais (categorias/temas e classes).

Tabela V - Ponderação das condições antrópicas (categorias/temas e classes).

Tabela VI - Porcentagem de cada classe de vegetação sujeita aos níveis de condições naturais (C.A.: Caatinga Arbórea; C.A.A.: Caatinga Arbóreo-arbustiva; C.An.: caatinga antropizada).

Tabela VII - Porcentagem de cada classe de vegetação sujeita aos níveis de condições antrópicas (C.A.: Caatinga Arbórea; C.A.A.: Caatinga Arbóreo-arbustiva; C.An.: Caatinga Antropizada)

Tabela VII - Porcentagem de cada classe de vegetação sujeita aos graus de impacto

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os processos de perda da biodiversidade e de desertificação¹, ambos em manifesto progresso na região do semi-árido brasileiro, reclamam urgentemente maior eficácia na gestão dos ecossistemas naturais.

A Caatinga se estendia originariamente pela maior parte, cerca de 70 %, do território do semi-árido nordestino. Atualmente este bioma pode ser considerado um dos mais ameaçados do Brasil. Raros são os remanescentes com mais de dez mil hectares e a maioria dos Estados nordestinos não têm provisões legais efetivas e abrangentes de conservação da cobertura vegetal natural e da biodiversidade associada. Da ocupação já de longa data da região, com a introdução de usos antrópicos do território, muitas vezes insustentáveis, e dos impactos crescentes, impostos pelas necessidades modernas de transporte, energia e recursos naturais, nasce um cenário preocupante, a exigir um processo de gestão que possa induzir mudança (Castelletti & al., 2003).

Esta biodiversidade é insuspeitada, dada a aparência árida, monótona e pouco vistosa que a Caatinga apresenta em grande parte do ano. Todavia, aí são já conhecidas 97 espécies de répteis, 45 de anfíbios e, entre as 348 espécies de aves e 148 de mamíferos, muitas são endêmicas e outras tantas ameaçadas de extinção. A riqueza de espécies, principalmente de aves e de répteis, pode ser espetacular em algumas localidades específicas.

É consenso que o bioma Caatinga é historicamente aquele que mereceu os menores esforços de pesquisa, com enormes áreas onde não houve até agora nenhum grande esforço de coleta. Isso explica, em parte, o fato de só recentemente se tornarem reconhecidos tanto o valor da biodiversidade específica como o nível de degradação a que está submetido o bioma (MMA, 2002).

¹ A Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação conceituou o fenômeno como o "processo de degradação das terras das regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de diferentes fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas". Vincula-se a essa conceituação a degradação do solo, da fauna, da flora e dos recursos hídricos, com prejuízo da totalidade dos serviços ambientais.

Nas terras baixas do Estado do Rio Grande do Norte foram identificadas três áreas prioritárias para conservação da biodiversidade: o prolongamento da Chapada do Apodi sobre o leste do Estado, a faixa litorânea norte-nordeste, entre Guamaré e Touros, e uma área que cobre parte dos municípios de Jandaíra e João Câmara, esta constituída de pequena mancha de cerrado vicariante. Todavia, estas recomendações não são definitivas pois, quando se leva em conta a necessidade de maior esforço de pesquisa, o Estado é considerado com nível insuficiente de informação na quase totalidade de sua área (MMA, 2002). São poucas as unidades de conservação, mesmo as de uso sustentável, delimitadas nesta região e, como área integralmente protegida, só existe no Estado, até a presente data, a Reserva Ecológica do Seridó, situada na região do sertão, no município de Serra Negra do Norte.

O bioma Caatinga é, desta forma e por todos os critérios, um dos menos protegidos entre os grandes biomas brasileiros. Menos de 1 % da área constitui unidades de conservação. Mesmo hoje, as áreas de conservação propostas no Nordeste brasileiro se destinam a preservar enclaves específicos e não o Bioma Caatinga na sua feição típica.

A definição de localização, tamanho e desenho de áreas protegidas que garantam a conservação da biodiversidade em escalas espaciais, temporais e taxonômicas as mais largas possíveis, não é tarefa simples. Existem complicações de adequação da abordagem biológica recomendada em cada caso, quer seja para conservação de populações, comunidades ou ecossistemas, em nível crescente de complexidade de fatores a considerar. Além disso a abordagem adotada está sujeita a constrangimentos políticos, sociais e econômicos. Desta forma, a combinação da falta de conhecimento sobre a maior parte das grandes extensões da Caatinga com as dificuldades metodológicas e operativas de implementação de áreas de conservação eficazes pode levar à preterição de muitas espécies (Santos e Tabarelli, 2003). O fato leva a considerar a conservação de remanescentes, em especial aqueles de maior área, como medida precautória de alto significado.

Ao lado da delimitação de amostras representativas dos ecossistemas com o propósito de conservação da diversidade genética e ecossistêmica, a política nacional de biodiversidade, expressa no Decreto nº 4.339, de 22/8/2002, tem como diretriz explícita a melhoria da gestão territorial de forma a manter os processos ecológicos e evolutivos e a

oferta sustentável dos serviços ambientais nas áreas não designadas como unidades de conservação.

Ao passo que a conservação da biodiversidade exige a proteção de áreas específicas, o combate à desertificação, por outro lado, subentende a manutenção da produtividade dos ecossistemas em vastas regiões, indistintamente. A desertificação é a degradação ambiental de zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas por ação antrópica, com a perda da capacidade produtiva dos ecossistemas que ocasiona a perda da qualidade de vida das populações, com o subsequente empobrecimento social e erosão da identidade cultural, culminando com a indução de migrações. O processo se inicia geralmente com a erradicação da vegetação natural, adaptada às condições climáticas, edáficas e pedológicas. O processo de desertificação diminui a ciclagem de nutrientes, acentua a variação de temperatura, reduz a capacidade de infiltração e retenção de água dos solos e intensifica os processos de erosão.

Como em toda parte onde se instalam processos de desertificação, os fatores determinantes não são físicos, mas sociais e incluem (Rodriguez & Silva, 2002):

- o sistema de propriedade da terra;
- o acesso e apropriação dos recursos;
- a racionalidade dos agentes e atores sociais;
- o excesso de pressão sobre os sistemas naturais;
- o uso de tecnologias inadequadas;
- a carência de infra-estrutura social e ambiental;
- a insuficiência de integração regional.

As áreas desertificadas no semi-árido nordestino já somam mais de 15 mil km², situadas principalmente nas porções do território que se estendem sobre litologia cristalina. A bacia sedimentar potiguar não apresenta ainda nenhuma área francamente caracterizada como desertificada, apesar de que sinais de adiantado estágio de evolução do processo podem ser notados em algumas áreas.²

² Por observação pessoal, o autor constatou a rarefação da cobertura vegetal por morte espontânea e que, portanto, pode-se atribuir a instalação de processo incipiente de desertificação em duas circunstâncias: nas regiões de muito baixo índice pluviométrico do centro do Estado (região do município de Lages e de seu entorno), em zonas de solo muito pouco espesso sobre a Formação Jandaíra, na planície sedimentar com

No entanto, a região está classificada entre aquelas sob grave ameaça do problema, considerando o regime climático e os fatores pedológicos e edáficos. A Bacia Sedimentar Potiguar está entre as áreas classificadas como acentuada a moderadamente susceptíveis à desertificação, sendo classificado como grave o estágio de instalação do processo (Oliveira-Galvão, A.L.C. & Saito, C.H., 2003).

O combate à desertificação, processo resultante da escolhas de formas não sustentáveis de uso do solo e dos recursos vivos, exige processos integrados de gestão. Estes processos devem considerar as alternativas produtivas e de uso do solo, as tecnologias adequadas e os fatores culturais de cada região. A conservação da biodiversidade pode ser alcançada pela implantação de áreas protegidas o que exige, contudo, alto grau de conhecimento biológico e de compatibilização com objetivos econômicos e políticos. Desta forma, a conservação de remanescentes de vegetação natural, por gestão adequada e uso sustentável dos recursos, é fundamental para atingir o primeiro resultado e desejável para atingir o segundo objetivo.

Ambas as questões são objetos de acordos internacionais negociados no âmbito das Nações Unidas e subscritos pelo Brasil: a Convenção sobre Diversidade Biológica (1992) e a Convenção de Combate à Desertificação (1996). A ratificação destes instrumentos exige o planejamento integrado do desenvolvimento nas regiões sujeitas à desertificação e a adoção de estratégias para conservação da biodiversidade, entre as quais o ordenamento territorial. Além disso, os objetivos de planejamento integrado e conservação dos recursos naturais estratégicos explicitados na Agenda 21 Brasileira (MMA, 2002).

A ação governamental para conservação da biodiversidade no Brasil tem se dirigido principalmente para criação de áreas protegidas e muito raramente para a gestão e o ordenamento territorial. Talvez o exemplo mais notório desta segunda estratégia seja o recente esforço de implantação da gestão da faixa costeira, conduzido pelo MMA em articulação com Estados e Municípios, o Projeto Orla. As motivações do projeto incluem a conservação de biomas costeiros e, com maior peso, a preservação de áreas de domínio da União, com enfoque nos valores da paisagem (MMA/MPO, 2002).

cobertura de caatinga herbácea muito empobrecida por herbivoria e corte (como ocorre a leste da cidade de Governador Dix-Sept Rosado) e na margem da Depressão Sertaneja adjacente ao cristalino, caracterizada por vegetação muito esparsa, relevo mais acentuado e pedregoso, com grandes matações espalhados na paisagem.

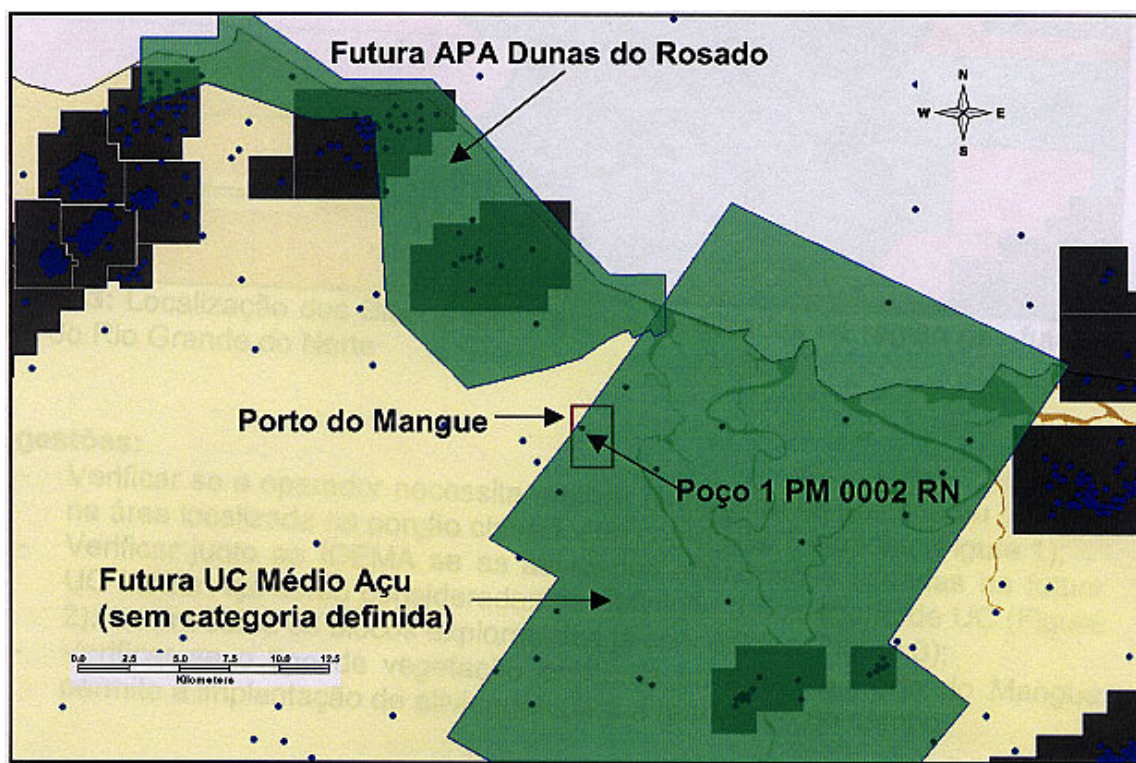


Figura 1. Áreas propostas para implantação de Unidades de Conservação (APAs) no litoral norte potiguar, nas imediações da foz do rio Açu (mostrando também, em sombreado escuro, a delimitação de campos de produção de petróleo e poços já perfurados) (Fonte: IDEMA/RN)

No Estado do Rio Grande do Norte, o Projeto Orla avançou consideravelmente nos últimos anos, produzindo resultados expressivos. Contribuiu para este fato, além do esforço do Órgão Ambiental Estadual – Instituto de Desenvolvimento e Meio Ambiente (IDEMA), o mapeamento da sensibilidade do litoral a derramamentos de óleo, efetuado pelo Ministério do Meio Ambiente. O produto deste mapeamento, as Cartas SAO, exigiu a delimitação, caracterização e georreferenciamento de feições do litoral e serviu de alerta e ponto de partida para esforços adicionais de gestão da faixa costeira. Nesta faixa, o IDEMA delimitou áreas para proposição de implantação de unidades de conservação (Figura 1) e estabeleceu zonas de restrição para operações petrolíferas em torno de feições como

salinas, planícies fluviomarinhas, dunas, manguezais e corpos d'água, consideradas áreas muito sensíveis a estas operações (Figura 2).

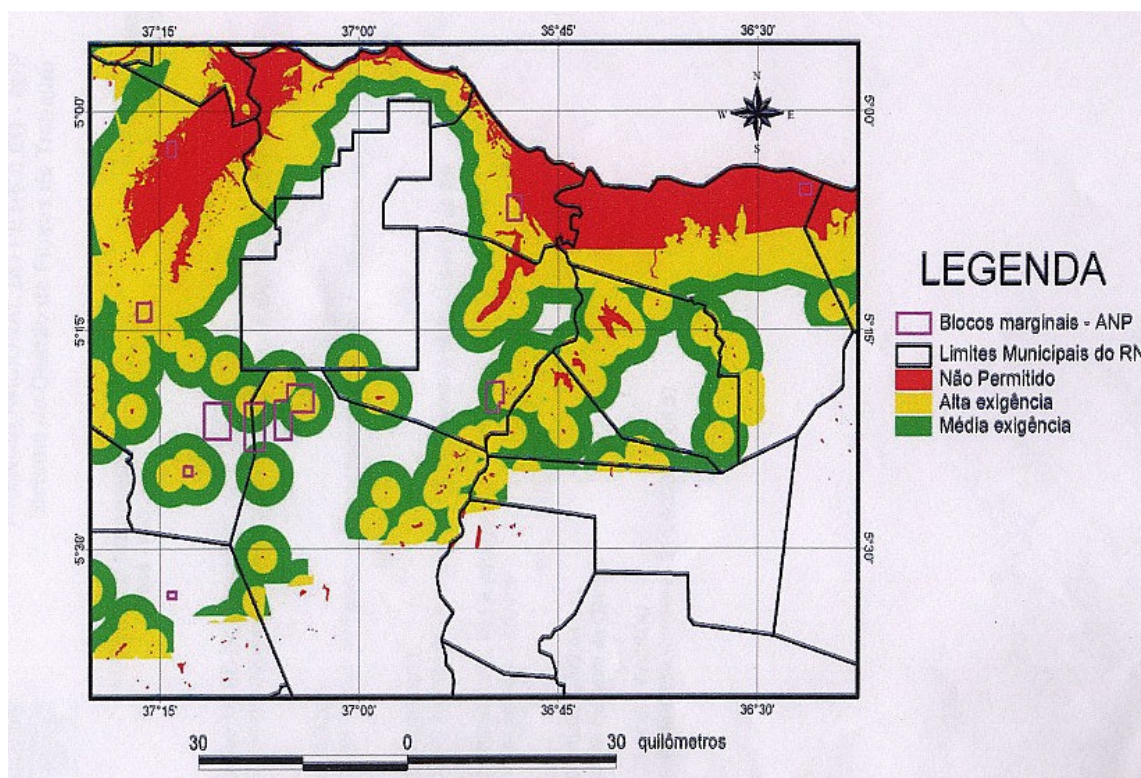


Figura 2. Classificação de áreas quanto à sensibilidade às operações petrolíferas na faixa costeira norte potiguar (Fonte: IDEMA/RN)

Este zoneamento de sensibilidade e a localização de cavernas existentes na área de interesse da indústria do petróleo foram conjugados em mapeamento de base para o posicionamento do órgão ambiental estadual em relação a restrições e condicionantes para as atividades a se realizarem nas áreas proposta pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis para a oitava rodada de licitações, realizada em 2005. Este mapa está reproduzido na Figura 3. No que diz respeito à proteção da cobertura vegetal, é de parecer do órgão ambiental que em todas as classes de sensibilidade se observem condições especiais quanto à supressão da vegetação. O parecer remete à especificação dos

condicionantes das licenças ambientais e à elaboração do mapeamento de vulnerabilidade da área afetada.

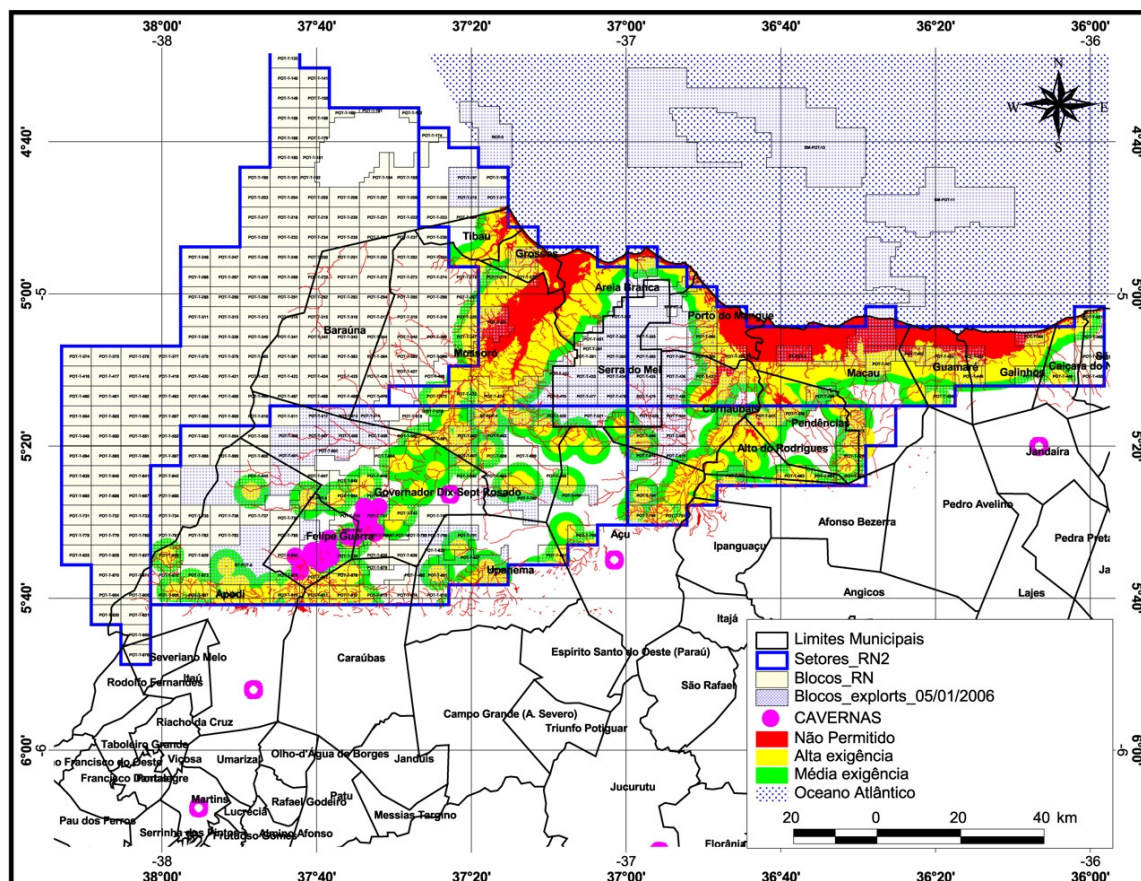


Figura 3. Sensibilidade ambiental da Bacia Potiguar, localização de cavernas e dos blocos propostos pela ANP para a 8ª Rodada de licitações (Fonte IDEMA/RN).

Mais recentemente renasceram os esforços de implementação do zoneamento ecológico-econômico, instrumento de política previsto na Lei 6.938/81, no que se denomina o “Projeto Macro-zoneamento Ecológico-econômico do Brasil”. Alguns resultados parciais já foram publicados e os produtos desta iniciativa de governo certamente acrescentarão à gestão integrada do território.

Em uma escala de maior definição, a do município, a obrigação legal de produzir os planos diretores municipais para todas as circunscrições com mais de vinte mil habitantes é

outro fato que indubitavelmente fará avançar o processo de uso mais racional dos recursos ambientais.

Se há iniciativas incipientes de gestão integrada do território, faltam exemplos no País de programas de monitoramento dos ecossistemas em escalas geográficas mais largas. O motivo principal desta falta é a necessidade de, definidos os indicadores apropriados, realizar esforço continuado de determinação de seus valores ao longo do tempo, o que quase sempre exige trabalho de campo.

Por outro lado, apesar da grande variedade de técnicas produzidas e do enorme arsenal analítico já desenvolvido para monitoramento de populações de plantas e animais, é surpreendente quão pouco se conhece sobre as suas variações temporais naturais. É de maneira geral escasso o entendimento dos processos de mudança de longa duração que ocorrem nos ecossistemas. O que se tem observado é que os trabalhos feitos nesta área são ao mesmo tempo largamente difundidos e tópicos (Spellerberg, 1995), isto é, referidos a situações ecológicas específicas, de pequena abrangência territorial.

Apesar de raros, os programas de monitoramento de populações em grande escala temporal e geográfica são consensualmente considerados indispensáveis para alcance dos seguintes objetivos (ibid.):

- 1) como base para o gerenciamento e a avaliação dos recursos vivos no sentido da sustentabilidade;
- 2) para a gestão e a conservação eficazes dos ecossistemas;
- 3) para a conciliação de conservação com outros usos do território em bases mais seguras;
- 4) para avaliação do estado do meio ambiente;
- 5) para o avanço do conhecimento da dinâmica natural dos ecossistemas.

Por outro lado, estabelecidas direções e prioridades da gestão territorial, os indicadores escolhidos para o monitoramento cumprem as funções de (Gallopín, 1997)

- a) avaliar condições e tendências,
- b) comparar lugares e situações,
- c) avaliar condições e tendências em relação a objetivos e alvos,
- d) prover informação de alarme antecipado e

e) prever futuras condições e tendências.

A escolha de indicadores deve ser orientada por considerações de ordem pragmática. Isto é tão mais verdade quanto mais alto é o nível de integração da política a que o conjunto de indicadores vai se referir. Seguem-se algumas considerações a serem feitas sobre a natureza de indicadores, enunciadas para o caso genérico (ibid.).

- Indicadores devem ser mensuráveis ou, pelo menos, observáveis.
- Os dados para a construção de indicadores devem estar disponíveis ou poderem ser obtidos.
- As metodologias envolvidas na construção e no uso dos indicadores devem ser claras, transparentes e padronizadas.
- Os meios para construção e uso dos indicadores devem estar disponíveis, inclusive os recursos humanos e financeiros.
- Os indicadores ou o conjunto de indicadores devem ser efetivos quanto ao custo.
- Os indicadores devem ser aceitáveis no nível político apropriado.
- O processo de construção de indicadores deve preferentemente incluir a participação e o apoio públicos.

A definição de indicadores não é, porém, tarefa trivial. Os indicadores mais frequentemente encontrados são, em geral, escalares, como os parâmetros da distribuição de tamanho dos remanescentes, a percentagem de dado território coberta por vegetação nativa ou os índices temporais de desmatamento. Esses escalares são, todavia, resultados de agregação e raramente permitem estabelecer procedimentos de gestão: são mais adequados para definição de políticas, em nível mais elevado.

Os indicadores de interesse para a gestão territorial são medidas de características (qualidade, saúde, vulnerabilidade, diversidade, abundância, etc.) dos ecossistemas ou da amplitude da interferência humana nos seus processos. Podem ser espécies ou guildas de diferentes características ecológicas ou até mesmo escolhidas com propósitos políticos (como o são as denominadas ‘espécies-bandeira’, usadas com o propósito de atrair atenção para a preservação de ecossistemas ou habitats específicos). Estes indicadores são construídos por amostragem e posterior extrapolação na área de estudo, de forma análoga aos processos usados em geociências, por exemplo. Por sua natureza, são referidos ao

território e se constituem, portanto, em entidades geográficas. No caso de regiões de clima semi-árido, estes indicadores devem sinalizar as mudanças que indiquem a ultrapassagem de limites ecológicos e edáficos e também refletir os processos ou propriedades que conferem resiliência e resistência aos ecossistemas. Tentativas de melhorar a qualidade do monitoramento têm sido feitas por meio de procedimentos hierarquisados, conjugando sistemas de informações geográficas, modelos de sucessão de vegetação, sensoriamento remoto e certificação em trabalhos de campo (Peters, D. P. C. & Herrick, J. E., 2001).

A gestão territorial passa pelo conhecimento dos fenômenos de mudança ambiental e 'requer que sejam consideradas tanto a localização e extensão dos eventos e entidades participantes quanto as propriedades e relacionamentos destes componentes' (Xavier da Silva, 2001). Os resultados do estudo da ecologia da paisagem e da região permitem prever níveis de interação entre elementos naturais e construídos, com variados graus de afetação da integridade dos ecossistemas naturais. A segmentação por vias e a proximidade destas vias, o efeito de centros urbanos e dos outros usos do solo, como os pastoris e agrários, têm efeitos ecológicos mais ou menos bem determinados. A acurácia da previsão destes efeitos é, em grande parte, dependente das características da região e do grau de conhecimento existente sobre ela (Forman, 2006).

O desenvolvimento da ecologia da paisagem, usando princípios básicos de funcionamento dos ecossistemas, analogia com outros fenômenos (sejam eles físicos, biológicos ou fisiológicos) e cotejo com observações de campo (ainda insuficientes em muitos aspectos), permite a previsão da dinâmica das espécies no mosaico formado pelas manchas de vegetação natural (matriz) e áreas de perturbação introduzidas pelos diversos usos do território. Da mesma forma, é possível prever, se não de maneira quantitativa e exata, pelo menos de forma semi-quantitativa, as diversas interferências sobre os remanescentes: fronteiras, corredores e segmentações (Ibid.).

Desta forma, as metodologias que levam em conta as características geométricas e relacionais dos remanescentes de vegetação natural são meios ideais para gestão da vegetação com objetivo de conservação da biodiversidade e manutenção dos serviços ambientais dos ecossistemas. Não sem razão, as previsões de que os sistemas geográficos

de informação baseados em computador iriam revolucionar a forma de tratar a gestão e o monitoramento territoriais se confirmam progressivamente.

Em toda região sujeita a transformações pela ocupação humana haverá remanescentes de diversos tamanhos dos ecossistemas primitivos, mais ou menos impactados pela ação antrópica. A gestão de vegetação encontra aqui duas opções de conservação: priorizar as grandes manchas ou um conjunto de pequenos remanescentes. O que define a opção a adotar são os objetivos da gestão e a consideração das propriedades de remanescentes ligados ao tamanho (Forman, 2006). As áreas maiores servem à conservação de recursos hídricos e seus recursos vivos associados, favorecem as espécies de interior, provêm maiores habitats-núcleos, são fontes de espécies e são resistentes a mudanças ambientais gerais (particularmente importantes, portanto, para a eventualidade de mudanças climáticas).

Um conjunto de pequenas manchas de vegetação original terá, por outro lado, propriedades distintas. Podem servir de degraus para migração e re-colonização de habitats maiores, favorecem as espécies de borda e as exclusivas de pequenas manchas e servem para conservação de heterogeneidades geográficas e de espécies raras.

É claro que a gestão territorial com objetivo de redução do risco de desertificação envolverá algo além dos aspectos acima descritos, que visam primordialmente à conservação da biodiversidade. Para evitar os processos que levam à desertificação haverá necessidade de maximizar as áreas de vegetação nativa, mais adaptada às condições climáticas e edáficas e, além disso, de adaptar outros usos do solo às condições reinantes com uso de tecnologias adequadas. Este condicionante leva a que, em geral, a conversão da cobertura original a usos antrópicos representará quase sempre um aumento do risco de desertificação, situação esta que somente se reverte pela aplicação de tecnologias apropriadas.

Aqui se intenta aplicar metodologia de diagnóstico das condições de integridade da cobertura vegetal, em escala regional. Duas alternativas se colocam para definir, nesta abrangência espacial, as condições de uso do território e, nelas incluídas, as condições de integridade da cobertura vegetal.

A primeira e de uso cada vez mais difundido é a aquisição remota de informação, sua classificação e validação. A aquisição de imagens orbitais em vários comprimentos de onda permite uma infinidade de aplicações deste tipo, inclusive para determinação do nível de risco de desertificação e do estado de integridade da vegetação. Neste tipo de metodologia, o estado de conservação e a progressão dos processos de degradação da cobertura vegetal podem ser diretamente avaliados. Os recursos de geoprocessamento usados neste tipo de método se restringem a procedimentos de análise de imagens, para determinação e quantificação das texturas e respostas espectrais características dos fenômenos de alteração pesquisados. A validação do método exige, em geral, certificação por trabalhos de campo. Pela necessidade de aquisição de imagens e pelas exigências de validação, os custos envolvidos são significativos. Por outro lado, o procedimento é, em essência, empírico e direto, podendo descrever o estado de integridade da vegetação e outros aspectos de uso do território com boa precisão.

A segunda alternativa, a que é adotada para a presente investigação, é a construção de modelos ambientais a partir da elaboração de relações formais entre entidades e eventos ambientais relevantes para a determinação do aspecto que se deseja avaliar. A relação formal mais simples é a conjugação dos fatores julgados relevantes para o aspecto em estudo por meio de média ponderada. No caso em estudo, o estado de integridade da vegetação é a variável ambiental de interesse. Sobre ela tem efeito uma multiplicidade de fatores decorrentes da ocupação humana do território além de características ambientais intrínsecas, prevalentes na área de estudo. O procedimento, heurístico e indireto, consiste pois em inferir o estado de integridade da cobertura vegetal pela consideração e tratamento de fatores que o afetam efetiva ou potencialmente. Os efeitos dos fatores sobre a vegetação podem variar em severidade desde o mais drástico, a supressão, até efeitos sobre funções ecológicas específicas, que poderão se manifestar a longo prazo. Em última análise, o resultado da avaliação do impacto (ou pressão) sobre a cobertura vegetal é probabilístico. A qualidade do resultado é, por outro lado, dependente da ‘verdade’ do modelo ambiental e da qualidade dos mapeamentos usados. Os custos do método são irrisórios, se considerados pré-existentes os dados utilizados. Como no método anterior, a qualidade dos resultados

pode ser melhorada por validação em campo ou usando aquela mesma metodologia de classificação de imagens orbitais de parcelas específicas da área de estudo.

1.2 OBJETIVOS

O trabalho se desenvolve sobre as duas hipóteses básicas:

a) é possível utilizar técnicas de geoprocessamento para a construção de indicadores espacializados de pressão sobre a cobertura vegetal em escala regional e deles inferir diretrizes de gestão para conservação de biodiversidade e redução do risco de desertificação;

b) as técnicas de geoprocessamento permitem agregar aos outros usos do território as atividades da indústria do petróleo, integrando-as a um modelo ambiental com objetivo de avaliar os efeitos sobre a cobertura vegetal em escala regional.

1.2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem por escopo geral a elaboração de uma estrutura de avaliação das condições da cobertura vegetal na área da Bacia Potiguar emersa por um procedimento reprodutível e expansível. A adoção de metodologia baseada em técnicas de geoprocessamento intenta permitir a reprodução dos procedimentos de análise ao longo do tempo, à medida que ocorram refinamentos e atualizações dos dados utilizados. Ao mesmo tempo, a técnica deve permitir a utilização de séries históricas de dados no sentido de aferir e acompanhar os processos de mudança no uso do solo e verificar sua influência sobre a cobertura vegetal. É também desejável que seja possível introduzir nos procedimentos utilizados dados e mapeamentos antes não existentes, de forma a aumentar a capacidade de análise e de prognose do método.

1.2.2 Objetivos específicos

1.2.2.1 Base de dados georreferenciados

Construção de uma base de dados referenciados em escala apropriada, referida à área do estudo, para demonstração dos procedimentos e indicação de vias de aperfeiçoamento da

metodologia. Em particular, mapas referentes à atividade petrolífera serão agregados ao conjunto, explicitando os efeitos das atividades sobre a vegetação

1.2.2.2 Mapas de análise e avaliação

Produzir, utilizando o *software* SAGA, desenvolvido pelo LAGEOP/UFRJ, mapas de análise e avaliação que possam ser utilizados para gestão do território com vistas aos objetivos de conservação da biodiversidade e redução do risco de desertificação.

1.3 JUSTIFICATIVA

A perda da vegetação natural pode acarretar perda de biodiversidade, principalmente quando há insuficiência de conhecimento e quando o processo ocorre em grande extensão. Por outro lado, em climas áridos e semi-áridos, a redução da cobertura vegetal adaptada a condições extremas de clima, conjugada com o uso inadequado do solo, introduz o risco de desertificação. A aplicação de metodologias reproduzíveis de análise e avaliação dos processos de interferência sobre a vegetação e que produzam indicadores na escala adequada é fundamental para formulação de diretrizes de gestão territorial ou para embasar políticas de desenvolvimento que levem em conta os riscos assinalados. A utilização de geoprocessamento permite processar grandes massas de informação e tornar aparentes resultados analíticos que de outra forma seriam de difícil percepção.

1.4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi delimitada como a parte emersa da Bacia Sedimentar Potiguar, no Estado do Rio Grande do Norte, em que foram já realizadas operações significativas de exploração e produção de óleo e gás, compreendendo campanhas de aquisição de dados geofísicos, perfuração de poços, exploração de jazidas e lançamento de dutos de transferência e transporte. Esta porção da Bacia Potiguar se estende da divisa com o Estado do Ceará, a Oeste, até o município de Guamaré, a Leste, abrangendo uma área total de cerca de 13.032 km².

A circunscrição da área de estudo à jurisdição do Estado do Rio Grande do Norte se explica pelas especificidades da administração estadual em relação aos recursos ambientais,

incluindo a vegetação, a que esta investigação pretende servir. A consideração da área onde se realizam operações petrolíferas se prende ao fato de que este setor da atividade econômica produz efeitos significativos de fragmentação e fragilização dos ecossistemas naturais, por impacto direto ou por indução, como se verá mais adiante.

A área considerada abarca dezoito municípios: Açu, Alto do Rodrigues, Apodi, Areia Branca, Baraúna, Caraúbas, Carnaubais, Felipe Guerra, Governador Dix-Sept Rosado, Grossos, Guamaré, Macau, Mossoró, Pendências, Porto do Mangue, Serra do Mel, Tibau e Upanema. Alguns dos municípios considerados, como Baraúna, Grossos e Tibau o foram por efeito de simplificação do recorte, apesar de pouco afetados até o momento pelas operações. Outros foram considerados em parte, como Apodi, Caraúbas e Guamaré, por serem apenas parcialmente atingidos pela atividade.

É portanto um recorte territorial limitado ao Norte pela costa e que tem a maior dimensão no sentido Leste-Oeste, com cerca de 200 km, e atinge, no máximo, 100 km no sentido Norte-Sul.

2. REVISÃO DA LITERATURA

As técnicas de geoprocessamento são, atualmente as mais utilizadas para gestão territorial, para os objetivos mais diversificados. Apesar de as origens do tratamento de dados geograficamente referenciados remontarem a séculos, os modernos sistemas baseados em computador surgiram a partir dos anos 60 do século XX. Esta é portanto uma tecnologia relativamente nova e em pleno desenvolvimento. Esta característica, juntamente com a variedade de aplicações da ferramenta, é responsável pela grande variedade de produtos comerciais disponíveis, destinados a fins específicos ou genéricos. Por estas razões também, não existe ainda uma arquitetura universalmente reconhecida, formatos absolutamente consagrados para armazenamento de dados nem tampouco uma “caixa de ferramentas” padronizada para operacionalização das técnicas necessárias a cada aplicação. Por estas razões, é extremamente variada, no que diz respeito a metodologias e objetivos, a literatura referente à utilização de sistemas de informações geográficas para gestão territorial.

Desde a implantação do Minnesota Land Management Information System (MLMIS), no Departamento de Geografia da Universidade de Minnesota, os sistemas de informação geográfica em meio digital se tornaram progressivamente centrais para a disciplina. Da geografia, a ferramenta se difundiu para as áreas das geociências, de gestão e monitoramento ambiental e hoje tem utilidade em campos tão diversos quanto as operações bélicas e a logística comercial (NCGIA, 2006).

No campo da gestão territorial a literatura é ampla, abrangendo publicações com enfoques que vão dos fundamentos metodológicos a direcionamentos específicos como a análise multicritério do uso da terra, a gestão de recursos hídricos e a gestão costeira.

Alguns estudos já realizados no Brasil se aproximam dos objetivos da presente investigação, isto é, se destinam a aplicar metodologias de geoprocessamento à gestão da vegetação.

A literatura específica sobre geoprocessamento começou a ser publicada no País em tempos bem recentes, a partir dos esforços iniciados com o Projeto RadamBrasil, em 1975, que originou o primeiro sistema geográfico de informação. Seguiram-se as atividades

implantadas no INPE que culminaram com o desenvolvimento do seu SGI próprio, hoje conhecido como SPRING. Como era esperado, a principal linha de pesquisa do INPE se desenvolveu sobre as tecnologias de uso de imagens orbitais, dado o fato de que o sensoriamento remoto é uma das atividades nucleares do Instituto.

A caracterização da integridade da cobertura vegetal a partir de sensoriamento remoto apresenta dificuldades específicas. Ao passo que evita as atividades de determinação direta de índices, intensivas em mão-de-obra e portanto não exeqüíveis em escala regional, a aquisição de dados por sensoriamento remoto exige validação por coleta de dados *in situ*, de forma a determinar a precisão das determinações (Elmore, A.J. et al, 2000). A análise espectral revela, por determinação de um índice específico, a densidade de vegetação e a análise de texturas fornece a diferenciação de cobertura vegetal e os diferentes usos do solo (Maldonado, F.D.; Santos, J.R.; Carvalho, V.C., 2002). A tecnologia tem se desenvolvido continuamente e sua aplicação tem sido objeto de publicação de abundante literatura, principalmente no monitoramento da mudança do uso do solo e do avanço do desmatamento na região amazônica. Os anais da série de Simpósios Brasileiros de Sensoriamento Remoto são um mostruário deste tipo de aplicação ao longo do tempo.

O uso da cobertura do mesmo recorte territorial em épocas sucessivas por sensoriamento remoto permite uma das aplicações mais importantes em geoprocessamento, o monitoramento de processos de transformação do uso do solo. Esta técnica tem sido usada em algumas circunstâncias próximas ao objeto deste trabalho. Como a aquisição de imagens representa custo significativo, as áreas de estudo nestes casos são, em geral, reduzidas. Alguns exemplos de aplicação desta metodologia em regiões do semi-árido, principalmente visando ao monitoramento do progresso da desertificação, são incluídos na bibliografia (Felizola et al., 2001; Andrade & Oliveira, 2004; Silva & Pereira, 2005).

A faixa costeira do Rio Grande do Norte é área onde ocorrem processos de alta energia, sujeita que á a diferenças de maré significativas e a ventos constantes. A sensibilidade ambiental que resulta destas condições é fator que estimulou a realização de muitos estudos entre os quais podem se citar, além do mapeamento de sensibilidade a derramamentos de óleo antes referido, as aplicações de geoprocessamento para síntese das condições naturais em vários segmentos da costa (Souto & Amaro, 2005; Castro et al., 2005) e também para

monitoramento ambiental (Souza, Amaro & Castro, 2005). Em sua quase totalidade estes estudos foram realizados pelo Departamento de Geologia da UFRN e algumas das publicações referentes a esse esforço são incluídas na bibliografia

A síntese de condições naturais e o monitoramento ambiental em áreas do semi-árido afetadas por atividades petrolíferas, usando dados de sensoriamento remoto, seja oriundos de imagens orbitais ou de levantamentos aerofotogramétricos, foram objetos de algumas investigações do mesmo grupo de pesquisa (Duarte, 2005; Petta, Meyer & Lima, 2007).

A conservação da cobertura vegetal natural, com as mesmas preocupações de conservação e redução de risco do presente trabalho, é objeto de Andrade e Oliveira, 2004 em estudo de monitoramento de 3.300 km² de área do semi-árido no Estado do Ceará. Como a maioria dos estudos de monitoramento, os dados são derivados de classificação de imagens de satélite.

É freqüente a publicação de avaliações por geoprocessamento de áreas susceptíveis a desertificação. Estas áreas, compreendendo um município ou pouco mais, são caracterizadas quanto à cobertura vegetal e outros usos por análise de imagens orbitais e estes dados conjugados com outros mapeamentos como solos, relevo, geomorfologia. A ponderação de fatores como os tipos de culturas, a densidade da cobertura vegetal e a fragmentação dos remanescentes vegetais leva à determinação da susceptibilidade ao processo de degradação (Oliveira-Galvão, 2001; Sá et al., 2006; Petta, Ohara & Medeiros, 2005).

Os métodos anteriormente citados utilizam todos eles como dado o estado de integridade da vegetação, seja ele derivado de imagens de satélite ou de determinações de campo. Por seu turno, este trabalho deriva as condições da cobertura vegetal de outros fatores, naturais e antrópicos. Esta mesma aproximação metodológica já foi utilizada, fazendo uso de fatores e ponderações distintas, com o objetivo de situar e delimitar unidades de conservação na caatinga de forma otimizada. Nesta proposta (Santos e Tabarelli, 2003) levam em consideração os fatores abióticos como solos, drenagem e distâncias de cidades e estradas, conjugados com tamanhos de remanescentes e corredores existentes, para delimitação de nova unidade de conservação em bases otimizadas do ponto de vista de pressão sobre o ecossistema.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 A COBERTURA VEGETAL

A região da Bacia Potiguar objeto desta investigação é, em muitos aspectos, notavelmente homogênea (MME, 1981).

O relevo e a geomorfologia são quase invariantes, consistindo de grandes planícies de deposição fluvial ou marítima, tabular, de história erosiva ou pediplanar. As únicas outras feições geomorfológicas presentes na região e fracamente distinguíveis na imutável paisagem são as duas planícies de deposição fluvial: uma, bífida, dos Rios Apodi e Angicos, e outra, do rio Piranhas-Açu. Os aspectos estruturais condicionam de forma sutil a dissecação fluvial, mais recente, sendo o entalhe da drenagem de pouca profundidade. Em algumas áreas o lento basculamento para o Norte do empilhamento estratigráfico determina a leve inclinação do relevo na mesma direção. Estes efeitos são de pequena monta, todavia. O resultado do processo de sedimentação, geologicamente recente, é que a região se apresenta, em larga escala, como grande planície levemente ondulada, alteando-se somente a cerca de 200 m nas imediações de Serra do Mel, um testemunho intemperizado de elevação do embasamento, e um pouco menos, a até 140 m acima do nível do mar, no prolongamento da rampa da Chapada do Apodi sobre o Oeste do Estado. A esta uniformidade morfológica se junta uma faixa costeira sujeita a processos de alta energia, de forçantes eólica e marinha.

A circulação atmosférica também se conforma a um único padrão, sendo dominada pela massa equatorial atlântica - ventos alísios que sopram de Leste e reinantes de julho a setembro - e pela convergência inter-tropical, vindo de Norte e dominante de janeiro a julho. É interessante notar que as precipitações que ocorrem no litoral leste do Estado, induzidas pelos alísios, não ocorrem no litoral norte que se alinha na direção da circulação e que, pelos menores índices pluviométricos, não tem a faixa de floresta ombrófila seguida da região menos árida, denominada comumente de 'Agreste', as quais se verificam ao longo daquele primeiro segmento.

A precipitação média anual e a temperatura média anual também são muito homogêneas em todo o território considerado. As chuvas atingem em média de 600 a 650 milímetros em toda a região, concentrando-se no outono. As temperaturas oscilam entre 26 e 27 graus centígrados, com pequenas oscilações diária e estacional, e contribuem, portanto, muito pouco para a diferenciação climática. O fitoclima é, dadas estas características, classificado como árido. Na classificação de Köppen, o tipo climático de toda a região é caracterizado como muito quente, semi-árido, com estação chuvosa atrasando-se para o outono, ou seja, nesta classificação é codificado como Tipo BSw'h'.

3.1.1 Descrição da fito-fisionomia

A vegetação do Bioma Caatinga é classificada, seguindo os padrões fitogeográficos universais de nomeação das fisionomias vegetais, como Savana Estépica (Veloso, 1991) ainda que outros, tomando por base a integração dos aspectos fisionômicos e ecológicos, a denominem simplesmente “Estepe” (DNPM, 1978). Esta classificação fisionômico-ecológica é, ademais, mais apropriada para a caracterização em escala regional, principalmente considerando os meios atuais de sensoriamento remoto para reconhecimento de padrões geográficos. Neste segundo sentido o termo se confunde com a denominação do bioma propriamente. O perfil esquemático da vegetação de Savana Estépica, conforme definida naquela primeira classificação, é reproduzido a seguir.

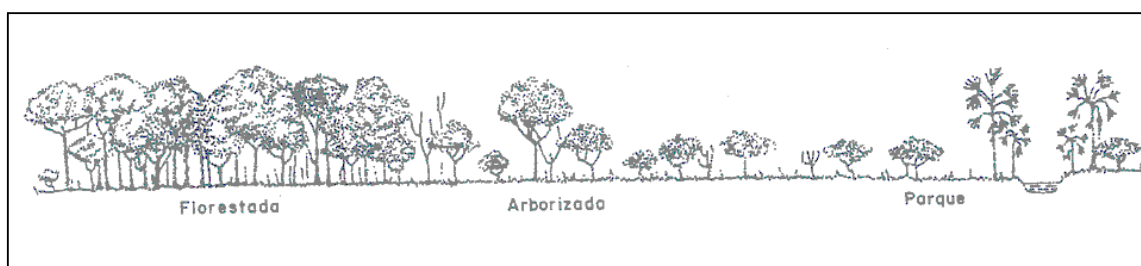


Figura 4. Perfil de vegetação da Savana Estépica (adaptado de Veloso, 1991).

Como já assinalado anteriormente, o fitoclima árido é determinante da fisionomia vegetal. As variações que se podem distinguir na fisionomia vegetal da Caatinga decorrem de fatores pedológicos e edáficos. São estas variações que constituem a diferenciação de formações fisionômico-ecológicas que aqui é adotada como referência e que são a seguir brevemente descritas: a Estepe Arbórea Densa, a Estepe Arbórea Aberta e o Parque. Todas elas podem ainda ser subdivididas em formações com ou sem palmeiras, segmentação que, em geral, reflete uma resposta ecológica à disponibilidade hídrica.

A Estepe Arbórea Densa é a de ocorrência mais limitada em todo o bioma Caatinga. É o tipo de formação que recobre os resíduos de superfícies aplainadas e os interflúvios tabulares. Ocorre a dominância de algumas espécies como a *Piptadenia obliqua* (angico-do-nordeste), *Cesalpinia pyramidalis* (a ubíqua catingueira) e *Bursera leptophloeos* (imburana-de-cambão, alhures cognominada almécega). É interessante notar a presença da *Cavanillesia arborea*, homóloga americana do mítico baobá africano (*Adamsonia digitata*). Ocorrem aí também os gêneros *Chorisia*, *Schinopsis*, *Astronium*, *Mimosa* e *Cassia*. Quando ocorrem palmeiras, elas se restringem a duas espécies: *Copernicia cerifera* (carnaubeira) e *Syagrus comosa* (coco-católé). Esta formação ocorre parcamente na área considerada, reduzindo-se a duas pequenas manchas no prolongamento da rampa de colúvio da Chapada do Apodi, próximas à divisa com o Estado do Ceará, segundo o levantamento do projeto RADAM Brasil. Nos detalhamentos mais recentes da cobertura vegetal, inclusive no utilizado para o presente estudo, outros fragmentos espalhados por toda a área são mapeados como Caatinga Arbórea, classe de vegetação de maior porte e mais densa e, portanto, com características aproximadas da Estepe Arbórea Densa.

A Estepe Arbórea Aberta é predominante em toda a Depressão Sertaneja e é quase sempre formação que resultou de interferência antrópica por corte ou pastoreio. Na Bacia Potiguar é também a sinúsia arbórea da maior parte do recorte territorial. Em alguns locais, onde a regeneração está em estágio adiantado, chega a ser bastante densa, ainda que com porte mediano. Nestes locais predominam as espécies mais agressivas como *Mimosa hostilis* (jurema-preta), *Croton sincorensis* (marmeleiro) e *Combretum leprosum* (mofumbo). Nesta formação se encontra espécie de grande utilidade para o nordestino, a *Spondias tuberosa* (umbuzeiro). É interessante observar que as *Cactaceae*, família freqüente

na Caatinga Arbustiva do cristalino, aí representada pelo *Cereus jamacaru* (mandacaru) e pelo *Pilosocereus gounellei* (xique-xique), são bem menos presentes na bacia sedimentar, mas ainda assim pontilham as áreas de solo mais arenoso. Diferentemente, no extrato inferior, é comum a ocorrência de *Bromélia laciniosa* (a utilíssima macambira), que medra com igual frequência nos dois ambientes. A sub-formação da Estepe Arbórea com palmeiras, estas mono-específicas e individualizadas pela *Copernícia cerifera* (carnaubeira), ocorre nas áreas de drenagem imperfeita, sejam elas de planossolo solódico ou no afloramento arenoso da Formação Açu, aí onde se formam pequenas lagoas temporárias em época de chuva, nos locais de sedimentação fina. Na classificação do mapeamento utilizado para este estudo, esta classe, juntamente com a seguinte, corresponde à Caatinga Antropizada.

A Estepe Parque, em que a vegetação mais esparsa se conjuga com os notáveis bosques de carnaubeiras, se estende nas planícies fluviais. Nas porções mais secas se congregam os demais representantes arbóreos desta comunidade vegetal, *Zyziphus joazeiro* (juazeiro), *Bumelia sartorum* (quixabeira, que também ocorre nas dunas do litoral), *Licania rigida* (oiticica) e as espécies que também ocorrem na formação estepe arbórea aberta. É a formação que ocorre nas duas planícies fluviais que cortam a Bacia Potiguar no sentido NNE e sua prevalência se prolonga até as margens das áreas estuarinas e toca as fímbrias das dunas.

Nas duas formações abertas, no extrato herbáceo, predomina uma gramínea do gênero *Aristida*, localmente denominada capim-panasco, que é forrageira somente na fase de brotamento e que embranquece na seca, dando à paisagem aspecto conspícuo. Aí também vegetam outros fanerófitos, muitas ervas anuais e algumas espécies espinhosas e urticantes, como uma erva do gênero *Jatropha*, localmente conhecida por urtiga, cujo contato provoca grande desconforto.

A descrição acima, construída segundo os padrões internacionais de classificação, não indicará variações na vegetação de Caatinga da área de estudo, apesar de servir para a descrição geral da composição florística, resumida nos parágrafos anteriores. Isto se evidencia claramente no mapeamento do projeto RADAM Brasil. Todavia, para estudos em escalas de maior definição podem-se distinguir até 17 fitofisionomias distintas de Caatinga

(Sampaio & Rodal, 2000), grande parte delas associada a situações fisiográficas específicas, como o são os brejos de altitude e as matas de cânions.

No que diz respeito à classificação genérica, nota-se na área de estudo a ausência de qualquer das variações arbóreas da estepe com palmeiras na vegetação original. A Estepe Parque aqui existem em formações exclusivas, os carnaubais, que ocupam as áreas de solo denso de gênese aluvionar. Uma das fragilidades dos dados usados no estudo é a ausência desta feição, que atualmente se encontra nas proximidades de áreas cultivadas, que parcialmente derivaram de conversão dos próprios carnaubais.

Da descrição aqui utilizada faz parte o que se convencionou denominar Caatinga Antropizada, originada, em sua maior extensão, da utilização como pastagem e fonte de lenha da Estepe Arbórea Aberta, que originalmente cobria quase toda a área. A classificação não distingue, porém, os diversos estágios de antropização da vegetação.

Os remanescentes de vegetação estépica razoavelmente conservada foram classificados, nos mapeamentos aqui utilizados, conforme o porte em Caatinga Arbórea e Caatinga Arbóreo-arbustiva. Na primeira classe estão incluídos os pequenos remanescentes do que havia na área de Estepe Arbórea Densa, ao norte da cidade de Apodi, na rampa da Chapada de mesmo nome.

A região também apresenta formações específicas na área de influência marinha que acompanha o litoral, classificadas como formações pioneiras. Resta algo preservada a vegetação de dunas ou “restinga”, e ainda remanescem importantes áreas de manguezal. As planícies fluviomarinhas se estendem na região da foz dos rios maiores que alcançam o litoral. Este conjunto de feições é brevemente descrito a seguir. Os contatos entre as diversas fisionomias formam paisagens de grande beleza (Figura 4).

As dunas mais pronunciadas apresentam um perfil de vegetação que progride, de barlavento a sotavento, da ausência total de vegetação à restinga arbórea, passando pela restinga herbácea e pela restinga arbustiva. As dunas baixas, de maior mobilidade pela ação do vento e que se situam na parte do litoral mais alinhada com a direção leste-oeste, tendem a ser cobertas de ervas. A restinga arbórea, generalizadamente degradada pela exploração de lenha para carvão, tem composição florística simples e porte modesto, sendo mais

freqüentes *Anacardium occidentale* (cajueiro), *Byrsonima* sp. (murici) e *Coccoloba* sp. (coaçu).



Figura 5. Paisagem próxima a Porto do Mangue, formada pelo contato entre duna móvel, dunas fixas, planície fluviomarinha e carnaubal.

São notáveis ainda as áreas litorâneas planas, resultantes de derrames arenosos eólicos cobertas exclusivamente pela quixabeira (*Sideroxylon obtusifolium*) e por gramíneas, como as que ocorrem nas cercanias de Porto do Mangue. As cactáceas, em especial *Pilosocereus hapalacanthus*, e os gêneros *Psidium* (os aromáticos araçás), *Ximenia* e *Chrysobalanus* constituem o núcleo da composição da restinga arbustiva. A vegetação herbácea, selecionada por mecanismo de seca fisiológica resultante da salinidade, da alta temperatura e do vento, é formada por poucas espécies, basicamente *Ipomoea pes-caprae* (salsa-da-praia), *Paspalum vaginatum* (capim-da-praia) e *Remirea maritima* (cipó-da-praia).

Os manguezais presentes no litoral norte do Estado do Rio Grande do Norte têm a composição típica desta mesma associação em outras partes. Ocupam principalmente as regiões estuarinas e certas áreas sob influência de marés. As espécies presentes são

Acrostichum aureum (avencão), *Avicenia schaueriana* (mangue-canoé), *Conocarpus erectus* (mangue-de-botão), *Laguncularia racemosa* (mangue-manso) e *Rhizophora mangle* (mangue-verdadeiro).

As planícies fluviomarinhas, presentes nos estuários dos rios Mossoró e Piranhas-Açu, se estendem por extensões consideráveis, muitas vezes ladeadas por bosques de carnaubeiras. Foram, há longo tempo e em grande parte, transformadas em salinas que, por sua vez, cedem paulatinamente lugar aos grandes tanques de carcinicultura. A vegetação nativa destas áreas, halófila por natureza, é de pouca diversidade e relativamente esparsa, sendo as espécies mais abundantes *Philoxerus portulacoides* (pirrixiu) e *Sesuvium portulacastrum* (brejo-da-praia).

3.1.2 A presença humana na área de estudo

A Caatinga apresenta um longo histórico de ocupação antrópica, iniciado no período colonial com o avanço pelo interior, à procura do ouro e das pedras preciosas, durante o regime de sesmarias e depois, ao longo da vigência do sistema de capitanias hereditárias (Andrade-Lima, 1981). Grande parte de sua vegetação original, em torno de 60 a 70%, já foi modificada. Atividades como queimadas para o preparo do solo para a agricultura, a substituição da vegetação nativa por pastagens e a retirada de lenha são apontadas como as principais agressões e como causa das modificações ocorridas (Tabarelli et al., 2000).

Essas atividades são, principalmente, exercidas pelos moradores locais, tidos como a maior concentração de população pobre do Brasil. Dados mais recentes estimam que nos últimos quinze anos 40.000 km² (4.000.000 ha) da Caatinga foram devastados devido à interferência do homem na região e que anualmente 653.000 ha são convertidos para outros usos.

Na região escolhida para o presente estudo, dominam as mesmas características gerais de ocupação e uso do solo de todo o Bioma Caatinga. Algumas especificidades todavia se notam, como é o caso da agricultura irrigada, presente no vale do Açu e onde outras fontes de água existam, até mesmo a subterrânea, e principalmente da atividade petrolífera, descrita em maior detalhe adiante.

A atividade agropecuária tradicional ainda é dominante na maior parte da área. Consiste ela da agricultura temporária de sobrevivência, principalmente de milho e feijão, e da pecuária extensiva em estepe aberta, principalmente de caprinos. Este uso transformou a maior extensão da estepe aberta no que comumente se denomina 'Caatinga Antropizada'.

A agricultura de subsistência se restringe ao cultivo braçal de pequenas parcelas, restritas mesmo pela pouca existência de bons solos e pela aspereza do clima. A pecuária, por seu turno, é limitada pela baixa capacidade de suporte das pastagens nativas, segundo alguns de somente cerca de 0,2 rês por hectare (MME, 1981), e pela minguada disponibilidade de água. Uma atividade extrativista tradicional da região, como em outras áreas onde ocorre o recurso, sempre foi a produção de cera de carnaúba. Esta todavia decaiu consideravelmente, em meados do século passado, com a redução do uso do produto. São também produtos extrativos tradicionais a semente de oiticica (produtora de sucedâneo do óleo de linhaça) e as frutas típicas, o umbu (*Spondias tuberosa*) e a mangaba (*Hancornia speciosa*).

As deficiências de manejo e a degradação progressiva dos ecossistemas do semiárido tornam a cada dia menos factíveis o extrativismo e o aproveitamento dos recursos vivos, sejam eles a madeira e a lenha ou a meliponicultura. Esta última atividade tem merecido alguma atenção, principalmente em relação à abelha jandaíra (*Melípona subnitida*), cujo mel tem propriedades medicinais reconhecidas, e que outrora era bastante freqüente em toda a extensão da Caatinga.

Nas últimas três décadas do século XX, ao mesmo tempo que progredia a exploração e a produção de petróleo na região, algumas mudanças na estrutura de uso tradicional do solo também aconteciam. A industrialização local ou próxima do local de produção de alguns produtos, em especial da castanha de caju, fez com que se iniciassem várias culturas permanentes da fruta. Esta é a origem da consorciação do plantio de caju com pastagens, ocupando vastas áreas nas proximidades de Serra do Mel e alhures. A construção do grande reservatório Engenheiro Armando Ribeiro, na década de 90, regularizou a vazão do rio Piranhas-Açu e, além de minorar a penúria de muitas comunidades, facultou a instalação da fruticultura irrigada no vale a jusante, agora consolidada em atividade econômica de valia para o Estado. Além desta região, a fruticultura irrigada também prosperou em alguns

outros locais, como o município de Baraúna, utilizando a produção de água subterrânea do aquífero Açu. A contribuição desta atividade para a produção regional pode ser aferida na Tabela 1, embutida no valor do setor agropecuário.

Na mesma tabela se nota também a correlação entre a produção industrial dos municípios e o total de *royalties* recebido no mesmo exercício, refletindo ao mesmo tempo o valor adicionado da produção de óleo e gás e a indução local de atividades de apoio. Alguns poucos municípios fogem a esta tendência, em particular Serra do Mel, devido à presença de outras atividades industriais, como o beneficiamento de produtos agrícolas. Em Mossoró e Guamaré, onde se situam bases de operações da indústria petrolífera, há um reflexo notável do fato sobre o setor de serviços, como se poderia esperar.

Foi também incluído na tabela, para simples efeito demonstrativo, o índice de desenvolvimento humano municipal das unidades territoriais consideradas. Nota-se que, para a maioria dos municípios, o índice se situa na faixa característica de baixo desenvolvimento, ainda que, de forma geral, tenha havido uma melhoria considerável em relação aos valores aferidos em 1991.

Dois tipos de instalações bastante difundidas no Estado são de particular importância para o empobrecimento da cobertura vegetal pelo uso de lenha. O primeiro são as olarias, em número considerável e localizadas principalmente nos vales dos rios principais, explorando as argilas de aluvião. O segundo, as caieiras, espalhadas por região mais ampla, em locais onde aflora a Formação Jandaíra, produzindo cal de forma rudimentar pela calcinação do abundante calcário aí existente.

Outra mudança notável no perfil da atividade econômica da região começa a se fazer notar com o crescimento do turismo nas cidades da faixa costeira e pela implantação crescente da carcinicultura, principalmente nas planícies fluviomarinhas, como já referido antes.

PRODUÇÃO SETORIAL E DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL						
Município	Área (km2)	População (2005)	Valor adicionado 2002 (mil R\$)			IDH-M 2000
			Agropecuária	Indústria (royalties*)	Serviços	
Açu	1269	50606	15164	82526(2568)	59593	0.677
Alto do Rodrigues	191	10283	9895	90637(2831)	28863	0.688
Apodi	1603	36056	10920	80452(2648)	41500	0.654
Areia Branca	358	23353	1275	185734(7070)	55339	0.710
Baraúna	826	21184	176276	8092(32)	44639	0.600
Caraúbas	1095	17909	2591	35438(1191)	28593	0.614
Carnaubais	530	8600	4263	35193(1349)	14032	0.651
Felipe Guerra	268	5216	521	32686(1323)	8358	0.633
Gov. Dix-Sept Rosado	1129	12602	5465	58426(2212)	16899	0.637
Grossos	126	8852	789	31353(917)	13921	0.583
Guamaré	259	9444	999	300567(10656)	64586	0.646
Macau	788	25521	356	310100(12113)	65358	0.690
Mossoró	2110	227357	118657	479324(10058)	474277	0.735
Pendências	419	11618	276	55056(1967)	17325	0.631
Porto do Mangue	319	4780	125	42982(1785)	7434	0.598
Serra do Mel	617	8375	4628	22997(822)	7425	0.678
Tibau	162	3934	3320	13311(462)	7280	0.678
Upanema	882	12462	12698	45156(1500)	17483	0.589
TOTAL	12951	498152	368218	1910030(61504)	972905	-----

- Valor de royalties do petróleo recebido pelos municípios em 2002 (Fonte:ANP)

Tabela 1. Produção setorial e índice de desenvolvimento humano dos municípios (Fonte: IBGE).

A região possui infra-estrutura viária razoavelmente desenvolvida, em grande parte por causa da própria presença da indústria petrolífera. As rodovias, tanto as pavimentadas como as estradas de terra, constituem importantes meios de fragmentação dos remanescentes de vegetação e facilitação da ocupação por aumento do parcelamento da terra nas suas margens. Facilitam ainda a incursão de caçadores e suas margens constituem a principal localização dos focos de incêndios florestais.

Outro tipo de corredor de origem antrópica são as linhas de transmissão. Estas são geralmente mantidas com corte baixo da vegetação, o que, considerado o porte da vegetação da Caatinga, seria quase sempre desnecessário. Contudo, a generalização dos padrões usados pelo setor elétrico as torna significativas como fator de fragilização da

vegetação regional. Este efeito não é, todavia, tratado neste trabalho, por falta de dados que o permita abordar.

3.1.3 Os impactos da indústria petrolífera sobre a vegetação

A Bacia Potiguar tem atualmente 65 campos produtores de óleo e gás. Um grande número destas unidades produtoras é de pequenos campos, com dez poços ou menos. Dois campos, Canto do Amaro e Estreito, são considerados de grandes dimensões, com mais de mil poços cada um.

A localização destes campos segue um modelo geológico definido, a seguir brevemente descrito.

A porção emersa da Bacia Potiguar se limita ao sul pelos afloramentos granítico-gnaissicos do embasamento, de idades muito antigas que vão do Arqueano ao Cambriano. Este limite é notado até mesmo pelos leigos em matéria geológica pela passagem do terreno arenoso que constitui o afloramento da Formação Açu, de relevo pouco acentuado como toda a bacia sedimentar que se estende daí para o norte, para topografia mais acidentada, com relativamente grandes formações rochosas, entre as quais o pico do Cabugi é a feição mais notável. A leste e a norte, a região se estende até o litoral, recoberta aí por sedimentos mais novos, do Quaternário: depósitos aluvionares e dunas inconsolidadas de origem eólica ao norte e paleocascalheiras a leste. A oeste, o limite é a Chapada do Apodi, já na divisa com o Estado do Ceará.

Três formações que formam a parte superior da estratigrafia da região recobrem majoritariamente a superfície: a já mencionada Formação Açu, a Formação Jandaíra e a Formação Barreiras. Em áreas restritas ocorrem afloramentos de natureza particular e alguns derrames e diques basálticos.

A Formação Açu consiste de arenitos de granulometria variável e sua faixa aflorante alarga-se na direção EW, começando na parte sul do vale do rio Maxaranguape, de forma irregular e descontínua, com alguns quilômetros de largura e chegando à divisa com o Ceará com uns trinta quilômetros. Este estrato constitui a matriz de um aquífero de grande importância para abastecimento regional e também nele estão situados alguns dos reservatórios de hidrocarbonetos atualmente em exploração. A gênese da formação está

associada a leques aluvionais, sistemas meandantes e esporádica influência estuarina, cronoestratigraficamente situada no Cretáceo mediano.

Sobre a Formação Açu se estende para o norte a Formação Jandaíra, formada de depósitos calcários gerados em extensa planície de maré do Cretáceo tardio. A maior parte da superfície da Bacia Potiguar é recoberta por esta formação, somente interrompida na sua parte interior por processos deposicionais recentes nas margens de rios. Esta é a formação mais típica do interior do Estado, sotoposta a solos de espessura muito fina que suporta uma fisionomia de Caatinga com certa especificidade induzida pela presença do calcário.

Na faixa costeira norte, alongando-se para o interior e concordante com os alteamentos do relevo, mostra-se em superfície a Formação Barreiras e suas contemporâneas de menor expressão (Guamaré, Macau, Tibau), depositadas mais recentemente, já no Terciário. São predominantemente formações associadas a sistemas fluviais, com sedimentos areníticos, intercalados com outros mais finos, e a conglomerados.

Em sub-superfície intercala-se entre o embasamento e a Formação Açu os dois estratos importantes na gênese do petróleo na Bacia Potiguar: a Formação Alagamar e a Formação Pendência. Esta última preenche as grandes depressões (*grabens*) do embasamento: Boa Vista (Norte e Sul, seccionados por sistema de falhas), Umbuzeiro, Pendência e Guamaré e data do Cretáceo primevo, gerada por processos lacustres.

A Formação Alagamar, sobreposta à Pendência, depositada sob influência marinha, espessa-se na direção norte, alcançando condições (temperatura e pressão) de maturação de compostos orgânicos somente na parte imersa da Bacia.

Todo o empilhamento da Bacia Potiguar bascula ligeiramente na direção norte, com variação significativa de espessura em algumas das camadas estratigráficas, em particular da Formação Alagamar que aumenta continuamente na mesma direção. A estratigrafia da Bacia é mostrada na Figura 1, síntese do trabalho definitivo sobre a área produzido por Araripe e Feijó, 1994.

emersa da Bacia a Formação Alagamar é muito pouco espessa para permitir ocorrência dos processos de maturação de óleo. Todavia houve para esta região a migração de óleo formado na parte atualmente submersa desta formação, mais espessa e profunda. Este óleo se acumulou na Formação Açu, misturando-se eventualmente com produtos de petrogênese local.

Como em todos os setores da atividade humana, a partir da década de 1970, a indústria do petróleo experimentou grande transformação de padrões de atuação, nos aspectos referentes a impactos ambientais. Esta evolução é notável e pode ser aferida, no Brasil como em toda parte, principalmente nas bacias sedimentares onde a atuação da indústria é antiga – bacias maduras – entre as quais se classifica a Bacia Potiguar.

A evolução de padrões de operação tornou-se mais evidente após a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, a Rio-92, pois deste evento saíram diretrizes que reforçam a necessidade de gestão integrada de todos os setores econômicos no sentido de atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável, entre eles a conservação dos ecossistemas naturais e, em particular, da biodiversidade. Este enfoque incentivou uma série de publicações institucionais, inclusive de associações da indústria, estabelecendo critérios e diretrizes para operação, para estruturação de sistemas de gestão e para elaboração de relatórios de sustentabilidade (E&P Forum/UNEP, 1997; GRI, 2000; Schlumberger Ltd, 2003; IPIECA, 2006).

Todavia, mesmo utilizando os melhores padrões de operação, as atividades petrolíferas definem, por impacto direto ou por indução, uma diferenciação do uso do território na sua área de atuação. Elas acarretam interações específicas com o meio físico e o meio biótico, além de produzir efeitos sócio-econômicos apreciáveis. Este conjunto de interações define uma individualização do território nas áreas de atuação deste setor da indústria.

A fase exploratória das operações tem como principal impacto a abertura de trilhas para aquisição de dados geofísicos por reflexão acústica, a realização de campanhas sísmicas. Num primeiro momento esta atividade se resume à chamada sísmica 2D, que é realizada em longas linhas, às vezes de centenas de quilômetros, com objetivo de definir as grandes linhas estruturais regionais. Esta modalidade é seguida da perfuração de poços exploratórios, em pequeno número e espalhados por grandes extensões territoriais.

O sucesso de algum destes poços ou outros indicativos de prospecto muito favoráveis determina geralmente a realização de sísmica 3D, em que uma malha adensada de trilhas cobre uma região da ordem de até algumas dezenas de quilômetros quadrados. O adensamento das trilhas, traçadas a cada 50 metros uma da outra, representa considerável impacto sobre a cobertura vegetal. A figura que se segue, retirada do Google, dá uma idéia desse impacto.

A esta campanha segue-se a perfuração de mais poços, delimitadores ou ainda exploratórios.

Até bem recentemente no Brasil as trilhas sísmicas, tanto 2D quanto 3D, eram abertas com corte raso da vegetação. A atividade representava, por esta razão e em particular na Bacia Potiguar, uma fragilização considerável da cobertura vegetal e um impacto de duração bastante alargada pela lentidão da regeneração por talhadia da vegetação de Caatinga.

Além disso e principalmente no caso da sísmica 2D, as trilhas podem se transformar em vias de penetração em regiões ainda preservadas com conseqüente degradação delas, principalmente pela caça e pela retirada de madeira. Os impactos da aquisição de dados sísmicos em terra podem, todavia, ser mitigados de forma muito acentuada por expedientes diversos (Gibson, D. & Rice, S., 2003).

Com a evolução dos padrões que novas tecnologias permitiram (em particular os sistemas de posicionamento global – GPS) a realização da atividade prescinde do corte da vegetação para a colocação das cargas explosivas e dos geofones, requerendo somente o tombamento da vegetação. Com isto, perduram mais marcadamente os efeitos da abertura de vias de acesso para perfuração de poços e faixas de dutos para escoamento da produção, o que de qualquer forma será inevitável, caso confirmada a descoberta, com o desenvolvimento do campo e posterior exploração da jazida.

A seguir são mostradas fotografias (Figuras 7 a 9) de trilhas de aquisição de dados geofísicos, mostrando, entre outros aspectos, a regeneração da vegetação em tempos distintos e nos dois padrões usados na região: o corte raso, antes de 2005, e o ‘deitamento’ da vegetação, a partir de então.



Figura 7. Imagem orbital, retirada do Google, mostrando área de Caatinga Arbóreo-arbustiva coberta por aquisição sísmica 3D recente (2006), a NW de Serra do Mel, em área adjacente ao campo de Canto do Amaro



Figura 8. Trilha de aquisição sísmica 3D antiga (2001) mostrando regeneração lenta da vegetação de Caatinga Arbóreo-arbustiva e evidenciando algum uso como acesso (atalho entre propriedades rurais ou caça).



Figura 9. Trilha de aquisição sísmica 3D antiga (2001), mostrando uso consolidado como trilha (certamente como acesso a propriedade rural)



Figura 10. Trilha de aquisição sísmica 3D recente (2006), aberta com ‘deitamento’ da vegetação de Caatinga Arbóreo-Arbustiva (note-se a regeneração por brotamento que o procedimento propicia em pouco tempo).

A perfuração de poços exige a abertura de clareiras para posicionamento e manobra de sonda de perfuração. Estas clareiras, antes de cerca de um hectare, são atualmente reduzidas a cerca de 0,6 ha. Além disso, providências simples, como o uso de uma locação já estabelecida para mais de um poço e a re-locação dos poços de forma a evitar áreas úmidas e corte de vegetação imune ou de preservação permanente, diminuíram consideravelmente o impacto da atividade.

Outro aspecto que alivia o efeito negativo da operação é uma melhor gestão de resíduos – no caso, de cascalhos, sucata e material oleoso – que passou a existir mais recentemente³, com a construção de grandes instalações de disposição permanente de resíduos sólidos (Foto 5), com a incineração em cimenteiras quando a composição dos resíduos o permite e com outros meios de disposição final.



Figura 11. Obra de construção da estação central de disposição de resíduos sólidos no campo de Estreito.

Quando se confirma uma descoberta considerada comercialmente viável, inicia-se a implantação de um sistema de produção, o qual inclui também separação e escoamento dos fluidos produzidos. Em reservatórios de maiores dimensões, instala-se uma malha de

³ Os padrões mais antigos da indústria do petróleo, aplicados também em outras regiões produtoras, como no Recôncavo Baiano e em Sergipe/Alagoas originaram passivo ambiental significativo por descarte inadequado de resíduos sólidos que mais recentemente tornou-se objeto de atenção do Ministério Público e das autoridades ambientais. Em particular, na Bacia Potiguar, está em andamento um processo de ajuste de conduta para remissão deste passivo e um inquérito civil para apuração de danos ambientais pretéritos.

drenagem que, às vezes pode se constituir de centenas ou, até mesmo, milhares de poços. Nestes casos o sistema incluirá quase sempre estações de tratamento para separação de fluidos produzidos (água, óleo e gás). Em campos de pequenas dimensões, em geral a produção é transferida sem tratamento, e o transporte da mistura óleo-água é feito por dutos ou por carretas, após a separação do gás ou sua ventilação. Desta forma, o uso da terra nos grandes campos é praticamente exclusivo e nos campos com poucos poços a interferência é de pequena monta, permitindo a conciliação com outros usos. Nos primeiros, o impacto sobre a cobertura vegetal é de grande magnitude, podendo chegar ao comprometimento da maior parte da vegetação (Figura 12).



Figura 12. Parte da malha de drenagem do campo de Canto do Amaro, RN, visto em imagem orbital, retirada do Google.

No segundo caso, ocorre alguma fragmentação pela abertura das locações de poços, pelo lançamento de linhas de coleta e pela abertura de vias de acesso, com impacto mais reduzido sobre o ecossistema.

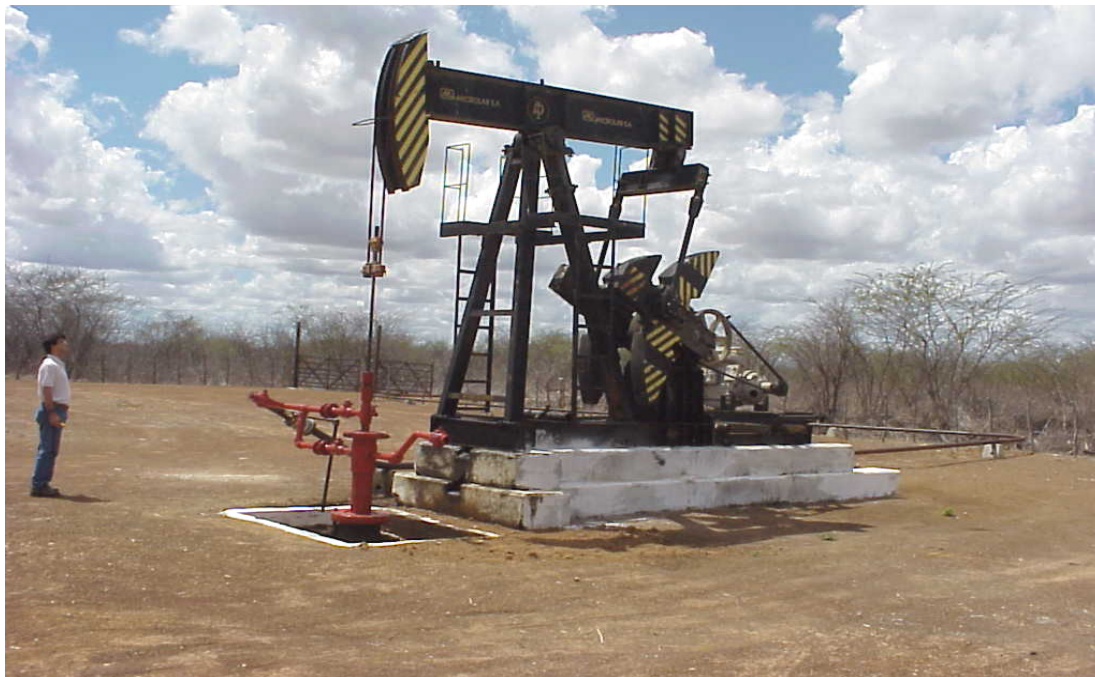


Figura 13. Típica localização de poço equipado com bombeio mecânico, construída segundo os padrões antigos (campo de Janduí, RN)



Figura 14. Localização de poço isolado, com bombeio mecânico e armazenagem de óleo, na Caatinga Antropizada (campo de Poço Verde, RN).



Figura 15. Localização de poço já abandonado, com erosão, no município de Serra do Mel (Caatinga Arbóreo-arbustiva, Formação Barreiras).

Em escala regional há, portanto, em relação à cobertura vegetal um efeito de comprometimento local mais severo por campos com grandes malhas de drenagem e um efeito difuso de fragmentação por vias de acesso e por pistas de dutos. As fotografias apresentadas dão idéia da área comprometida por locações de poços em algumas situações e, em particular a figura 15 acima mostra que a interferência da atividade nas condições da superfície exige esforços de recuperação de áreas após a desativação, que em muitas circunstâncias podem ser significativos.

3.1.4 Fragmentação e antropização da vegetação natural.

A matriz da região de estudo, definida pela ecologia da paisagem como sendo o uso dominante do solo ou a cobertura que domina a dinâmica regional, é ainda a vegetação

natural. Todavia esta já apresenta alto grau de interferência humana, o que não só transformou extensas áreas, dando origem a uma das classes de vegetação da área – a Estepe Arbórea Aberta, aqui também denominada Caatinga Antropizada – como também ocasionou igualmente a perda de conectividade entre remanescentes. Sobre esta matriz se estende um mosaico de áreas convertidas em pastagens, áreas agrícolas, manchas urbanas e corredores de várias naturezas, como linhas de transmissão de energia, estradas, pistas de dutos e raros cursos d'água com as respectivas faixas de vegetação ripária, esta progressivamente sendo eliminada pela agricultura irrigada.

As populações de espécies de fauna e flora são afetadas de forma diferente, considerada uma dada percentagem de vegetação nativa recobrando determinada região, pelo tamanho e número dos remanescentes e pela relação área/perímetro dos mesmos. Desde antes da elaboração da 'teoria biogeográfica da ilha' (MacArthur, R. & Wilson, E., 1967), existe abundante literatura sobre o tema que, contudo, não chega a esclarecer todas as variações de comportamento para os diversos filos nas muito variadas condições ambientais. Alguns aspectos gerais que sumarizam a compreensão dos fenômenos envolvidos são descritos nos parágrafos seguintes⁴.

O efeito de borda, mais ou menos acentuado conforme a natureza da borda, é o fator que define a eficácia de um dado tamanho de remanescente para conservação da biodiversidade. Este efeito se traduz em ocupação das margens dos fragmentos por espécies mais ou menos especializadas, de forma a diferenciar essas áreas das áreas mais centrais dos fragmentos. Este efeito se apresenta muito diferenciado para cada divisão filogenética ou grupo de espécies. Por exemplo, o número de espécies de insetos e, conseqüentemente, o número de espécies de pássaros insetívoros, aumenta muito lentamente com o tamanho do fragmento. Por outro lado, o número de espécies de árvores alcança o valor típico para o ecossistema regional em remanescentes muito pequenos. Da mesma maneira, o tamanho das populações de cada espécie varia consideravelmente em cada grupo taxonômico. Alguns grupos, formados por espécies muito dependentes do ambiente do interior dos fragmentos, estarão ausentes de todos os remanescentes de pequena área ou aí terão

⁴ Para uma discussão exaustiva e revisão extensiva da literatura sobre a questão, o leitor é remetido ao livro seminal de Richard T. T. Forman, incluído nas referências bibliográficas.

populações muito reduzidas. A fragmentação do habitat redundando em redução da diversidade genética dentro dos fragmentos e, em consequência, na diminuição da viabilidade das populações. Desta forma, a população viável mínima para cada espécie de interesse, que é a população que garante a sua preservação a longo prazo, tem relação direta tanto com sua distribuição entre remanescentes quanto com o tamanho das populações dentro de cada fragmento. Esta é, em última instância, a questão a considerar na gestão territorial, conjugando os usos do solo com objetivos de conservação da biodiversidade. De forma resumida, os remanescentes de grande área servem ao propósito de proteção de recursos hídricos, sustentação de populações de habitat interior, refúgio de espécies de grande mobilidade, fonte e difusão de espécies para toda a matriz, manutenção do regime natural de perturbação e também como amortecimento da extinção de espécies por mudança ambiental. Por sua vez, os pequenos fragmentos funcionam diversamente: têm alta densidade de espécies e grandes populações de espécies de borda, provêm habitat e para dispersão de espécies e re-colonização de espécies de interior quando há extinção local, garantem a heterogeneidade da matriz e refúgio de predadores, são habitat para espécies de pequena mobilidade (aquelas que são, em geral, presas em grandes fragmentos) e podem ser usados para conservação de espécies raras.

Uma gestão territorial ótima, com finalidade de conservação da biodiversidade deverá contemplar os dois tipos de remanescentes, pois nenhum deles sozinho proverá todas as funções ecológicas necessárias.

Os corredores, outro componente comum a todos os mosaicos territoriais, são estruturas lineares constituídas pelas estradas, as linhas de transmissão, as sebes (cercas vivas ou extensões lineares de vegetação remanescente, em geral em divisas de propriedades) e os cursos d'água e suas matas ciliares. Têm cinco funções distintas: são, ao mesmo tempo e com intensidade determinada por suas características específicas, habitats, condutos, filtros, fontes e sumidouros. No caso específico da área de estudo, os corredores mais frequentes são as estradas, desde as grandes rodovias federais às pequenas vias de acesso a propriedades rurais modestas e, exercendo temporariamente as mesmas funções, as trilhas de sísmica. As funções acima enumeradas se manifestam de forma especial. As margens de estradas, notadamente daquelas mais movimentadas, são habitat de alguns animais e de

espécies vegetais que tiram proveito da água de escoamento do leito. Funcionam como conduto das espécies exóticas, trazidas de longe pelo tráfego ou impulsionadas gradativamente pelo deslocamento dos veículos. São filtros entre partes da matriz por elas separadas, com intensidade diferente para as espécies e dependente de sua largura, construção e intensidade de tráfego. São também sumidouros importantes da fauna e o número de animais mortos em estradas é impressionante em muitas regiões. O alcance dos efeitos de estradas é extremamente variado, de alguns metros a centenas de metros para o aporte de minerais por poeira, a quilômetros para o acesso humano, favorecendo a caça e outras atividades (Forman, R.T.T., 1995). Por esta razão, nota-se uma certa variedade de largura de faixas de influência destes corredores em publicações, dependente sem dúvida do objetivo considerado (Santos, A.M. e Tabarelli, 2005). As linhas de transmissão de energia funcionam de forma quase análoga às estradas, com efeitos menos drásticos e algumas especificidades. Ambos os tipos de corredores representam portanto, fontes de risco para os recursos ambientais na faixa de território que a eles corre contígua.

A retirada da vegetação natural e sua substituição por usos inadequados do solo aumentam o risco de desertificação. Este risco é maior para as atividades agropecuárias intensivas, com pastagem exótica plantada, e para a agricultura sazonal em grandes áreas contínuas. Nas áreas assim manejadas, ocorre aumento da temperatura e da ação do vento ao mesmo tempo em que diminui a infiltração da água de chuva, processos iniciadores de desertificação.

3.2 CONSTRUÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

3.2.1 O sistema geográfico SAGA/SAD

Com o intuito de utilizar recursos imediatamente disponíveis, de baixo custo e que possam ser suportados por plataformas de trabalho de pequeno porte, foi escolhido para uso neste estudo o sistema SAGA do Laboratório de Geoprocessamento, do Instituto de Geociências da UFRJ. O sistema escolhido atende a requisitos técnicos indispensáveis para a elaboração das análises requeridas: possibilidade de utilizar formatos variados de arquivos para entrada de dados, capacidade de execução de acabamento cartográfico

(toponímia, cromatismo, grade de coordenadas, etc.) e, principalmente as ferramentas inerentes ao próprio sistema que permitem a execução das operações analíticas necessárias.

Sistemas geográficos de informação têm como objetivo último o suporte à decisão baseada no tratamento de dados espacializados e atingem este objetivo por meio dos procedimentos de organização, visualização, consulta, combinação, análise e previsão (Bonham-Carter, 1994). Dito de outra forma, estes sistemas se destinam a armazenar e tratar os componentes básicos do ambiente (análise) e, organizando esses componentes de forma integrada (síntese), submetê-los a tratamentos específicos de forma a produzir informação antes não disponível imediatamente (Xavier da Silva, 2001).

A racionalidade implícita no uso de sistemas geográficos de informação para investigação da realidade ambiental é a da visão sistêmica, segundo a qual os diversos sistemas identificáveis numa dada realidade ambiental se organizam de acordo com tipos diversos de relacionamentos, ressaltando-se as relações de inserção (hierarquias), justaposição (proximidades, contigüidade) e funcionalidade (causalidade) (Ibid.).

A determinação dos relacionamentos entre os sistemas atuantes no território se constitui num procedimento heurístico que, por meio da elaboração de análises e integrações concatenadas, levam a conclusões sobre associações causais, às vezes pouco evidentes. Este procedimento de inferência de relações causais ou da associação temporal e espacial a partir de relacionamentos julgados relevantes entre dados ambientais que podem ter sido utilizados nas mais variadas escalas – ordinal, nominal, de intervalo ou de razão – se utiliza de uma estrutura integradora e classificadora que o sistema geográfico de informação provê. O resultado poderá ser, por exemplo, uma estrutura classificada em escala ordinal que referencia ao mesmo território uma variável de relevância para a gestão ambiental.

A metodologia que acima se delineou se concretiza em dois tipos de resultado: as diagnoses de situações ambientais existentes ou de ocorrência provável e as prognoses, direcionadas para a determinação de tendências ou cenários futuros. O segundo tipo é, em particular, de alta relevância para o planejamento ambiental na região estudada.

A metodologia baseada em sistemas geográficos de informações tem a possibilidade de inclusão progressiva de dados à medida que se tornem disponíveis e à medida que se atualizam os dados existentes. Esta segunda instância permite manipulações que

evidenciam os processos temporais que ocorrem na área de estudo. Para o objeto desta investigação, a cobertura vegetal, o conhecimento da evolução temporal dos processos é de suma importância para aferir a exatidão das avaliações do risco a que se expõem os remanescentes e o comportamento dos vetores de ocupação do território.

As diversas funções disponíveis no sistema escolhido, o SAGA, permitem a realização de mapeamentos, identificações e simulações territoriais de eventos ambientais, além de permitir inferências diversas, dependendo do objetivo do estudo. A seguir são descritas as duas funções usadas na presente investigação, a assinatura ambiental e a avaliação ambiental, seguindo muito de perto o texto básico de Xavier da Silva, 2001.

A assinatura ambiental de um evento é uma associação recorrente de características naturais e sociais que se encontram nos lugares onde aquele evento ocorre. Definida assim, é o resultado da consulta a um sistema de informações geográficas sobre quais as características registradas na base de dados que ocorrem nos locais onde se verifica o evento de interesse. Trata-se, portanto, de uma varredura feita sobre a base de dados, a partir de uma conjunção de parâmetros pré-definida, e do mapeamento dos locais onde a circunstância dada se repete.

A assinatura ambiental é de particular interesse quando é aplicada conjuntamente com a validação da metodologia em trabalhos de campo. Neste caso, pode-se investigar se a conjugação de fatores que ocorrem em locais onde determinado evento foi observado existe igualmente em outros locais da área de estudo. O mapa resultante mostrará, portanto, as áreas com possibilidade de ocorrência do evento de interesse. Este é claramente um procedimento heurístico que permite inferir associações causais entre características ambientais.

As técnicas de geoprocessamento se aplicam também para procedimentos integradores que resultam em avaliações ambientais, notadamente em avaliações de riscos e potenciais ambientais. Por risco ambiental se entende uma ligação da ocupação humana com a possibilidade de ocorrência de eventos que lhe sejam danosos. Em engenharia, o risco é definido por duas variáveis: a probabilidade de ocorrência do evento e a magnitude de suas conseqüências, em geral econômicas. Riscos ambientais traduzem limitações do ambiente frente a uma alteração ambiental geradora de situação danosa para o homem. Há

uma estreita relação entre o risco ambiental assim entendido com a vulnerabilidade ambiental, esta definida como a susceptibilidade a mudanças resultante dos fatores ambientais relevantes, como solo, geomorfologia, vegetação, etc. (Souto, M. V. S. & Amaro, V. E., 2005). De forma genérica, pode-se considerar o risco ambiental como conjugação da vulnerabilidade ambiental da área considerada com o conjunto das interferências antrópicas (ações de desenvolvimento) que aí podem se verificar. Um exemplo de risco ambiental, pertinente ao escopo desta investigação, é o risco de desertificação.

Potenciais ambientais, por seu turno, são levantados por meio da verificação das condições ambientais que determinam a extensão e possível expansão territorial de um processo ambiental, em geral entendido com conotação positiva. Os potenciais para expansão agrícola e urbana são exemplos frequentes.

O sistema SAGA tem módulo específico para realização deste tipo de avaliação ambiental. A metodologia é descrita a seguir de forma sucinta.

Com base em mapeamentos pré-existentes de vários temas de informação, riscos e potenciais ambientais podem ser determinados por um procedimento heurístico. Este procedimento consiste de três etapas básicas:

- a) a identificação do conjunto de temas relevantes para a expressão do risco ou potencial em foco, com a respectiva atribuição de peso a cada tema;
- b) a atribuição de nota a cada uma das classes, dentro de cada tema, exprimindo a importância das classes para o mesmo efeito, e
- c) a utilização de algoritmo em base eletrônica que calcula, para cada ponto (“pixel”) da base geográfica correspondente ao território em avaliação, o nível de risco/potencial.

As duas primeiras etapas são executadas de forma mais confiável por consulta a especialistas nas matérias relevantes para o objetivo da análise, em geral usando o método Delphi. Pode-se, contudo, recorrer a discussões de equipes multidisciplinares, sendo então as pontuações determinadas por discussão e consenso entre os membros.

O módulo específico do SAGA consiste de um algoritmo que realiza as operações (por exemplo, para avaliação do risco) representadas pela expressão

$$R_i = \frac{\sum_{k=1}^n p_k N_k}{\sum_{k=1}^n p_k} \quad (1)$$

onde

R_i é o risco determinado para o ponto (“pixel”) i ,

p_k é o peso do tema (plano de informação) k , entre os n temas considerados, e

N_k é o valor da classe dentro do tema k que se expressa neste ponto (considerada como única em cada resolução).

Feita a operação acima descrita para todos os pontos (“pixels”) de toda a base territorial, resulta um mapeamento de classes de risco/potencial. Quando possível, o resultado da avaliação é validado por consulta a conhecedores da realidade ambiental local: áreas classificadas como sob risco de enchentes, por exemplo, podem ser confirmadas por moradores.

Outra função oferecida pelo sistema utilizado é a determinação das mudanças ao longo do tempo de expressões geográficas de fenômenos de interesse. Esta função, denominada monitoria, utiliza o mapeamento do fenômeno de interesse em duas épocas distintas e produz como resultado o mapeamento das mudanças territoriais: as áreas não afetadas antes e que depois passaram a sê-lo, as que deixaram de ser afetadas tendo sido antes, e as que continuaram na condição original. A função permite a visualização de tendências espaciais de mudança do território, muitas vezes não perceptíveis por outros meios.

3.2.2 Preparação dos mapas

Os mapas temáticos foram preparados inicialmente no *software* ArcView. Foram todos eles uniformizados na escala de 1:1.000.000, o que resulta em resolução de 50 metros por pixel para a extensão do recorte territorial escolhido como área de estudo. Nesta resolução são representáveis todas as características geográficas importantes em escala regional para a análise ambiental pretendida.

Alguns mapas são já resultado de agregações feitas nesta etapa. Este é o caso da sísmica 2D e do mapa viário.

De forma a se evitar problemas de conversão nas etapas subseqüentes, foram eliminadas as fronteiras entre domínios em todos os mapeamentos e refeita a paleta de cores original, aumentando ao máximo a distinção entre as classes mapeadas.

Os mapas temáticos preparados em ArcView foram exportados em formato '*bitmap*' para o *software* Photoshop e nele exatamente superpostos, fazendo coincidir um ponto de coordenadas escolhidas. Cada tema foi então exportado em formato *tiff*, apropriado para a edição final a ser feita em formato *raster*, já num dos módulos do Sistema SAGA, o módulo 'Criar'. Esta mudança de formato consiste na transformação de mapas codificados vetorialmente para formato matricial. Este último formato (*raster*) é utilizado pelo Sistema SAGA, e sobre ele são construídos os algoritmos de avaliação ambiental e as outras ferramentas do sistema.

Dentro do Sistema Saga os mapas foram editados em duas etapas. A primeira para correção de erros de conversão e, em alguns casos, agrupamento de classes de forma mais adequada ao propósito desta investigação. A outra manipulação feita dentro do Sistema foi a preparação dos mapas para impressão em papel e, com este objetivo, a sua exportação em formato *bitmap*.

3.2.3 Descrição dos mapas de dados

Os dados brutos provieram de duas fontes: do Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – IDEMA/RN – e da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Estes últimos se referem à situação das atividades da indústria de petróleo na área de estudo como se encontravam em 31 de outubro de 2006. A delimitação da Bacia Potiguar considerada é a mesma usada pela ANP e pelo IDEMA/RN. A divisão política da área, usada como base para um dos mapas, é a fornecida pelo IBGE.

Re-elaborados como descrito antes, os primeiros mapas estão apresentados, em anexo, como os mapas temáticos de números 1 a 6, mostrando, no recorte territorial que constitui a área de estudo, respectivamente, as classes altimétricas de 50 metros, a geologia de

superfície, a geomorfologia, a hidrografia, a infra-estrutura viária, e o uso do solo, ao qual se agrega a vegetação natural. Algumas incongruências geográficas e taxonômicas foram identificadas nos dados e mereceram correções, como a seguir brevemente detalhadas.

Os dados oriundos da ANP, após serem tratados por procedimento análogo ao anteriormente descrito, são mostrados nos mapas temáticos de números 7 a 9 e contêm, respectivamente, a posição das trilhas de levantamento de dados geofísicos por prospecção sísmica 2D, as áreas cobertas por levantamentos sísmicos 3D classificadas por ano de realização, os campos produtores de petróleo e gás natural classificados pelo número de poços dentro de seus limites.

A partir dos mapas básicos foram elaborados mapas de proximidade e outros mapas derivados que são apresentados mais adiante, por ocasião da apresentação dos resultados e sua discussão, quando também se descrevem os critérios utilizados para seu uso na metodologia.

Os mapas básicos são descritos a seguir, no que diz respeito a suas características principais e aos procedimentos a que foram submetidos como preparação para uso. São primeiramente apresentados os mapas de condições ambientais e de feições construídas da área de estudo (mapas de números 1 a 7). Em seguida são descritos e apresentados os mapas primários das atividades petrolíferas (mapas de números 8, 9 e 10), um dos quais, o das trilhas de sísmica 2D, dará origem a um mapa derivado, também descrito e apresentado posteriormente..

3.2.3.1 Mapa 1 - Classes altimétricas

O relevo homogêneo da área de estudo recomenda uma divisão em classes altimétricas mais estreitas que a de 50 metros, única disponível. Todavia os dados de topografia em curvas de nível, levantadas pela SUDENE na região e também cedidas pelo IDEMA/RN, se provaram inadequados para consecução de um mapa de maior detalhe. No mapeamento original, muitas curvas de nível são incompletas e abertas, o que inviabilizou a realização do mapa desejado.

3.2.3.2 Mapa 2 - Geomorfologia

Uma das fragilidades que podem ser apontadas no conjunto de dados utilizado é o pouco detalhamento da geomorfologia. Esta simplificação pode ser percebida considerando-se, por exemplo, o mapeamento da malha hidrográfica, o qual revela extensa dissecação do território implicando, indubitavelmente, grande número de feições geomorfológicas não mapeadas. Por outro lado, algumas classes presentes em mais de um mapeamento (áreas urbanas, por exemplo) evidenciaram pequenos erros de georreferenciamento (incongruência geográfica). Por esta razão, foram adotadas como verdadeiras as posições geográficas de um único mapa, este de geomorfologia, e foi feita a correção dos demais de acordo com ele.

3.2.3.3 Mapa 3 - Geologia

A geologia de superfície está representada neste mapa e aqui também se notam pequenas discordâncias com outros mapeamentos como o de geomorfologia e o de uso que contêm feições que deveriam ser coincidentes com as aqui mostradas. É o caso, por exemplo, das dunas que deveriam se sobrepor exatamente com as mesmas feições mostradas nos outros mapas. As discordâncias são pequenas, todavia, e não afetam de forma a invalidar os esforços desta elaboração. Este foi o mapa tomado como base para ajustes no mapa de solos, como descrito a seguir.

3.2.3.4 Mapa 4 - Uso do solo

O mapa contém, além dos usos urbano, agrícola e salineiro, a vegetação classificada segundo o porte e a fisionomia vegetal. São distinguidas as classes de Caatinga Arbórea, Arbóreo-arbustiva e Antropizada. Assinalam-se também as feições ‘duna’, ‘estuário’ e ‘manguezal’. Infelizmente não estão mapeados os carnaubais, associação vegetal incluída como sub-classe na Estepe Parque na classificação de maior aceitação (Velloso et al., 1991), e considerada uma das mais ameaçadas e que por isso mereceu proteção legal específica, com a elevação da carnaubeira ao status de espécie imune ao corte.

3.2.3.5 Mapa 5 - Solos

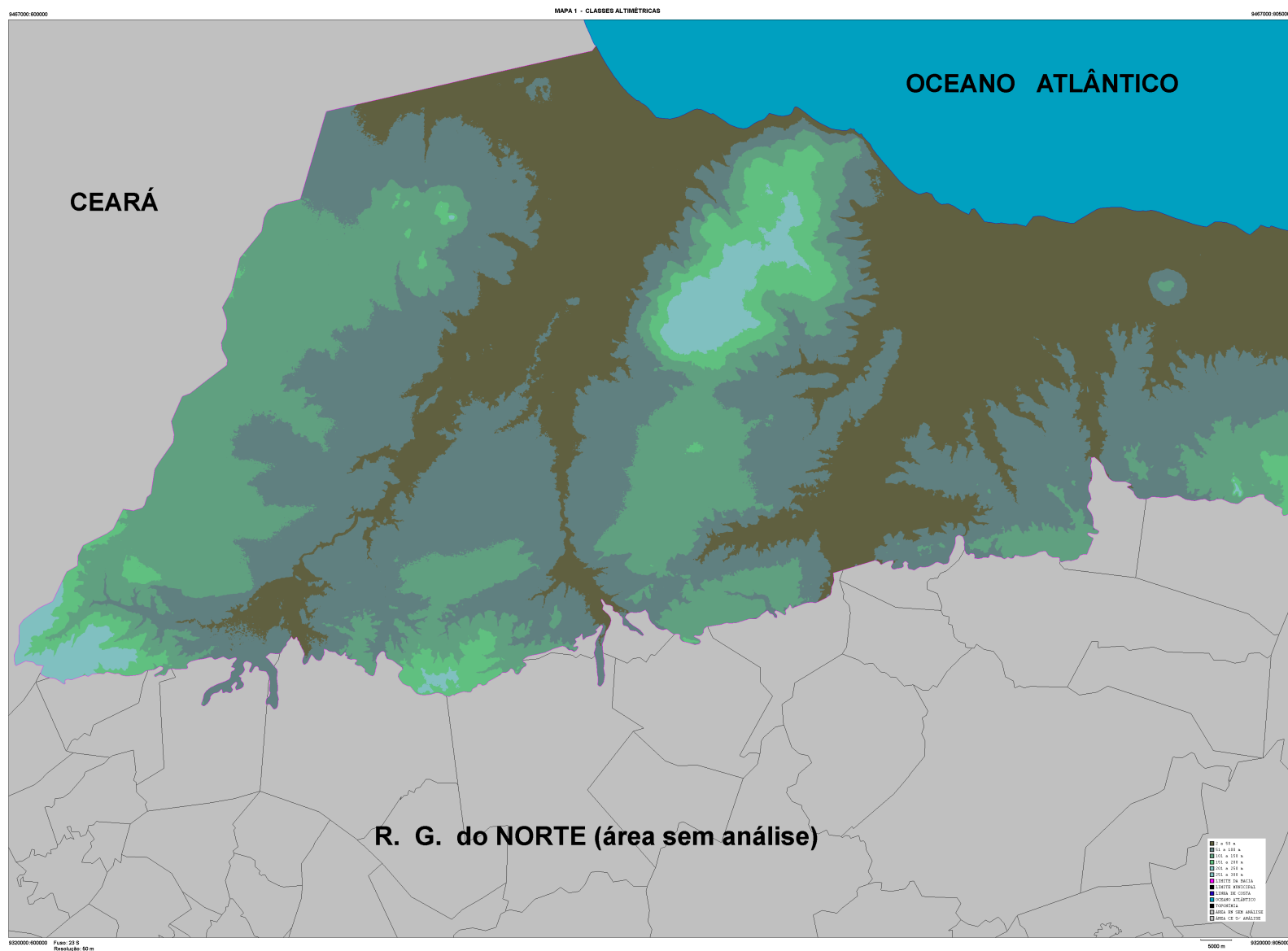
Na ausência de dados em escala de maior definição e de mapeamento em formato digital, fez-se um esforço de agregar à base de dados um mapa de solos a partir da única fonte disponível: o mapeamento do Projeto RADAM Brasil. O ‘Mapa Exploratório de Solos’ referido às folhas SB.24/25 (Jaguaribe/Natal), produzido pelo Projeto na escala de 1:1.000.000, foi adquirido digitalmente por meio de *scanner* e ajustado aos mapas disponíveis, fazendo coincidir feições características presentes nele com as contidas nos mapas de outros temas. Após o ajuste, as classes de solos foram manualmente digitalizadas usando o módulo ‘Criar’ do SAGA/UFRJ. Posteriormente foram corrigidas as discrepâncias com os dados antes mapeados, principalmente os do mapa de geologia, tomando a estes como preponderantes, dada sua escala original mais detalhada (1:250.000).

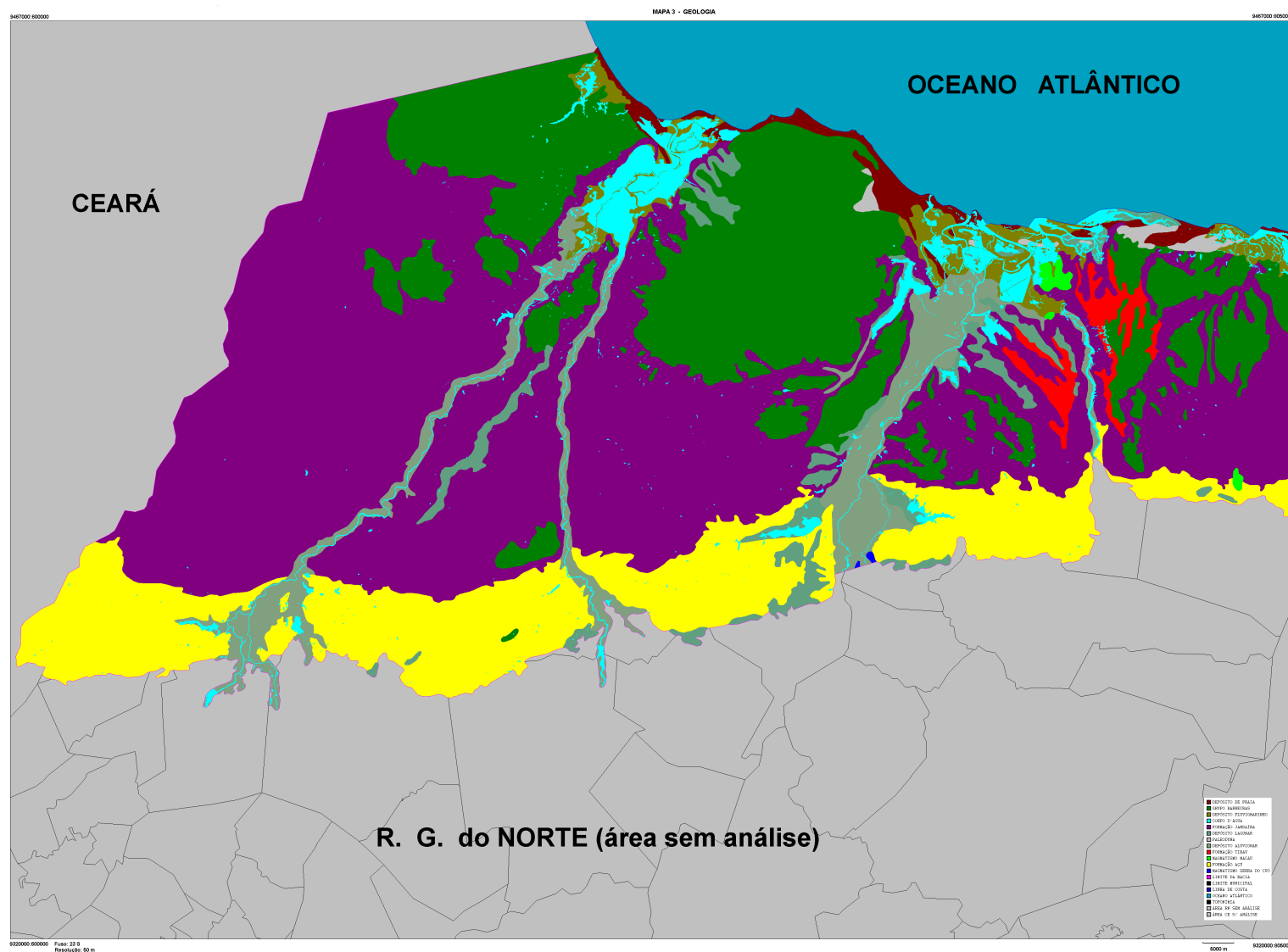
3.2.3.6 Mapa 6 - Infra-estrutura viária

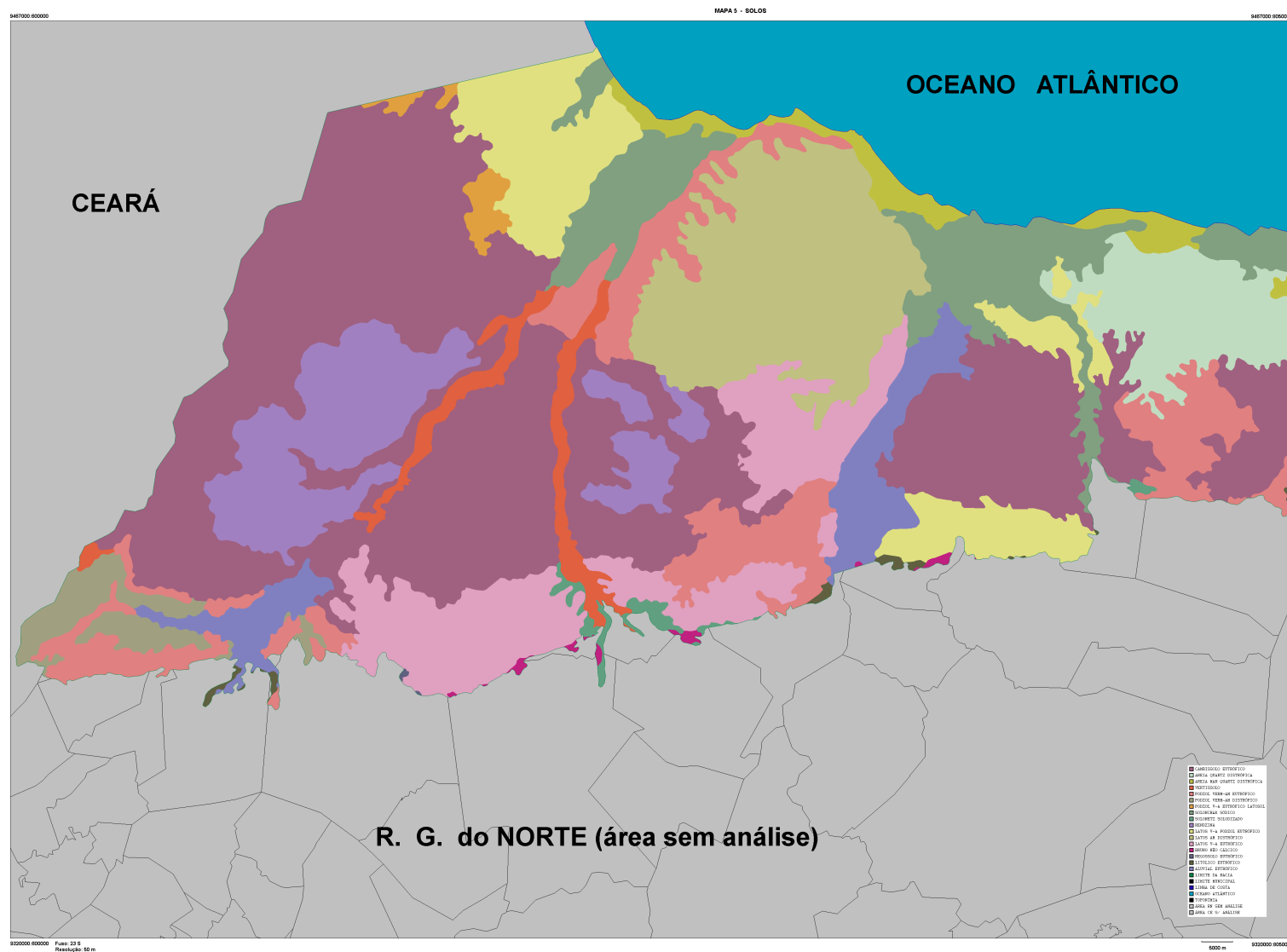
Foram feitas correções de erros evidentes no traçado das vias mapeadas, principalmente de algumas interrupções. Na verdade, o mapeamento disponível é de qualidade precária e não contém a maioria das estradas vicinais e dos acessos carroçáveis a propriedades rurais, também importantes para os objetivos pretendidos.

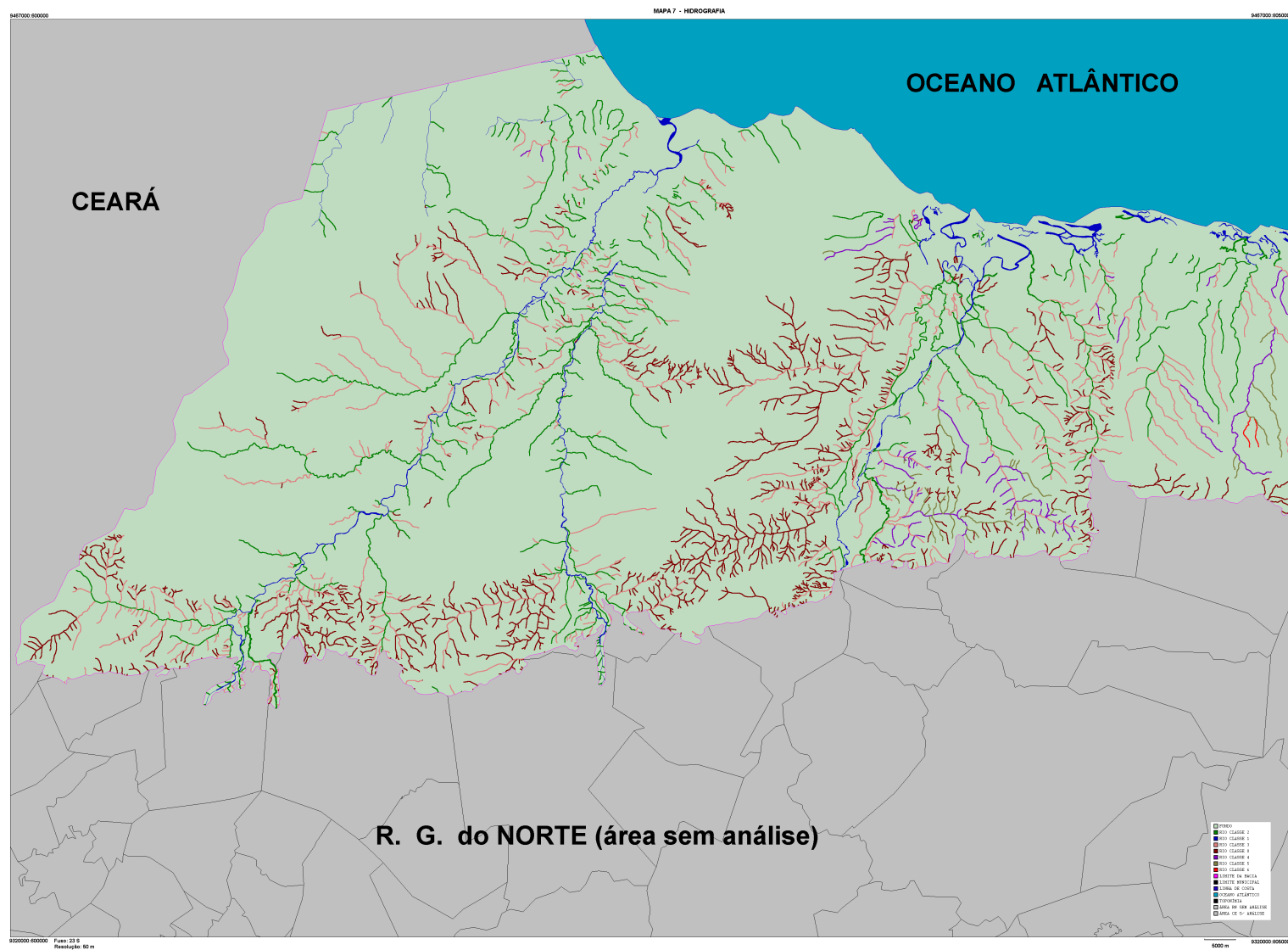
3.2.3.7 Mapa 7 - Malha hidrográfica

O curso dos rios perenes, contido neste mapa, foi tomado como base para correção do traçado contido em outros mapas, como os de geomorfologia e o de corpos d’água. Correções menores foram efetuadas quando detectados erros evidentes e incongruências. As indefinições de traçado, evidentes na área de estuários, não puderam todavia ser resolvidas. No entanto, tal fato não representa grande prejuízo para os objetivos do estudo por serem estas áreas ocupadas quase integralmente por salinas (classificação que engloba certamente as áreas de carcinicultura).









3.2.3.8 Mapa 8 – Sísmica 2D

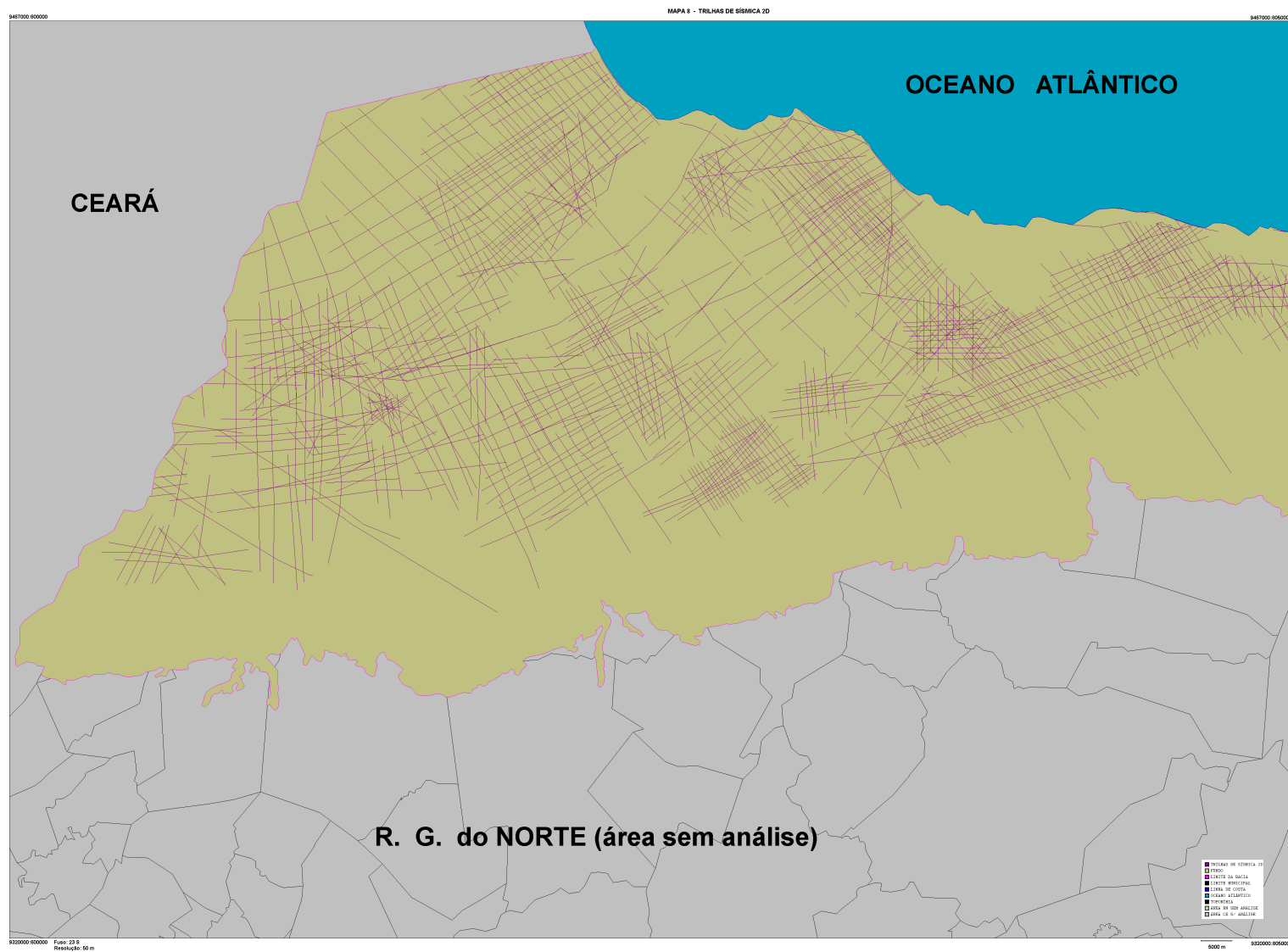
As trilhas de sísmica 2D abertas na área de estudo, do início do esforço exploratório até o presente, são mapeadas sem nenhuma classificação.

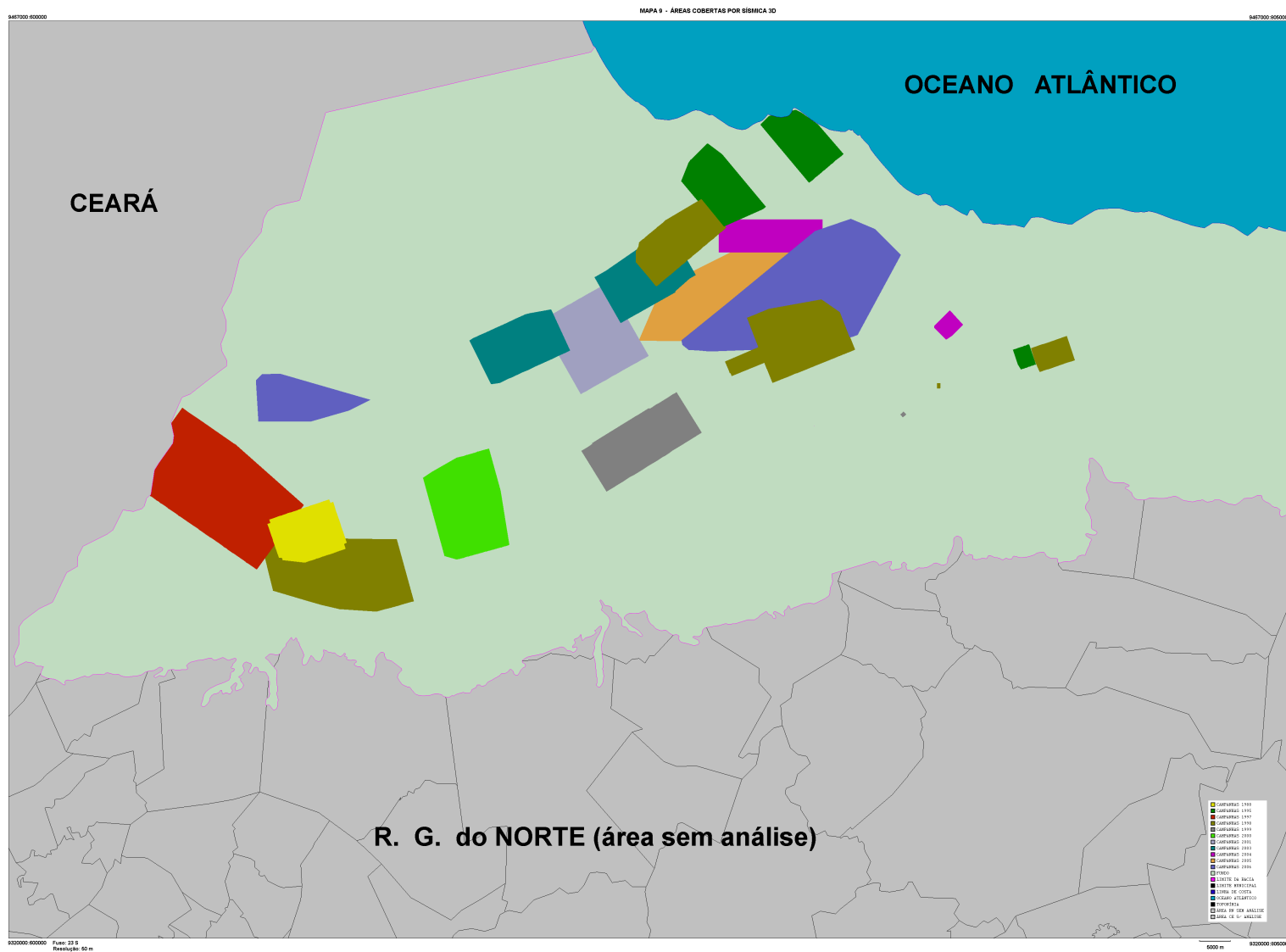
3.2.3.9 Mapa 9 – Áreas cobertas por sísmica 3D

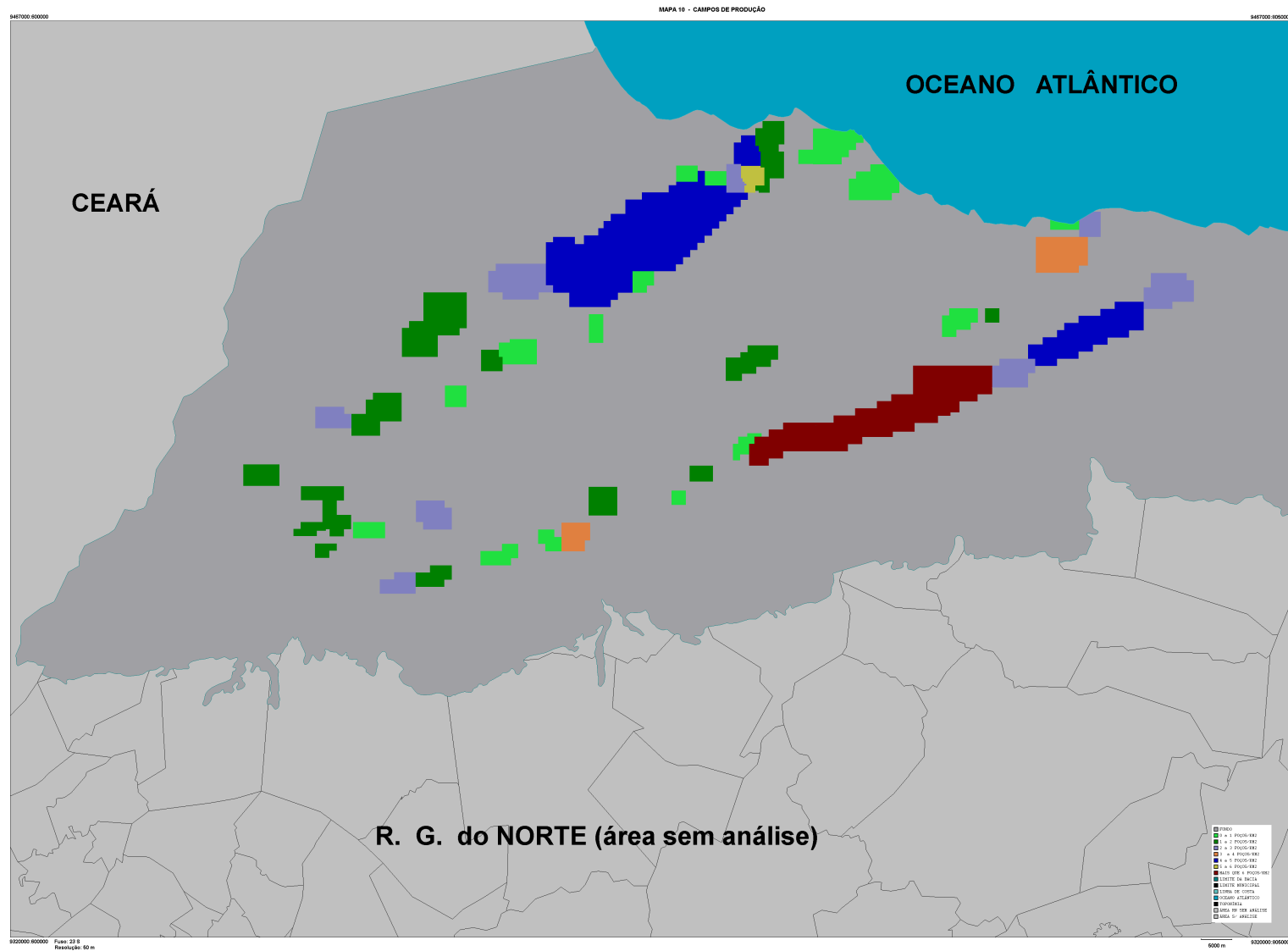
A campanha de aquisição sísmica 3D mais antiga realizada na área de estudo é de 1988 e uma fração considerável do território da Bacia Potiguar já foi coberta por esta atividade. A menos que sejam detectadas limitações técnicas na utilização dos dados das campanhas já realizadas ou que avanços tecnológicos significativos se verifiquem na área de aquisição sísmica, é pouco provável que as áreas já cobertas por levantamentos 3D o sejam novamente. Somente nas áreas dos campos de produção pode-se esperar, em alguns casos, que haja realizações repetidas da atividade (sísmica 4D). Desta forma, as áreas cobertas por estes levantamentos são, ao mesmo tempo, as que sofreram o impacto da atividade e as que estão livres do risco deste impacto no futuro. Os levantamentos foram classificados por data de realização.

3.2.3.10 Mapa 10 - Campos de produção

Os campos de produção são classificados por densidade de poços (número de poços por quilômetro quadrado). A escolha desta classificação se baseia no fato de que esta variável se correlaciona diretamente com a densidade de vias de acesso e de linhas de coleta da produção, entidades das quais não se tem mapeamento.







3.3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL

A discriminação de níveis diferentes de risco, impacto ou de potenciais de uso do território repousa sobre a determinação de conjunções de fatores naturais e circunstâncias de usos antrópicos, ambos os aspectos referenciados geograficamente. Os fatores naturais estão associados a características que se traduzem em “vulnerabilidade natural”, isto é, em intensidades de susceptibilidade a mudança pela ação antrópica ou até mesmo, em alguns casos, por forçantes naturais (Souto & Amaro, 2005; Tagliani, 2002). Assim, por exemplo, a declividade, o tipo de cobertura vegetal, o tipo de solo, etc. produzem ambientes mais ou menos favoráveis à instalação de processos erosivos e suas conseqüências ambientais, susceptibilidade esta que àqueles fatores pode ser relacionada.

A dita “vulnerabilidade natural” é característica contrária à resiliência dos ecossistemas. Ao passo que esta última traduz a capacidade dos sistemas naturais de resistir a impactos ou recuperar-se de danos, aquela diz respeito à propensão a mudança ou degradação permanente do ambiente, seguida de perda das funções de homeostasia dos ecossistemas e da produção dos serviços ambientais. É uma propriedade dos sistemas naturais que deriva de vários componentes que os individualizam: morfologia, geologia e associações biológicas. Esses componentes condicionam os aspectos de fragilidade estrutural intrínseca, derivados de materiais, formas e processos físicos que ocorrem no ambiente. Entre eles conta-se também a complexidade dos ecossistemas, em geral traduzida pelo número de relações tróficas que se verificam em cada tipo de fitofisionomia, por exemplo. Nesta acepção a “vulnerabilidade” seria uma propriedade intrínseca de cada tipo de ecossistema, podendo ser utilizada como medida de susceptibilidade a qualquer agente de impacto.

Outra forma, esta mais operacional e restrita, de utilizar os aspectos naturais que se expressam no território como contribuintes para determinado fenômeno consiste em considerar as relações causais específicas entre as condições naturais e o resultado considerado. Assim procedendo, exime-se da utilização do conceito antes enunciado, por alguns considerado de demasiada abstração e pouca robustez. No caso específico isto se traduz, por exemplo, em ordenar as classes de solo em termos de favorecimento do impacto

sobre a vegetação considerando, portanto, aspectos como potencialidade agrícola, capacidade de retenção de umidade, profundidade dos horizontes e de enraizamento, etc..

Como fatores de impacto sobre a vegetação, os usos antrópicos do território, por sua vez, apresentam severidade e raio de ação específicos, no que diz respeito às mudanças ambientais que provocam.

As relações causais entre os riscos à integridade da cobertura vegetal e as condições naturais e antrópicas verificadas no território pode ser sumarizadas em um modelo ambiental, como mostrado a seguir (Figura 16).

Para elaborar a presente avaliação, procedeu-se em duas etapas. Numa primeira, cruzaram-se os temas referentes às condições naturais, obtendo-se um mapa de ‘vulnerabilidade natural’. Da mesma forma, compondo-se os temas que descrevem os fatores de impacto que resultam da intervenção antrópica no território, obteve-se outro mapa que sumariza os fatores de impacto em níveis discretos. A conjugação destes dois mapeamentos resultará em um terceiro resultado, de severidade de impacto sobre a vegetação.

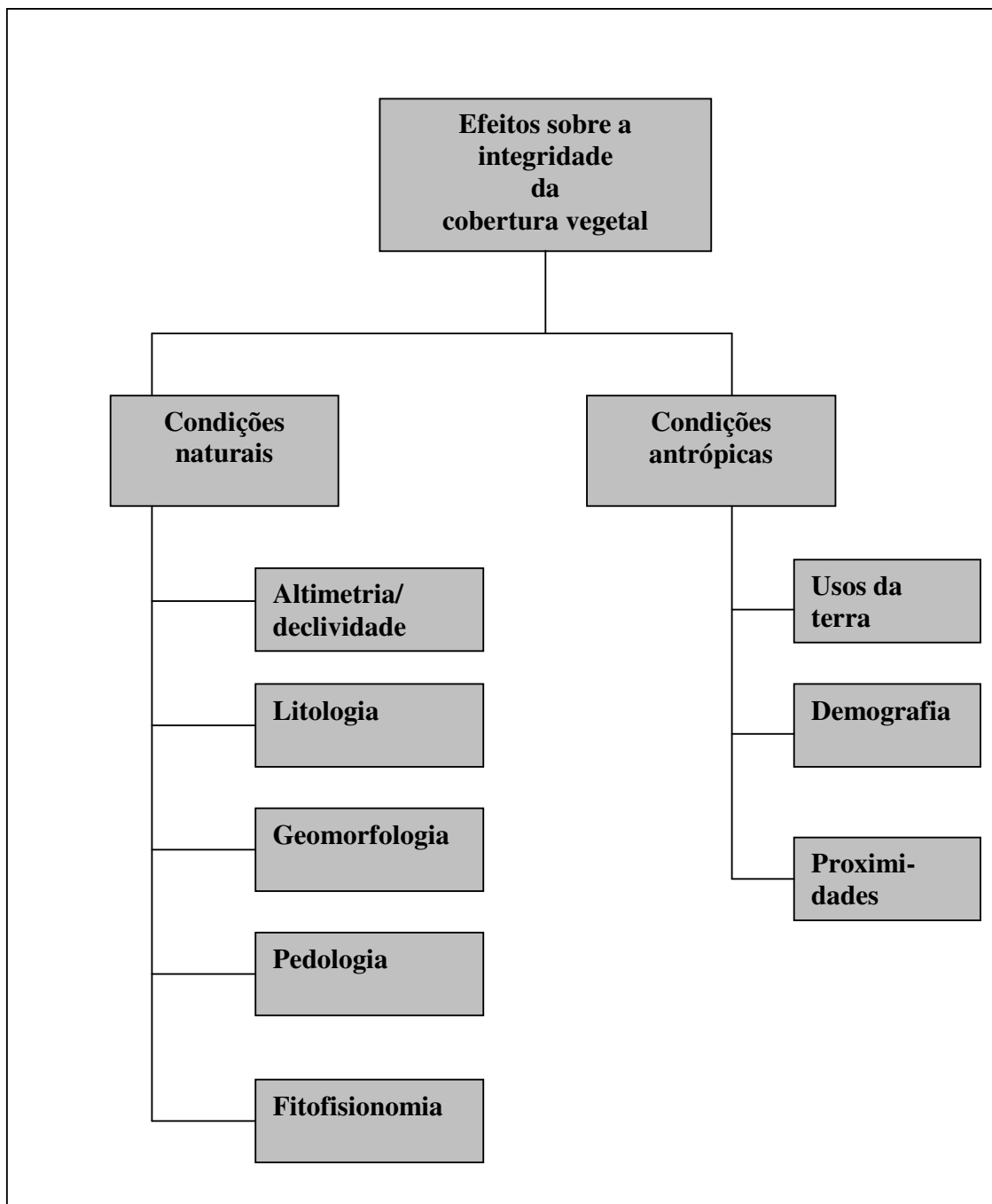


Figura 16. Modelo ambiental do impacto sobre a vegetação

Como anteriormente dito, o algoritmo utilizado pelo módulo de avaliação ambiental do SAGA/UFRJ calcula, para cada ponto da região analisada, um determinado nível de risco ou impacto.

Pode-se obter uma estimativa da sensibilidade do método às distorções de percepção que se traduzem na atribuição de notas e pesos impróprios aos temas e classes respectivamente a partir da equação (1). Por derivação tem-se:

$$\frac{\partial R_i}{\partial p_m} = \frac{N_m \sum p_k - \sum p_k N_k}{(p_m + \sum p_k)^2}, \quad \forall k \neq m \quad (2)$$

e também

$$\frac{\partial R_i}{\partial N_m} = \frac{p_m}{(p_m + \sum p_k)}, \quad \forall k \neq m \quad (3)$$

Ou seja, o valor da qualidade avaliada no ponto i é afetado de maneira proporcional à nota N do tema em relação às variações no peso da classe m que aí se expressa. O raciocínio é análogo, *mutatis mutandis*, para as variações com a nota do tema. O resultado nos leva a afirmar que a sensibilidade às falhas de avaliação da importância dos fatores (classes e temas) se expressam de forma heterogênea na área sob avaliação. A equação (2) nos permite também afirmar que a sensibilidade aos erros de avaliação dos pesos atribuídos às classes decresce com o número de temas incluídos na avaliação.

3.4 RELAÇÃO DOS MATERIAIS USADOS

3.4.1. Campo

- a. Câmara fotográfica digital Olympus de 3.3 megapixels

3.4.2. *Hardware*

- b. Microcomputador Dell cm microprocessador Intel Pentium 4, 264 Mb RAM
- c. Impressora HP 2300

3.4.3. *Software*

- d. ArcGIS v.3, fabricante ESRI
- e. Adobe Photoshop, fabric. Adobe Systems Inc.
- f. VistaSaga 2006, fabric. LAGEOP/IGEO/CCMN/UFRJ

3.4.4 Documentos cartográficos

- g. Altimetria, Classes de 50 m (IDEMA/RN, 2006)
- h. Geologia (IDEMA/RN, 2006)
- i. Geomorfologia (IDEMA/RN, 2006)
- j. Hidrografia (IDEMA/RN, 2006)
- k. Limites Municipais (IBGE)
- l. Mapa viário (IDEMA/RN, 2006)
- m. Áreas cobertas por sísmica 3D (ANP, 2006)
- n. Trilhas de sísmica 2D (ANP. 2006)
- o. Campos de produção (ANP, 2006)
- p. Uso do solo (IDEMA/RN, 2006)
- q. Mapa exploratório de solos (MME, Proj. RadamBrasil, 1981)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os temas considerados na análise foram por serem determinantes das condições em que se encontra a cobertura de vegetação natural. A seguir são feitas algumas análises relacionadas a cada um dos mapas considerados. São também comentadas as bases de julgamento para sua ponderação na análise, determinante de sua influência no resultado.

A atribuição das notas e pesos é, logicamente, o passo determinante para a qualidade do resultado da análise. É o conhecimento da verdade ambiental, representada pelas inter-relações entre fatores e componentes que se expressam no território, que resultará em um mapeamento de valia para a gestão. O julgamento dos pesos relativos das categorias (e, dentro delas, da importância de cada classe) deve levar em conta o seu número, mesmo que a avaliação se divida em mais de uma etapa, como é aqui o caso.

O SAGA/UFRJ tem previsão de determinação de notas e pesos pelo concurso de especialistas, tantos quantos se julgue necessário, por meio do método Delphi. O programa tem embutidas as funções de tratamento dos dados de consulta. O ideal é que sejam envolvidos especialistas que conheçam a área de estudo e sua dinâmica em relação aos aspectos estudados. Outros critérios devem também ser considerados, como até mesmo a qualidade dos dados disponíveis.

Considerando, todavia, o escopo planejado para este trabalho e as limitações de tempo para sua execução, a atribuição de pesos e notas foi feita de forma imperfeita e solitária e se constitui, portanto, em fragilidade evidente (ainda que inevitável nas circunstâncias) e é apontada como um dos aspectos a se considerar para melhoria dos resultados.

Para a avaliação aqui elaborada foram dados pesos aos temas e atribuídas notas às classes dentro de cada tema. Como é mostrado a seguir, discute-se a pontuação dos temas que constituem os mapas de dados (mapas básicos e de atividades petrolíferas, apresentados antes, na seção que descreve os dados utilizados) apresentados em item anterior, e outros que são mapas derivados, cuja construção também é comentada aqui. Ao final desta discussão, são apresentados os mapas derivados.

4.1 MAPAS BÁSICOS

4.1.1 Mapa 1 - Classes altimétricas

O uso deste mapa se deveu à impossibilidade de derivação de um mapa de declividade, que é, na verdade a variável determinante da susceptibilidade do terreno à perda de nutrientes, à erosão e à não retenção de água, fenômenos emergentes após perturbações antrópicas e que têm reflexos negativos sobre a cobertura vegetal. No entanto, pode-se indicar uma pontuação que revele a ordem de declividades existente na área de estudo, observando a extensão coberta por cada uma das classes altimétricas e a distância relativa entre as linhas que as delimitam. Há que se considerar também o efeito da altitude sobre a temperatura ambiente que, mesmo sendo modestas as variações na área de estudo, exercerá algum efeito sobre a vegetação. O uso de um mapeamento de declividade permitiria a distinção de condições como as que se verificam entre as faces nordeste e sudoeste da Serra do Cajueiro. O peso do tema foi rebaixado pela forma grosseira com que o mapa foi incluído na análise.

4.1.2 Mapa 2 - Geomorfologia

Também neste mapa, como indicado antes, falta a necessária resolução das feições geomorfológicas, mesmo para a escala considerada no estudo. A feição ‘tabuleiro pediplanado’, que ocupa a maior parte da área de estudo, tem, como é usual neste tipo de planura, os relevos residuais, mais ou menos desgastados, e as ondulações produzidas pela dissecação. Ao primeiro tipo pertence seguramente a Serra do Cajueiro. O segundo tipo pode ser intuído pela observação da rede de drenagem evidenciada no mapa da hidrografia, antes descrito. Foi a consideração destes aspectos que evidenciam os processos de aplainamento, bem como dos processos de colmatagem das planícies existentes na área, estes ocorrendo em ambiente de mais alto nível de energia, que orientaram a atribuição de notas às classes do mapeamento.

4.1.3 Mapa 3 - Geologia

As classes foram ordenadas com notas crescentes em função da instabilidade estrutural e da indisponibilidade de nutrientes na matriz rochosa. Considerando a escala do mapeamento, o tema está satisfatoriamente detalhado. A consideração deste fato contribuiu para aumentar o peso do tema na avaliação.

4.1.5 Mapa 5 - Solos

Os solos foram notados em ordem inversa de sua contribuição à resistência e à resiliência da cobertura vegetal que suportam, seja ela qual for, e, para isso, considerando sua capacidade de reter umidade, sua capacidade de troca iônica, seu teor de nutrientes assimiláveis bem como sua adequação ao enraizamento profundo. O baixo nível destas capacidades torna menor a resistência e a resiliência dos sistemas vegetais em relação às interferências antrópicas ou às mudanças naturais.

Procurou-se também associar, ainda que de forma mais fracamente correlacionada, a vulnerabilidade da cobertura com a potencialidade agrícola do seu substrato edáfico. Considerou-se tênue esta relação pelo fato de que a atividade agrícola na região é determinada principalmente pela disponibilidade de água e não pela adequação do solo. Não se esqueceu, no entanto, do cultivo sazonal de pequenas parcelas em atividade de subsistência, que procura os solos mais adequados.

4.1.6 Mapa 11 – Vegetação

Derivado do mapa básico de uso do solo (Mapa 4), este mapa foi elaborado para permitir a individualização de fragmentos importantes que remanescem da cobertura nativa e dividir a classe da ‘Caatinga Antropizada’ em áreas que a metodologia possa distinguir por características diferenciais (níveis de impacto diferentes).

A classe de vegetação ‘Caatinga Arbórea’ é a mais fragmentada e a que sofreu a maior erradicação na área de estudo, sem dúvida por ocupar os solos mais férteis e menos secos. Os fragmentos mapeados, em número de 55, são, na sua totalidade, de área pouco significativa em termos de conservação, até dez quilômetros quadrados. Foram

identificados, na área de estudo, onze fragmentos deste tipo de vegetação com área maior que vinte quilômetros quadrados, dispersos amplamente sobre o território. O mais significativo deles, com cerca de 520 km², está situado no entorno do grande assentamento estabelecido no município de Serra do Mel, área esta cuja vegetação foi em grande parte convertida em plantações de caju, no local conhecido como Serra do Cajueiro, que é, como antes já dito, o ponto mais alto da topografia regional. Estes fragmentos são, pois, os mais significativos em termos de conservação. Entre os dois grupos de fragmentos situa-se um único de tamanho intermediário, com 13,5 quilômetros quadrados de área.

A Caatinga Antropizada foi dividida em cinco áreas distintas. A primeira delas, a Oeste, se distingue por se constituir da rampa de colúvio da Chapada do Araripe e por circunscrever o único remanescente significativo de ‘Caatinga Arbóreo-arbustiva’ da região sedimentar, a não ser por alguns outros, já na transição para o cristalino, ao Sul. A segunda e terceira áreas de Caatinga Antropizada que foram individualizadas formam o grande interflúvio entre os rios Apodi e Piranhas/Açu. Uma ao Norte, caracterizada pelo único alteamento do relevo da região – a já citada Serra do Cajueiro – e dominada pelo maior remanescente de Caatinga Arbórea da área de estudo, parcialmente convertido em cultura permanente, e a outra formada pela planície ao Sul, sobreposta às formações geológicas Jandaíra e Açu.

A quarta partição de Caatinga Antropizada delimita-se pelo vale do Açu a Oeste e pelo vale do Rio Cabuji, a Leste, ambos já bastante alterados pela agricultura irrigada. A última área considerada, a mais oriental, como a anterior, se sobrepõe a uma geologia mais diversificada e tem poucos remanescentes importantes de vegetação nativa.

O mapeamento disponível da cobertura vegetal ainda não contém alguns aspectos muito importantes para a análise pretendida, em especial as áreas cobertas por remanescentes dos bosques de carnaubeiras. Os remanescentes de vegetação de maior complexidade ecossistêmica, principalmente de Caatinga Arbórea, são esparsos e de tamanhos modestos, exceto o que se estende sobre a Serra do Cajueiro.

Como já dito anteriormente, a área de estudo foi dividida em cinco sub-regiões, como mostrado no Mapa 8, para efeito de avaliação e referência. Os fragmentos de Caatinga Arbórea estão distribuídos entre estas sub-regiões, sendo onze deles de área maior que 20

km² (2.000 ha). Efetuando-se a assinatura do mapa de vegetação, observa-se que 47,6 % da área coberta por Caatinga Arbórea se encontra sobre latossolo amarelo distrófico e 23,5 % sobre cambissolo eutrófico. Observa-se também que 59 % está sobre a Formação Barreira e 23 % sobre a Formação Jandaíra. Nota-se, como esperado, a redundância de correlação, dado que parte das características pedológicas dependerão da matriz litológica.

A classe de vegetação “Caatinga Arbóreo-arbustiva” se concentra sobre rendzinas (50 %) e também sobre cambissolos eutróficos (25,4 %) e latossolos vermelhos-amarelos eutróficos (15,7 %). A correspondência com a geologia se dá em 75,6 % com a Formação Jandaíra (matriz das rendzinas) e em 18,2 % com a Formação Açú, possivelmente colmatada por algum aporte de substrato.

Estas duas classes são as formações vegetais que, juntamente com os manguezais, compõem os ecossistemas mais complexos da área de estudo. Deve-se apontar que algumas das unidades geomorfológicas da área de estudo, em especial os estuários e as planícies fluviomarinhas, foram completamente ocupadas por atividades antrópicas (salinas e carcinicultura), não havendo atualmente mais que pequenos remanescentes delas e, em consequência, da vegetação associada às margens dos primeiros e em parte das segundas.

A extrema relevância da própria natureza da fitofisionomia para a manutenção da integridade da cobertura vegetal indica uma ponderação acentuada deste tema e o ordenamento das classes de acordo com a sua complexidade ecológica e conseqüente susceptibilidade a mudanças. Este mapa é apresentado a seguir.

4.2 MAPAS DAS ATIVIDADES PETROLÍFERAS

A importância relativa das atividades de levantamento de dados geofísicos e produção de óleo e gás se reflete na pontuação dos temas respectivos, definida segundo critérios a seguir comentados.

4.2.2 Mapa 9 – Áreas cobertas por sísmica 3D

As campanhas de levantamentos 3D começaram a se realizar há alguns anos e se prolongam até o presente. Ao lado das atividades de produção com malhas de drenagem densas, esta é a atividade da indústria do petróleo que mais interfere na cobertura vegetal, exigindo a supressão de 4 a 10 % da cobertura vegetal para abertura de trilhas equidistantes de 50 metros ou menos. Os efeitos da produção são, todavia, mais significativos devido ao fato de que a infraestrutura de produção deve ser mantida por toda a vida produtiva dos campos, tornando impossível a recuperação. Desta forma, a ponderação dos fatores deverá refletir estas diferenças.

4.2.3 Mapa 10 – Campos de produção

A supressão direta de vegetação para locação de poços e para as respectivas linhas de coleta e vias acesso aumenta com a densidade de poços dos campos de produção. O aumento do número de poços nos campos significa também, a partir de certo limite, a presença de estações de coleta e tratamento e outras instalações. Por esta razão as classes de campos com menores densidades de poços deverão ter notas bem inferiores às classes de malha de drenagem mais densa.

4.3 MAPAS DERIVADOS

Alguns mapas foram construídos a partir dos dados originais de forma a permitir a consideração de dados disponíveis que não se prestam ao uso imediato na metodologia. Entre eles, merece especial destaque como fator de impacto sobre a vegetação a intensidade da atividade pastoril.

Por outro lado, a proximidade de feições pode significar contribuição mais ou menos significativa para o fenômeno que se avalia. No caso do presente estudo, as interferências antrópicas sobre a condição de integridade da cobertura vegetal está associada à proximidade de alguns recursos e de algumas feições construídas.

A seguir são descritos os procedimentos de manipulação que resultaram nesses dois tipos de mapas derivados e os respectivos critérios de atribuição de notas e pesos. Os mapas são inseridos após a discussão.

4.3.1 Mapa 12 – Densidade de sísmica 2D

A totalidade dos levantamentos 2D na Bacia Potiguar foi realizada até o início dos anos de 1990. Desta forma, ainda que os padrões de abertura de trilhas tenham sido os mais impactantes, com corte raso e indiscriminado da vegetação e raspagem do solo superficial, a regeneração da vegetação nas áreas afetadas se encontra em estágio razoavelmente avançado. Todavia, alguns efeitos ainda persistem, principalmente a ausência de árvores de maior porte, consideradas as condições climáticas da região. Por esta razão, decidiu-se por considerar estes mapeamentos na análise. Para isso, à área de estudo foi superposta uma retícula de 20 x 20 km e as quadrículas numeradas, como mostrado na figura 17, a seguir.

Em cada quadrícula foi calculada a densidade de traçados de sísmica 2D, usando o módulo “Assinatura” do SAGA/UFRJ. Note-se que esta densidade não é real, uma vez que as trilhas sísmicas têm largura de somente alguns metros e a representação delas se faz por *pixels* de 50 metros, que é a resolução adotada no estudo. No entanto, como se deseja tão somente a classificação das quadrículas, o método é suficiente e adequado para estabelecer as densidades relativas de trilhas e, por conseguinte, de intensidade de impacto da atividade sobre a cobertura vegetal. Desta forma, a percentagem da área da bacia em cada quadrícula coberta por *pixels* que representam trilhas sísmicas é dada na tabela a seguir.

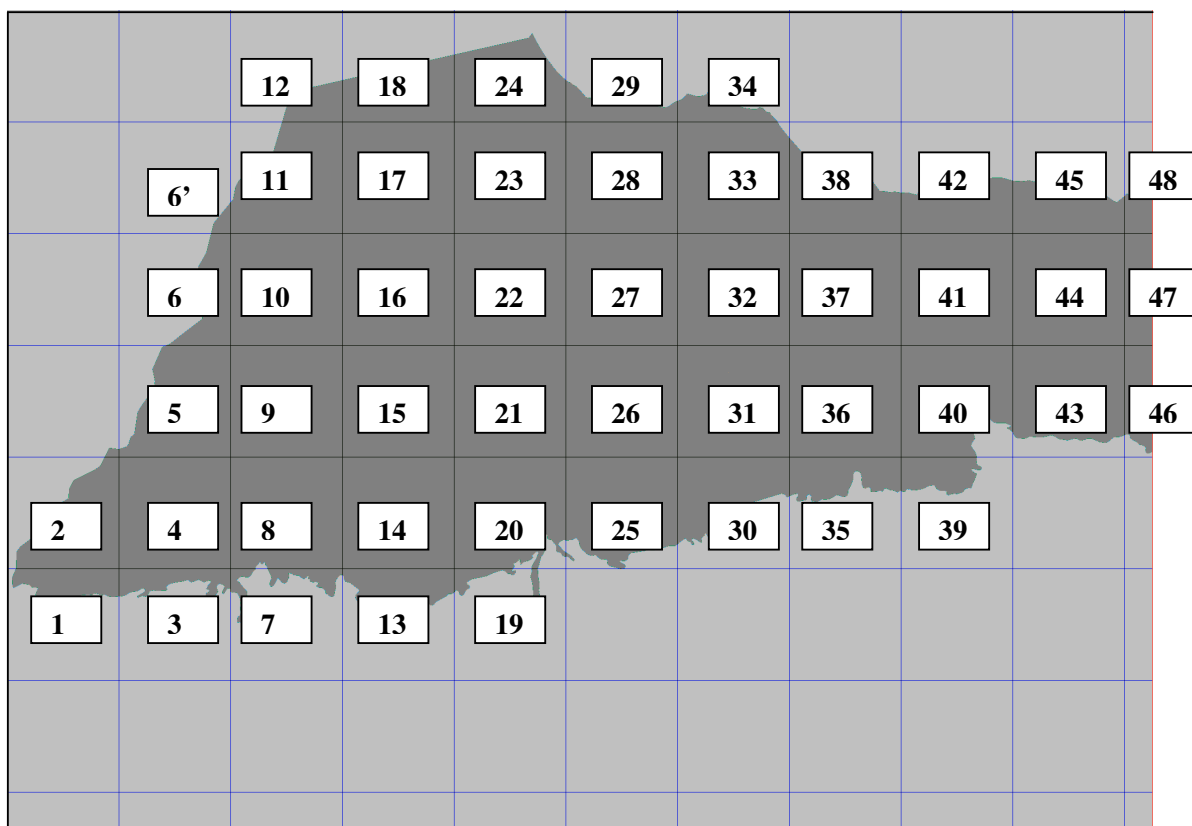


Figura 17. Divisão da área de estudo para cálculo de densidade de trilhas sísmicas 2D

Quadrícula	% área	Quadrícula	% área	Quadrícula	% área	Quadrícula	% área
1	0	13	0	26	5,57	39	0
2	0,44	14	0,38	27	3,66	40	0,75
3	0	15	4,41	28	3,26	41	5,90
4	1,59	16	5,16	29	2,09	42	2,44
5	3,15	17	4,27	30	0	43	0,19
6	2,65	18	2,76	31	3,28	44	5,00
6'	1,14	19	0	32	2,77	45	7,37
7	0	20	0,39	33	7,46	46	0
8	0,82	21	4,61	34	5,01	47	4,45
9	5,79	22	4,57	35	0	48	1,53
10	6,64	23	5,17	36	2,92		
11	1,46	24	6,10	37	8,34		
12	1,56	25	0,10	38	3,14		

Tabela II - Percentagem da área das quadrículas representadas na Figura 5 coberta por representação de trilhas de sísmica 2D.

Em primeiro lugar, considerou-se que os levantamentos de sísmica 2D, ainda que efetuados segundo procedimentos muito impactantes, são já muito antigos e, a menos da pequena fração das trilhas que tenham sido convertidas em estradas, devem apresentar razoável recuperação. Diferentemente de áreas conservadas ou prístinas, como é o caso de muitas partes da floresta equatorial amazônica, o uso da trilhas de sísmica como via de penetração não tem muita importância aqui. Por isso, o baixo peso atribuído a esta categoria. O procedimento estatístico usado para representar a probabilidade de impacto sobre a vegetação decorrente da densidade de trilhas em parcelas do território permitiu a classificação destas parcelas, e às classes se atribuíram notas proporcionais à densidade.

4.3.2 Mapa 13 - Densidade de pastoreio

Para elaboração deste mapa foram considerados os dados do IBGE referentes a 2004, totalizando os rebanhos de criação não confinada de bovinos, caprinos, eqüinos, muares, asininos e ovinos.

Município	Densidade (rês/km ²)	Município	Densidade (rês/km ²)	Município	Densidade (rês/km ²)
Açu	24,9	Carnaubais	17,8	Paraú	16,8
A. Bezerra	25,6	Felipe Guerra	87,6	P. Avelino	55,7
A. Rodrigues	43,6	Galinhos	3,6	Pendências	37,7
Angicos	35,0	Grossos	39,3	P. do Mangue	5,2
Apodi	41,5	Guamaré	44,3	D. S. Rosado	38,6
Areia Branca	25,8	Ipanguaçu	44,4	Sev. Melo	94,7
A. Severo	16,0	Itau	107,4	Serra do Mel	6,5
Baraúna	41,4	Jandaíra	16,1	Tibau	41,1
Caraúbas	32,6	Macau	12,0	Upanema	29,2
Lages	66,7	Mossoró	30,9		

Tabela III – Densidade de pastoreio nos municípios (calculado de IBGE, 2004)

A densidade de pastoreio se correlaciona certamente com a pressão sobre a cobertura vegetal exercida pela atividade pecuária. A estimativa deste efeito por outras variáveis, como a população rural ou a produção agropecuária, seria afetada por vieses, dada a agregação de fatores contida nos dados. A tabela sumariza os valores de densidade de pastoreio para os 29 municípios que contribuem, total ou parcialmente, para a formação da área de estudo. Considerou-se a categoria como uma das mais significativas para as condições da cobertura vegetal, tanto por efeito de herbivoria como por efeito das atividades humanas subsidiárias.

4.3.3 Proximidade de vias

Os efeitos de estradas sobre a integridade dos ecossistemas, como já discutido antes, pode ser considerado de vários pontos de vista e podem alcançar distâncias consideráveis, de até 14 km, segundo alguns autores (Santos & Tabarelli, 2005), dependendo do número de componentes que se leve em conta. Assim é, por exemplo, para os efeitos de longo prazo sobre a biodiversidade da fauna, em virtude principalmente do isolamento de populações mas também de fatores subalternos como o atropelamento e a introdução de espécies exóticas.

As estradas e vias de acesso de várias naturezas interferem com a cobertura vegetal de muitas formas e com graus diversos de severidade dependendo da escala de tempo considerada. Desta forma, a mudança do uso do solo nas margens de estradas é processo em geral de longo prazo e também sujeito a outras variáveis como a disponibilidade hídrica, o aumento populacional e a existência de recursos naturais exploráveis.

O que se nota na área de estudo é que a abertura de estradas causa, de início, o desmatamento da faixa contígua para exploração de lenha e estabelecimento de residências rurais, pequenos aglomerados vilarinhos e estabelecimentos comerciais que não atingem distâncias maiores que um quilômetro, em geral. As interferências sobre a cobertura vegetal primitiva prosseguem com a gradativa abertura de estradas vicinais levando território adentro as ações de ocupação e principalmente o desmatamento.

Há, na área de estudo, uma diferença acentuada entre estradas pavimentadas e não pavimentadas quanto à trafegabilidade durante a estação chuvosa. Este fato acentua sobremodo os dois tipos de vias quanto aos efeitos específicos.

Para a realização das avaliações neste trabalho está sendo considerada uma proximidade de estradas pavimentadas em dois níveis: até um quilômetro e entre um e dois quilômetros. Para as estradas não pavimentadas e para o trecho de ferrovia que corta a região uma proximidade única de um quilômetro foi construída.

As estradas são seguramente, entre as interferências humanas usuais, as mais severas sobre os recursos vivos e, como tal, reconhecidas por muitos autores, com antes já comentado. Por esta razão a proximidade desta feição é o lugar onde se inicia a ocupação do território e a conversão do ambiente natural em pastagens e plantações. É aí também onde ocorrem os incêndios florestais. É portanto a proximidade com maior peso para os processos de descaracterização da vegetação natural.

4.3.4 Mapa 15 – Proximidade de corpos d'água

Os corpos d'água – açudes, lagoas e rios perenes – apresentam, por necessidade de acesso e uso, interferências específicas sobre as condições da vegetação circundante. Com exceção dos cursos de pequena extensão próximos à costa e quase sempre sujeitos à influência de marés em quase todo o seu comprimento, podem ser considerados rios perenes apenas os rios Apodi e Angicos (esses também intermitentes na sua parte superior), o Piranhas ou Açu e, na sua parte mais baixa, o rio Cabugi. A proximidade destes corpos d'água é considerada neste estudo em conjunto com os açudes e as lagoas, uma vez que seu efeito sobre a cobertura vegetal se prende à presença constante de água e ao seu uso e por estes aspectos é caracterizada. É de particular importância e notória a crescente utilização dos poucos rios perenes existentes na área de estudo para agricultura irrigada, principalmente da fruticultura. Nos mapeamentos utilizados, a faixa já cultivada encontra-se em parte dentro de uma distância de 2 km dos cursos d'água, com exceção do Rio Piranhas-Açu, ao longo do qual o cultivo já se alargou além disso. Por esta razão dois níveis de proximidade de rios perenes são aqui considerados: até 2km e de 2 a 3 km.

Os açudes e lagoas são continuamente visitados por animais de criação e pelo homem. Por este motivo as proximidades destes corpos d'água são cortadas por trilhas que para eles convergem e a alteração da vegetação é aí conspícua. Isto considerado, também dois níveis de proximidade de açude e lagoas foram gerados em um mapa, até 500 metros e de 500 a 1000 metros..

4.3.5 Mapa 16 – Proximidade de rios intermitentes

Como já dito antes, são poucos os rios perenes na área de estudo. É, no entanto, extensa a dissecação da Bacia Potiguar. Os rios sazonais e suas calhas são por outro lado, locais de possível aproveitamento para construção de açudes e de mais longa permanência de água no início da estação seca ('cacimbas') e, portanto, exerce efeito também específico sobre a cobertura vegetal em função do aproveitamento destas características. Foi aqui considerada, para levar em conta estes aspectos a proximidade de 500 metros dos rios de classe 2, isto é, tributários dos rios que deságuam no mar (os de classe 1). Para todas as demais classes de rios, construiu-se uma faixa de proximidade de 100 metros.

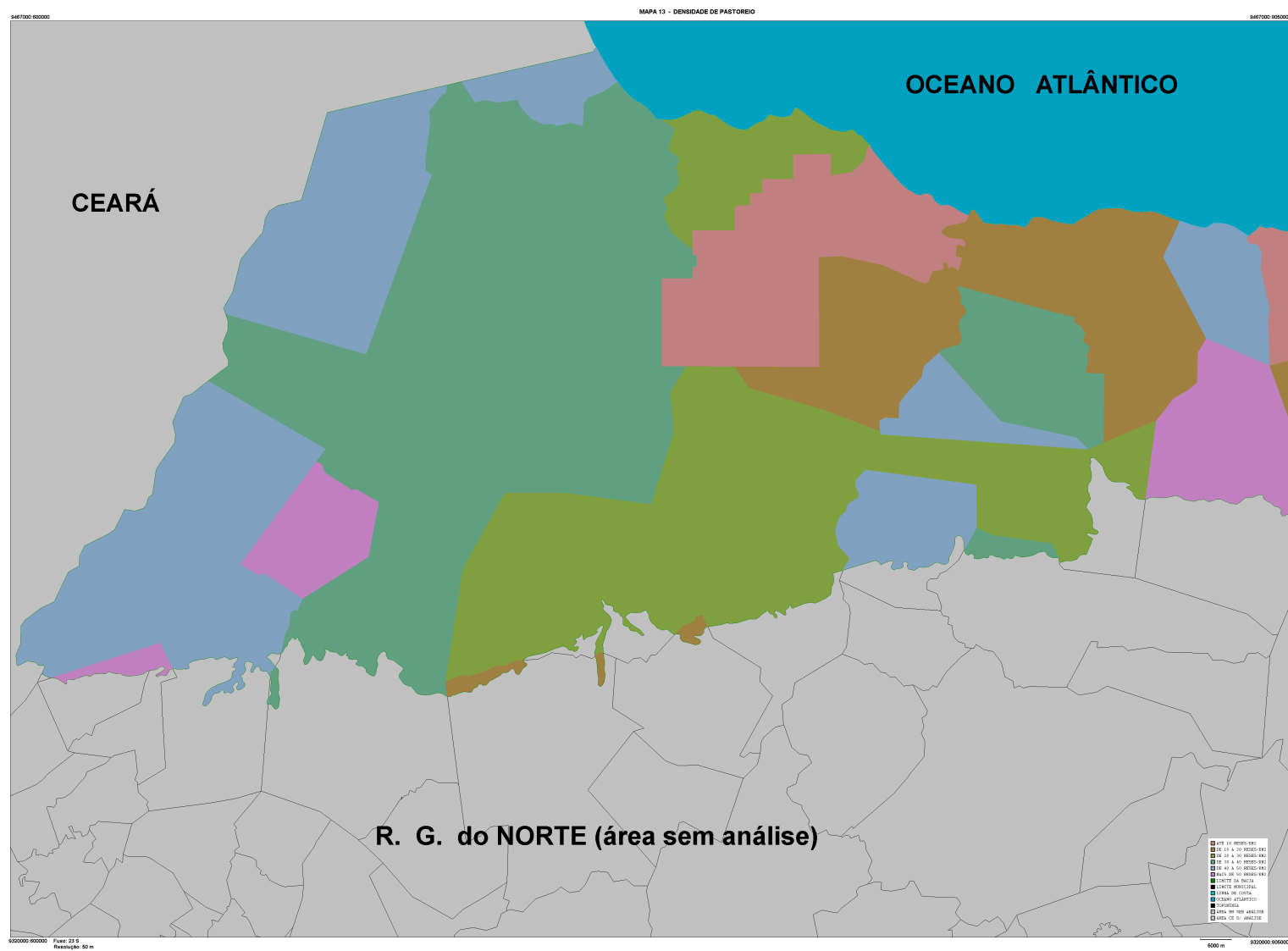
4.3.6 Mapa 17 – Proximidade de áreas agrícolas

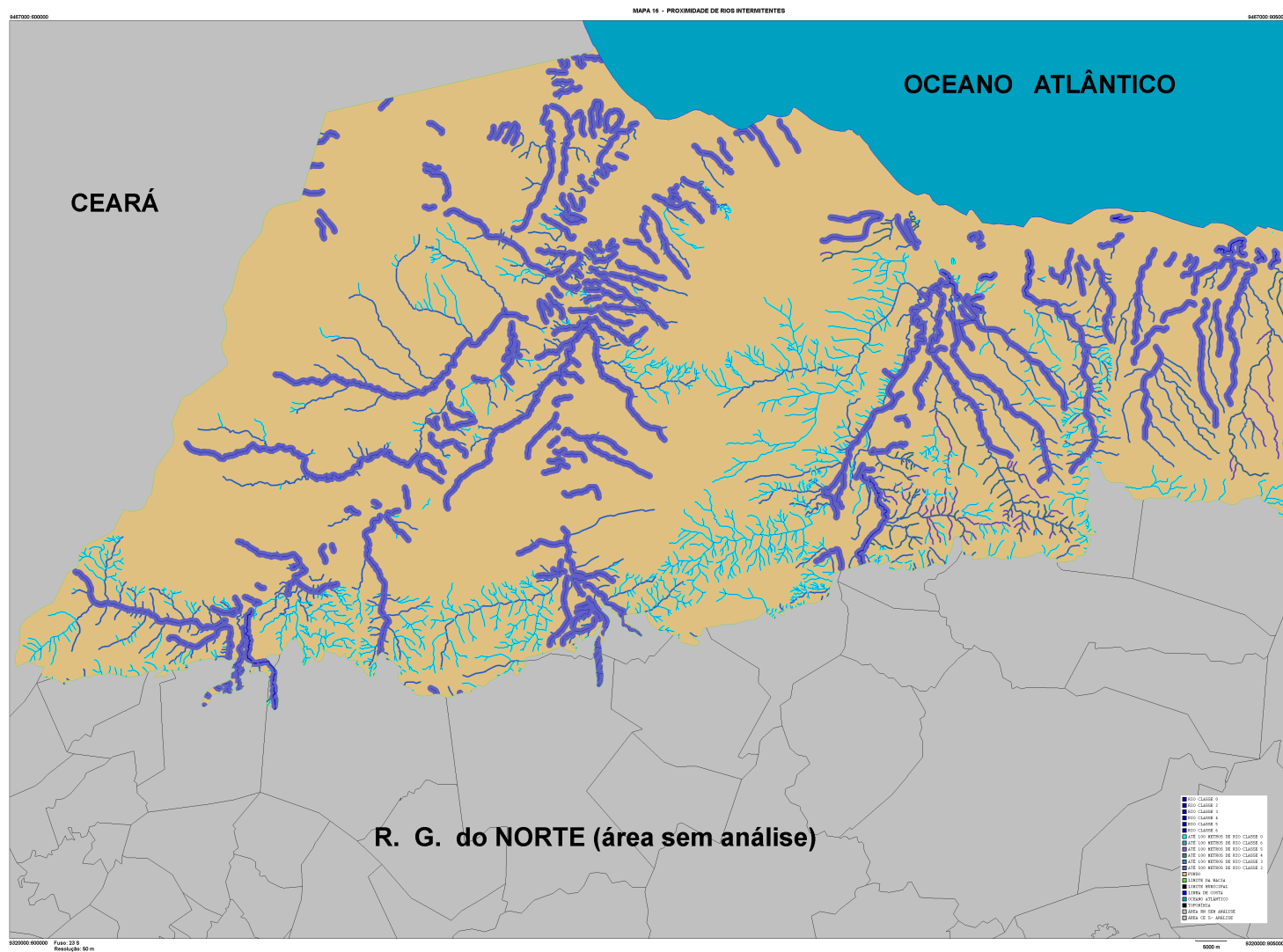
As áreas agrícolas, além dos efeitos de borda que exercem sobre os remanescentes de vegetação nativa, originam também perturbações derivadas de vias de acesso, da movimentação de máquinas e da faina de cultivo e colheita. As áreas nativas adjacentes às lavouras são também propensas à expansão da atividade. Esses fatores diferenciam a proximidade deste uso quanto à integridade da vegetação nativa e foram aqui assinalados pela construção, no módulo específico do SAGA/UFRJ ('Visualisa'), de uma faixa de 1000 metros em torno destas feições.

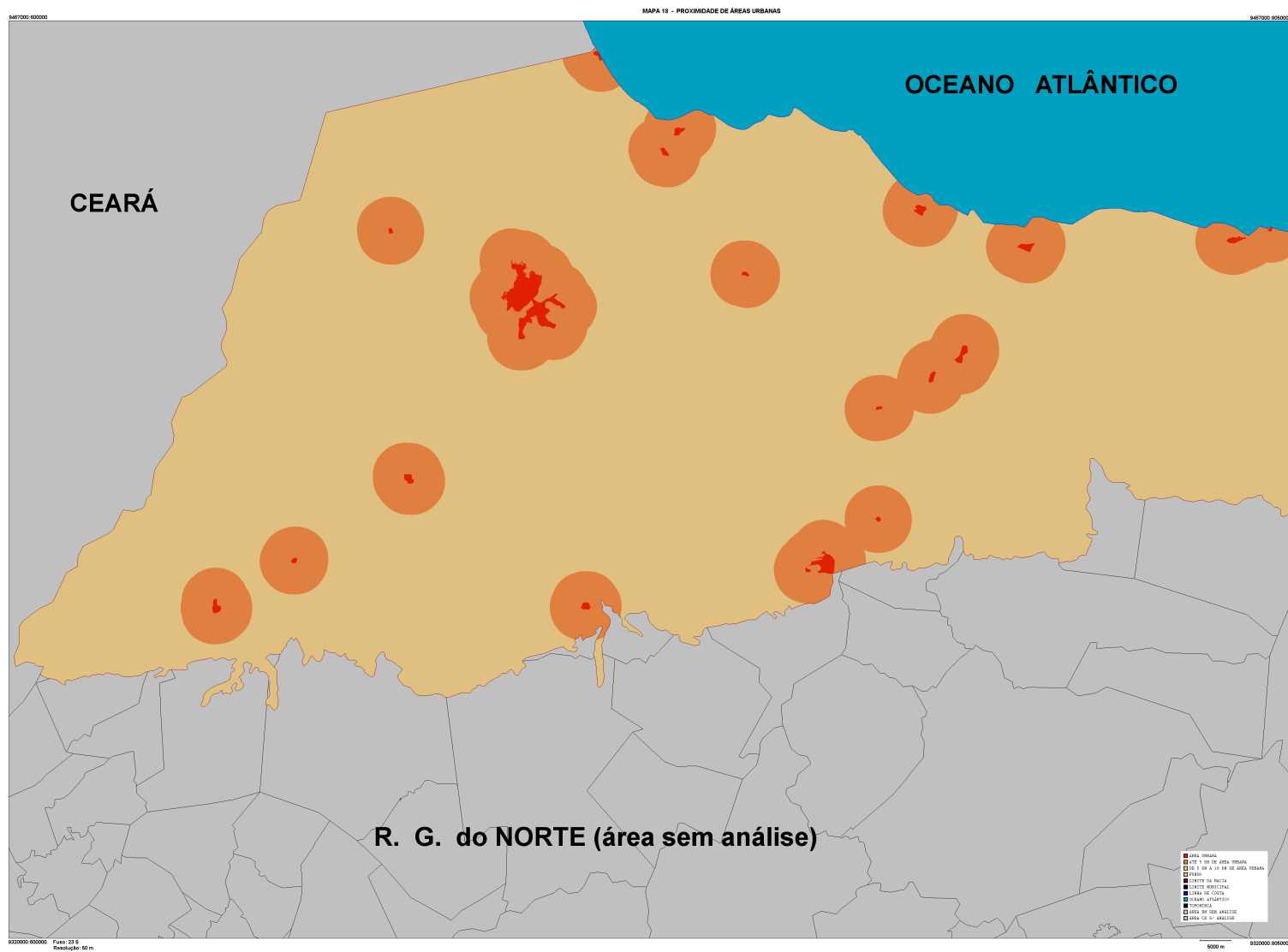
4.3.7 Mapa 18 – Proximidade de cidades

A existência de dezoito núcleos urbanos de diferentes tamanhos na área de estudo foi levada em conta como centros de pressão sobre a cobertura vegetal por construção de dois níveis de proximidade: até cinco quilômetros e entre cinco e dez quilômetros do perímetro urbano. No primeiro nível se passam os processos de ocupação suburbana, de efeitos mais

drásticos, no segundo a ocupação por atividades agrícolas – de subsistência ou de lazer – comuns a todos os entornos de aglomerados urbanos. As proximidades consideradas, relativamente amplas, tornam de menor importância os erros de georreferenciamento, antes já referidos, para a posição dos centros urbanos.







4.4 MAPAS DE AVALIAÇÃO

Como já dito antes, a avaliação dos fatores que condicionam o estado de integridade da cobertura vegetal foi realizado em duas etapas pelo processo de agregação ponderada já descrito: a das condições naturais, resultando num mapeamento que por alguns autores é denominado ‘de vulnerabilidade natural’, e a das condições antrópicas, que sumariza as pressões das atividades humanas na área de estudo. A combinação dos dois resultados indica o grau de impacto sobre a vegetação natural, aqui demonstrado em um terceiro mapa de avaliação.

Algumas imprecisões são evidentes, mesmo na escala utilizada. Uma das principais se refere à cartografia da região costeira, como presente nos mapas usados: as mudanças recentes do uso do solo, conjugadas com a dinâmica costeira de alta energia, são as causas das imprecisões dos mapas usados, tanto no que diz respeito às condições naturais quanto às condições antrópicas. Não por acaso, os trabalhos realizados nesta área nos últimos anos, como os mapeamentos de sensibilidade a derramamentos de óleo, partiram de mapas derivados de imagens orbitais e aerofotogramétricos mais recentes. A qualidade do resultado aqui obtido é, pois, mais criticável nesta faixa da área de estudo.

Para a confecção dos mapas finais os usos do território que excluem a cobertura vegetal (áreas urbanas, salinas, agricultura) foram agregados aos corpos d’água em uma única categoria denominada “Usos exclusivos”.

São a seguir discutidos esses três mapeamentos.

4.4.1 Mapa 19 - Condições naturais

Para a avaliação dos níveis de susceptibilidade a impacto das condições naturais, os pesos e notas atribuídos aos temas e classes, respectivamente, são os mostrados na tabela a seguir. Estes pesos e notas obedeceram aos critérios discutidos nos itens anteriores. Observe-se que os pesos atribuídos são praticamente iguais para todos os temas; isto se deve à qualidade dos dados que, por motivos vários e antes já referidos, é considerada sofrível. Os pesos e notas seguem em certa medida o balizamento dado pela literatura

(Souto, M.V.S. & Amaro, V.E., 2005) levando em conta, todavia, as diferenças de taxonomia, a qualidade dos mapas e o contexto da aplicação.

TEMA	PESO (%)	CLASSE	NOTA
Classes altimétricas	18	2 a 50 m	2
		51 a 100 m	4
		101 a 150 m	6
		151 a 200 m	7
		201 a 250 m	10
		251 a 300 m	8
Geologia	21	Depósito de praia	10
		Grupo Barreiras	8
		Depósito fluviomarinho	10
		Formação Jandaíra	8
		Depósito lagunar	7
		Paleoduna	9
		Depósito aluvionar	6
		Formação Tibau	5
		Magmatismo Macau	5
		Formação Açú	6
		Magmatismo Serra do Cuó	5
Geomorfologia	18	Praia	10
		Duna móvel	10
		Duna fixa	9
		Tabuleiro (forma tabular)	5
		Tabuleiro pediplanado	8
		Planície fluviomarinha	9
		Planície de inundação	8
		Depressão Sertaneja (tabular)	5
		Depressão Sertaneja (convexa)	6
Vegetação	22	Manguezal	10
		Caatinga Arbórea	9
		Caatinga Arbóreo-arbustiva	7
		Caatinga Antropizada	5
		Dunas	10

Tabela IV – Ponderação das condições naturais (pesos de categorias e notas de classes).

TEMA	PESO (%)	CLASSE	NOTA
Solos	21	Cambissolo eutrófico	8
		Areia quartzosa distrófica	7
		Areia mar. quartzosa distrófica	7
		Vertissolo	9
		Podzol verm./amar. eutrófico	8
		Podzol verm./amar. distrófico	7
		Podzol verm./amar. eutrófico latossol	8
		Solonchak sódico	10
		Solonetz solodizado	9
		Rendzina	6
		Latossolo ver./amar. podzol eutrófico	5
		Latossolo amarelo distrófico	7
		Latossolo verm./amar. eutrófico	5
		Bruno não cálcico	5
		Regossolo eutrófico	6
		Litossolo eutrófico	6
		Solo aluvial eutrófico	8

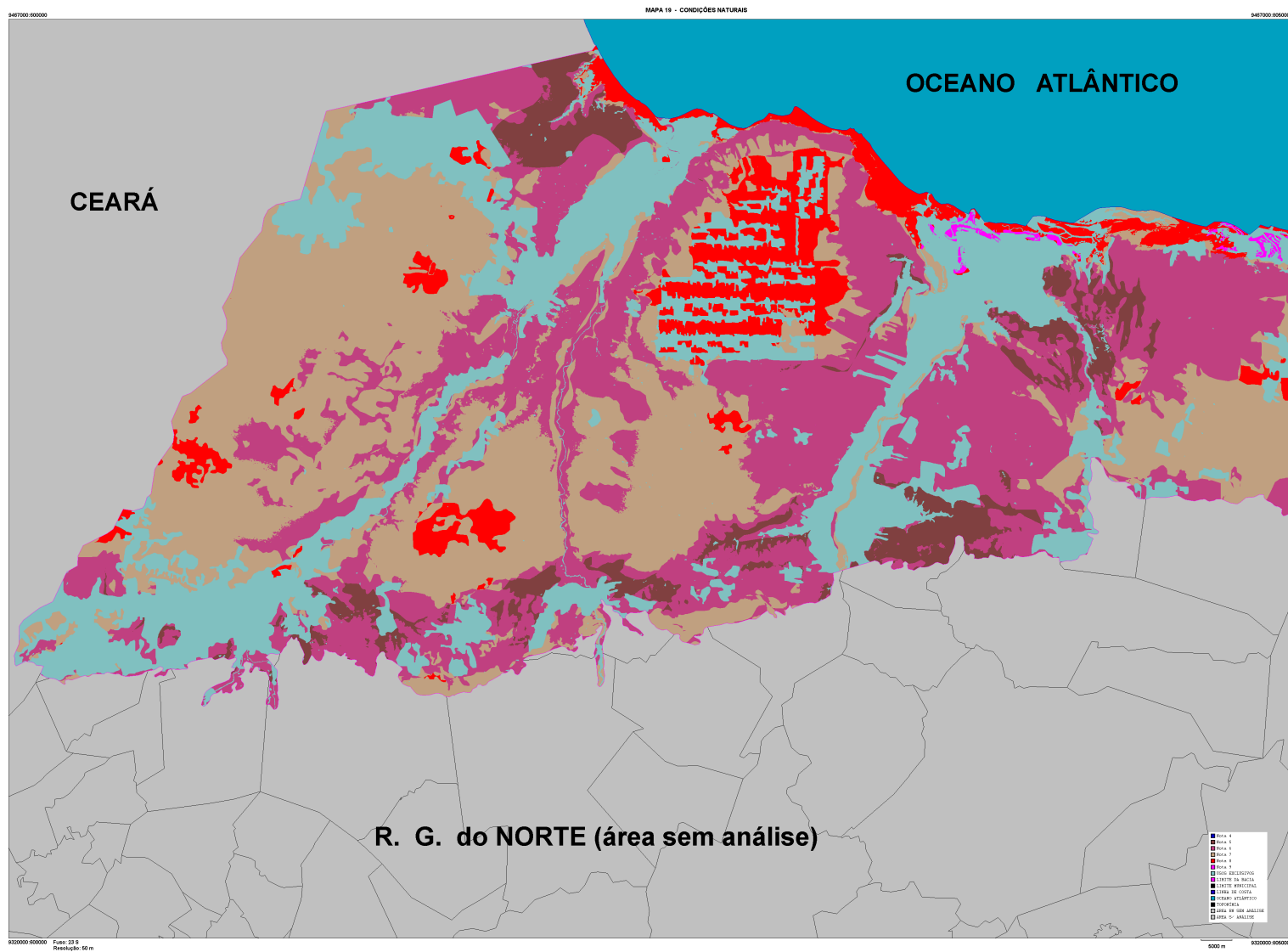
Tabela IV (continuação) – Ponderação das condições naturais (pesos de categorias e notas de classes).

A sumarização das condições naturais resultou num mapa com seis classes, numeradas em níveis crescentes de susceptibilidade a impactos, de 4 a 9.

A homogeneidade da área de estudo e a falta de detalhe de alguns mapas utilizados (como é o caso da hipsometria e da morfologia) leva a que grande parte da região seja classificada nos níveis médios de condições naturais e haja visível dominância da própria classificação da vegetação. Em particular, pode-se notar que as áreas de Caatinga Antropizada se encontram nesta situação.

Por outro lado, a falta de detalhamento da vegetação da faixa costeira no que se refere à vegetação de dunas e aos bosques de carnaubeiras (estes em nenhuma parte assinalados), torna duvidoso o resultado da análise nesta parte do território.

O mapeamento das condições naturais é apresentado a seguir.



No que diz respeito ao objeto da avaliação, a cobertura vegetal, a assinatura das classes de vegetação mostra que, com os pesos e notas adotados, as classes de vegetação estão sujeitas aos seguintes níveis de susceptibilidade a impactos decorrentes das condições naturais:

Fitofisionomia	% Classe 4	% Classe 5	% Classe 6	% Classe 7	% Classe 8	% Classe 9
Duna fixa			3,2	34,4	62,4	-
Duna móvel	-	-	-	-	4,8	95,2
Manguezal	-	-	0,8	15,2	25,8	58,2
C.A	-	-	13,5	28,9	57,6	-
C.A.A.	-	-	14,3	85,7	-	-
C.An.	-	9,2	48,7	42,1	-	-

Tabela VI – Porcentagem de cada classe de vegetação sujeita aos níveis de condições naturais (C.A.: Caatinga Arbórea; C.A.A.: Caatinga Arbóreo-arbustiva; C.An.: Caatinga Antropizada).

4.4.2 Mapa 20 - Condições antrópicas

Para os fatores de impacto (condições antrópicas) foram considerados os pesos de categorias e notas de classes, como discutido antes e sumarizados na tabela a seguir.

TEMA	PESO (%)	CLASSE	NOTA
Campos de produção	12	Com 0 a 1 poço/km ²	2
		Com 1 a 2 poços/km ²	3
		Com 2 a 3 poços/km ²	3
		Com 3 a 4 poços/km ²	4
		Com 4 a 5 poços/km ²	5
		Com 5 a 6 poços/km ²	6
		Com mais de 6 poços/km ²	10
Proximidade de corpos d'água	10	Até 500 m de corpo d'água	6
		De 500 m a 1 km de corpo d'água	3
		Até 2 km de rio perene	10
		De 2 a 3 km de rio perene	7

Tabela V – Ponderação das condições antrópicas (pesos das categorias e notas das classes).

TEMA	PESO (%)	CLASSE	NOTA
Prox. de áreas agrícolas	12	Até 1000 m de áreas agrícolas	10
Áreas cobertas por sísmica 3D	13	Campanhas de 1988	1
		Campanhas de 1995	2
		Campanhas de 1997	4
		Campanhas de 1998	4
		Campanhas de 1999	5
		Campanhas de 2000	6
		Campanhas de 2001	7
		Campanhas de 2003	8
		Campanhas de 2004	9
		Campanhas de 2005	10
		Campanhas de 2006	10
Proximidade de vias	15	Até 1 km de ferrovia	4
		Até 2 km de rod. não pavimentada	8
		Até 1 km de rodovia pavimentada	10
		De 1 a 2 km de rod. pavimentada	8
Proximidade de cidades	12	Até 5 km de área urbana	10
		De 5 a 10 km de área urbana	7
Densidade de sísmica 2D	7	De 0,1 a 0,99 %	1
		De 1,00 a 1,99 %	3
		De 2,00 a 2,99 %	5
		De 3,00 a 3,99 %	6
		De 4,00 a 4,99 %	7
		Mais de 5,00 %	10
Proximidade de rios intermitentes	7	Até 100 m de rio classe 0	2
		Até 100 m de rio classe 6	2
		Até 100 m de rio classe 5	5
		Até 100 m de rio classe 4	5
		Até 100 m de rio classe 3	8
		Até 500 m de rio classe 2	10
Densidade de pastoreio	12	Até 10 reses/km ²	2
		De 10 a 20 reses/km ²	3
		De 20 a 30 reses/km ²	4
		De 30 a 40 reses/km ²	5
		De 40 a 50 reses/km ²	6
		Mais de 50 reses/km ²	10

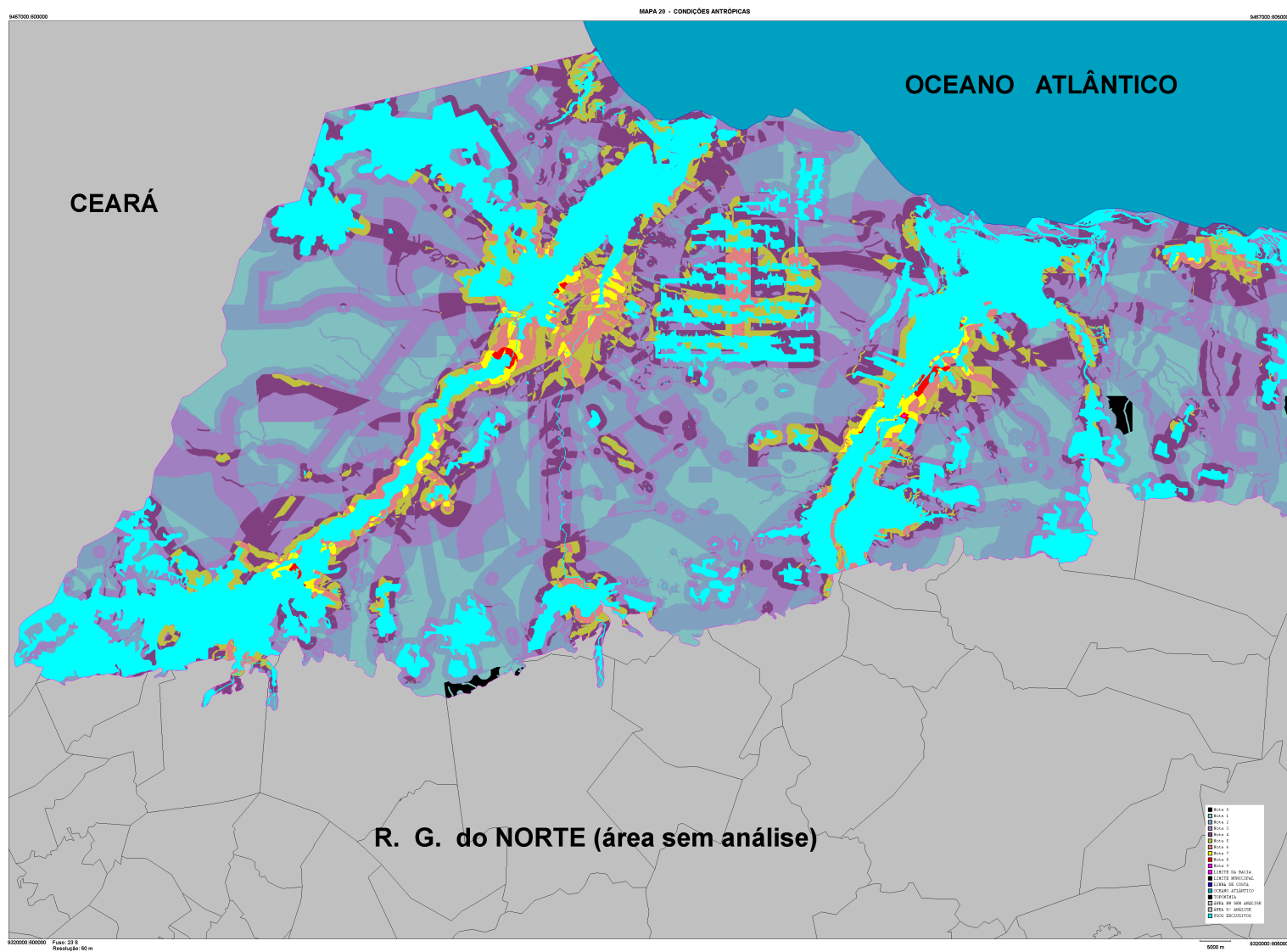
Tabela V (continuação) – Ponderação das condições antrópicas (pesos das categorias e notas das classes).

A conjugação dos fatores de impacto resultou em um mapeamento graduado de 0 a 9, da severidade da interferência antrópica sobre a cobertura vegetal.

A influência antrópica se concentra, como se podia esperar, no centro da região, onde se situa o núcleo urbano principal, a cidade de Mossoró, e nos vales dos rios perenes, onde a atividade agrícola é mais intensa.

Da mesma forma que em relação às condições naturais, aqui também vale a observação da falta de definição adequada, mesmo na escala utilizada, para os mapeamentos disponíveis na faixa costeira.

O mapeamento de consolidação das condições antrópicas, que são os fatores de impacto sobre a vegetação, resultou numa classificação em nove níveis de severidade. O nível mais elevado é todavia sem muito significado para a gestão, constituindo-se em uma conjunção de fatores sobre ínfima área de Caatinga Antropizada. Como esperado, os remanescentes significativos se situam em áreas sujeitas a fraca intensidade de pressão humana. Por este motivo mesmo, foram poupados.



A distribuição das fisionomias vegetais pelos níveis da classificação de condições antrópicas é mostrada na tabela a seguir.

Fitofisionomia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Duna fixa	-	3,6	13,6	36,6	17,1	13,7	10,1	4,3	0,9	-
Duna móvel	6,0	28,0	38,2	18,1	7,7	2,0	-	-	-	-
Manguezal	-	-	2,3	55,8	33,0	6,6	2,3	-	-	-
C.A	0,2	9,5	24,1	27,5	22,5	9,1	6,6	0,5	-	-
C.A.A.	1,6	23,9	28,3	31,2	11,5	2,5	1,0	-	-	-
C.An.	0,2	14,2	24,1	30,4	19,0	7,2	3,7	1,0	0,2	-

Tabela VII – Porcentagem de cada classe de vegetação sujeita aos níveis de condições antrópicas (C.A.: Caatinga Arbórea; C.A.A.: Caatinga Arbóreo-arbustiva; C.An.: Caatinga Antropizada)

4.3.3 Mapas 18 e 19 - Severidade (grau) de impacto

Os mapas 18 e 19, obtidos pela combinação das condições naturais com as condições antrópicas, sumarizam o grau de perda de integridade da cobertura vegetal ou ainda o grau de severidade do impacto a que ela está sujeita.

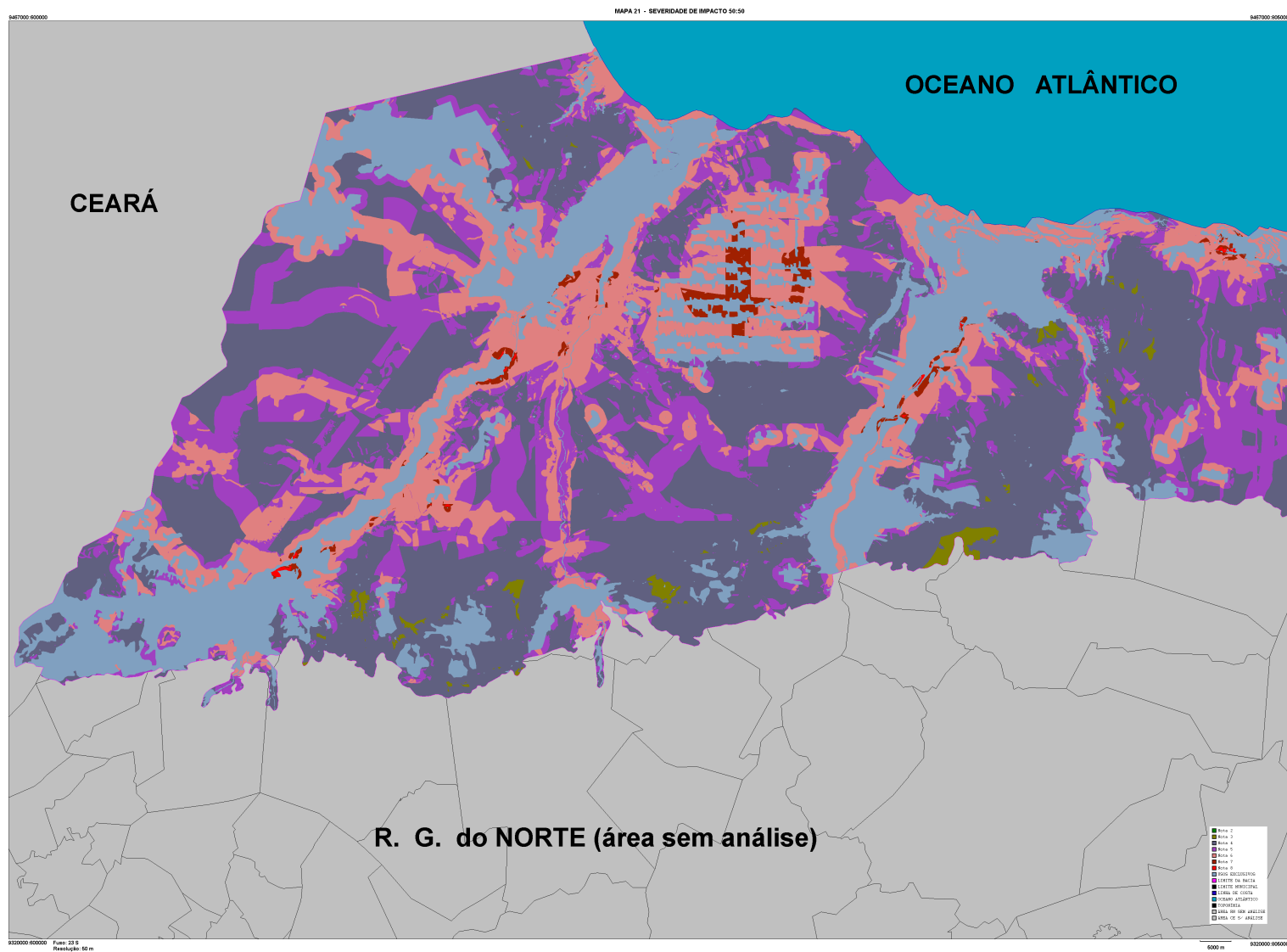
Foram feitas duas combinações entre condições naturais e antrópicas, usando ponderações de 50-50 % e 45-55 %, respectivamente.

Com a primeira ponderação, 50-50 %, foram obtidas classes numeradas de 2 a 8 em ordem de severidade de impacto. A classe de número 8 se reduz a dois pequenos enclaves resultantes de cruzamentos específicos de proximidades e situados nas imediações de cidades e são centros de manchas classificadas no nível imediatamente inferior. Não têm, portanto, maior significado na análise que o emprestado às áreas de classe 7. Há que se notar, todavia, que o polígono próximo à cidade de Governador Dix-Sept Rosado, sobrepondo-se a uma área que poderia merecer conservação como área de lazer urbana por se constituir de remanescente de Caatinga Arbórea, indica exigências específicas de gestão se essa destinação vier a ocorrer.

De forma geral, as áreas onde a vegetação se encontra mais impactada acompanham as áreas de ocupação agrícola, ao longo dos rios perenes e nos vales onde se implantaram

projetos de irrigação, principalmente na sua parte baixa. E é nestas situações que ocorrem as áreas classificadas em nível 7 que, apesar de não serem numerosas ou extensas, coincidem com os carnaubais, feições aí também se encontram, e trazem de novo à baila a necessidade de seu mapeamento.

Apresenta-se a seguir o mapa de severidade de impacto sobre a vegetação, usando a ponderação de 50% para condições naturais e antrópicas.



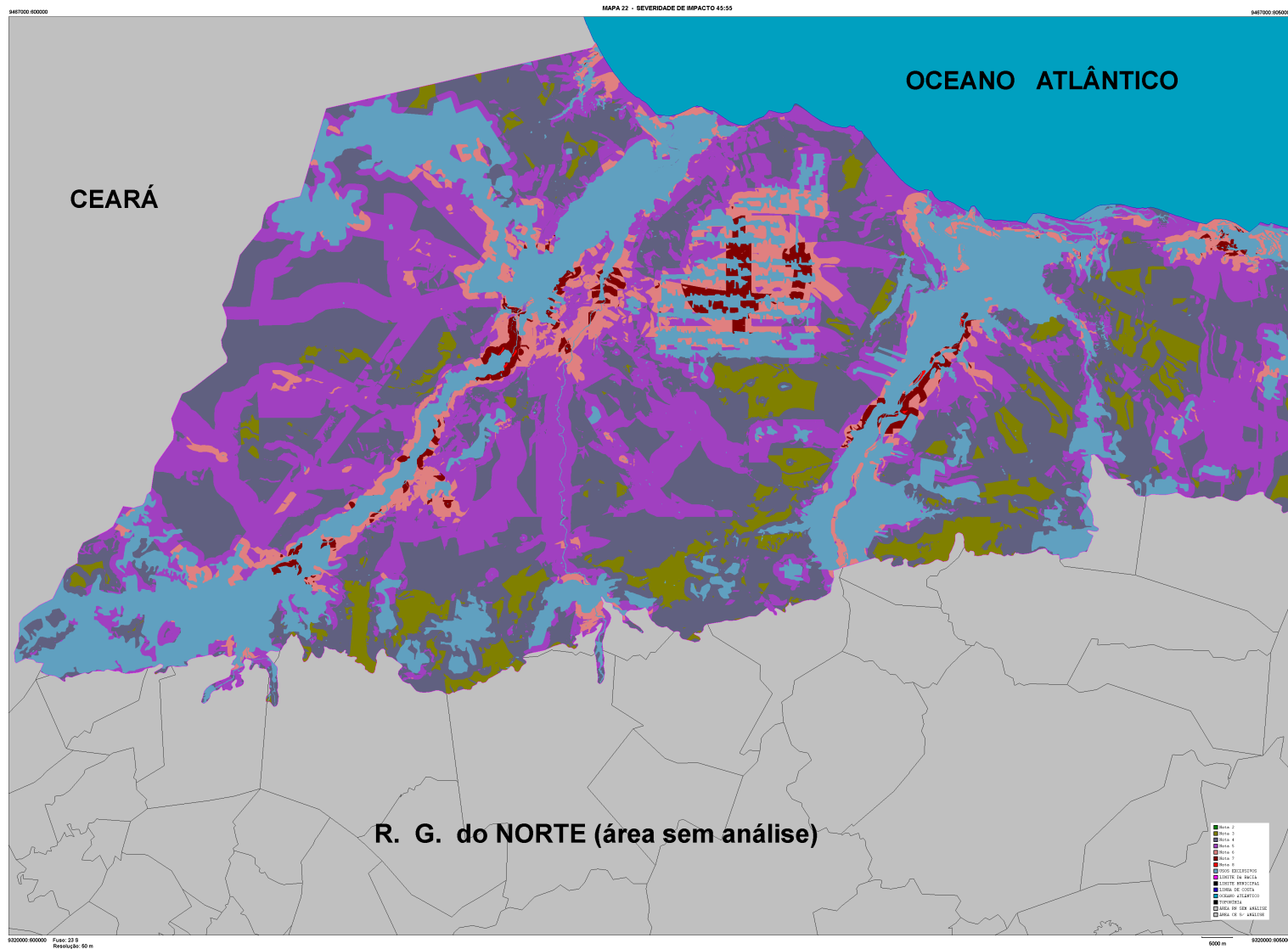
Usando o módulo de ‘Assinatura’ do Sistema SAGA, as diversas classes de vegetação, individualizando os fragmentos significativos de Caatinga Arbórea, são caracterizadas quanto ao grau de impacto, nesta combinação de condições naturais e condições antrópicas, como mostrado na Tabela VIII abaixo. (Na tabela está incluída a classe “duna móvel” para a qual tem pouco sentido o impacto sobre a vegetação; pode-se, todavia, tomar sua caracterização como uma medida de ‘pressão antrópica’.)

Polígonos/classes (*)	Grau 2 (%)	Grau 3 (%)	Grau 4 (%)	Grau 5 (%)	Grau 6 (%)	Grau 7 (%)	Grau 8 (%)
Duna fixa	-	-	19,6	30,7	49,7	-	-
Duna móvel	-	-	5,5	21,0	68,6	4,4	0,5
Manguezal	-	-	2,3	8,7	84,6	2,1	2,3
C. An. I	-	0,1	50,0	27,4	22,4	0,2	-
C. An. II	-	-	41,5	23,3	33,9	1,2	0,1
C. An. III	-	1,4	59,1	25,3	13,9	0,3	-
C. An. IV	-	4,3	67,3	14,4	13,1	0,8	-
C. An. V	-	1,0	59,7	29,2	10,0	-	-
C.A.A.	-	0,1	56,9	29,5	13,5	-	-
C.A.	-	-	37,8	22,2	32,5	6,0	1,5
C.A. I	-	-	10,4	21,9	56,5	11,2	-
C.A. II	-	-	11,8	36,4	49,8	1,8	0,4
C.A. III	-	-	93,1	5,6	1,3	-	-
C.A. IV	-	-	15,8	48,8	35,4	-	-
C.A. V	-	-	-	17,9	82,1	-	-
C.A. VI	-	-	27,4	59,8	12,8	-	-
C.A. VII	-	-	78,3	10,5	11,2	-	-
C.A. VIII	-	-	99,9	0,1	-	-	-
C.A. IX	-	-	59,3	33,1	7,6	-	-
C.A. X	-	-	34,1	19,2	46,7	-	-
C.A. XI	-	-	90,1	2,6	7,2	-	-

(*) C.A.: Caatinga Arbórea, fragmentos não individualizados; C.A. I a C.A. XI: Caatinga Arbórea, fragmentos individualizados; C.A.A.: Caatinga Arbóreo arbustiva; C.An.: Caatinga Antropizada, áreas I, II, III, IV e V.

Tabela VII – Porcentagem de cada classe de vegetação sujeita aos graus de impacto definidos com a combinação de pesos 50 % (condições naturais) – 50 % (condições antrópicas.

Com a ponderação de 45-55 %, mantém-se o mesmo número de classes e os vários polígonos de vegetação são afetados como mostrado na Tabela VIII a seguir. De forma geral, não ocorrem mudanças muito significativas na avaliação, permanecendo inalteradas as principais características antes detectadas na classificação dos remanescentes da cobertura vegetal.



Polígonos/classes (*)	Grau 2 (%)	Grau 3 (%)	Grau 4 (%)	Grau 5 (%)	Grau 6 (%)	Grau 7 (%)	Grau 8 (%)
Duna fixa	-	-	19,6	62,9	17,5	-	-
Duna móvel	-	-	5,5	58,5	31,0	4,5	0,5
Manguezal	-	-	2,3	28,1	65,2	4,4	-
C. An. I	-	3,0	47,0	42,3	6,9	0,8	-
C. An. II	-	3,6	38,0	39,7	15,1	3,6	0,1
C. An. III	-	13,3	47,2	34,8	3,9	0,8	-
C. An. IV	-	18,8	52,8	21,4	4,5	2,4	-
C. An. V	-	11,6	49,1	37,2	2,1	-	-
C.A.A.	-	5,3	51,7	40,1	2,9	-	-
C.A.	-	1,8	36,0	37,6	17,1	7,5	1,5
C.A. I	-	0,1	10,3	42,0	36,4	11,2	-
C.A. II	-	-	11,8	73,7	12,4	2,1	-
C.A. III	-	4,4	88,6	6,9	-	-	-
C.A. IV	-	-	15,8	68,3	15,9	-	-
C.A. V	-	-	-	80,3	19,7	-	-
C.A. VI	-	6,3	21,1	68,4	4,2	-	-
C.A. VII	-	29,4	48,9	21,6	0,1	-	-
C.A. VIII	-	2,5	97,4	0,1	-	-	-
C.A. IX	-	3,0	56,2	40,8	-	-	-
C.A. X	-	-	34,1	54,3	11,6	-	-
C.A. XI	-	-	90,1	9,9	-	-	-

(*) C.A.: Caatinga Arbórea, fragmentos não individualizados; C.A. I a C.A. XI: Caatinga Arbórea, fragmentos individualizados; C.A.A.: Caatinga Arbórea arbustiva; C.An.: Caatinga Antropizada, áreas I, II, III, IV e V.

Tabela VII – Porcentagem de cada classe de vegetação sujeita aos graus de impacto definidos com a combinação de pesos 45 % (condições naturais) – 55 % (condições antrópicas).

Como previsto pelas equações (2) e (3) já apresentadas, a diferença entre as duas combinações de pesos se expressa de forma heterogênea na área de estudo, uma vez que o valor do impacto em cada *pixel* é função também das notas das classes. Como previsto, o impacto aumenta mais com o aumento do peso das condições antrópicas nas regiões mais afetadas pelas classes que correspondem a maior atividade humana, isto é, aquelas com notas mais elevadas.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

A vegetação está sujeita a impactos severos em toda a extensão da área de estudo, evidenciando-se a quase completa ausência de extensões significativas submetidas a baixos níveis interferências humanas. Este resultado era esperado, considerando o tempo e a intensidade de ocupação e uso do território. Os níveis de impacto podem, todavia, ser discernidos quando se consideram as diferentes classes de vegetação e os fragmentos individualizados de Caatinga Arbórea.

A fisionomia de Caatinga Antropizada apresenta interferências distintas nas cinco áreas em que foi dividida para efeito de avaliação. A parte sul do interflúvio dos rios Apodi e Piranhas (área III) e a parte mais oriental da área de estudo são avaliadas como as menos impactadas. A primeira sem dúvida pelo fato de ser a mais árida e portanto, a menos apropriada às atividades agrícolas e pastoris. Pela mesma razão, é a mais sujeita a processos de desertificação e, portanto, a que requererá maiores esforços de preservação da cobertura vegetal natural remanescente. A segunda se apresenta menos estressada certamente pela menor ocorrência de áreas urbanas, exceto na faixa litorânea e, por seu turno, é a sub-região sujeita às condições climáticas mais benévolas.

Deve-se notar que a Área I de Caatinga Antropizada, que inclui a rampa da Chapada do Apodi, seria melhor caracterizada se dividida por prolongamento do mesmo paralelo que separou as áreas II e III. A parte norte desta área foi especialmente afetada por agricultura de irrigação (com água subterrânea do aquífero Açu), em projetos e assentamentos de sucesso duvidoso e que custaram a erradicação de boa parte da vegetação nativa. Esta porção do território seria, sem dúvida, considerada pelos que a conhecem como uma área em condições especialmente críticas de conservação da vegetação nativa.

A Caatinga Arbórea se situa em áreas de condições hídricas e pedológicas favoráveis também à ocupação agrícola e, conseqüentemente à sua conversão. Grande parte dos fragmentos significativos de Caatinga Arbórea se encontra ainda em níveis de impacto que poderão não ter comprometido os recursos biológicos deste ecossistema,

principalmente os remanescentes III, VII, VIII e XI. Todavia, o remanescente mais importante e extenso (C.A.I), situado na área da Serra do Cajueiro, está sujeito a pressões mais elevadas que os demais, principalmente devido à ocupação pelas plantações de caju e pela atividade petrolífera. Considerando a importância de sua preservação, programas específicos são aconselháveis para esta área. Estes programas poderão também ser conjugados com a consorciação de vegetação rasteira com os cajuais, podendo até mesmo constituir pastagem, como forma de tornar mais benignas as condições climáticas da área, certamente já extremadas pela ocupação.

Das classes de vegetação, a Caatinga Arbóreo-arbustiva é a que se encontra, de forma geral, em melhores condições, sujeita aos menores níveis de impacto. Dadas a extensão e a continuidade dos remanescentes, é provável que algumas áreas se encontrem ainda em estado de integridade que justifique até mesmo a implantação de medidas de proteção, principalmente quando estas áreas contenham fragmentos de Caatinga Arbórea.

Deve-se lembrar que, como já foi discutido na introdução deste trabalho, a conservação da biodiversidade depende da existência de remanescentes de área de tamanho significativo e relativamente bem conservados do ponto de vista da constituição ecossistêmica mas que, em alguns casos, a conservação pode ser conseguida pela manutenção de vários remanescentes de pequena extensão (os clássicos dilemas LOS – *large or small patch* e SLOSS – *single large or several small patches*, analisados por Forman, 2006). O que determinará qual a opção mais adequada será a constituição do ecossistema a conservar e, portanto, somente se poderá definir qual alternativa é a mais adequada e eficaz pela avaliação biológica das áreas.

De toda forma, a caracterização biológica para dirigir os esforços de conservação é indispensável em todas as áreas, como se reconhece de forma geral para todas as áreas do Bioma Caatinga. (Será esta caracterização que, por exemplo, poderia confirmar que um fragmento de Caatinga Arbóreo-arbustiva, situado no município de Tibau e isolado entre dunas e em situação de risco elevado, seria um fragmento notável em termos de endemismo e ecodinâmica e, portanto, merecedor de conservação.) Igualmente será necessária melhor caracterização biológica para definir quais dos fragmentos de Caatinga Arbórea, o IV, o V

ou os fragmentos menores dispersos na matriz de Caatinga Arbóreo-arbustiva, são mais significativos com a mesma finalidade.

Por outro lado, a redução do risco de desertificação implica na manutenção da cobertura vegetal, mesmo que de outra natureza, como as culturas permanentes e as pastagens com sombreamento parcial. A ênfase na conservação da cobertura natural, principalmente nos climas áridos e semi-áridos, se deve à adaptação desta vegetação às condições reinantes. Sua substituição por outras formas é sempre temerária no longo prazo. Neste sentido, para a redução do risco de desertificação, as condições naturais e antrópicas e o mapeamento dos impactos a que está sujeita a cobertura vegetal e seu reatamento nas várias fitofisionomias presentes na área de estudo podem servir de apoio à formulação de estratégias de conservação da vegetação no recorte territorial objeto do estudo.

5.2 RECOMENDAÇÕES DE GESTÃO

Para a gestão territorial com vistas à redução do risco de desertificação e a conservação da biodiversidade, o presente estudo origina recomendações específicas. O primeiro aspecto é abordado pela identificação das áreas cuja cobertura vegetal se encontra sob níveis mais severos de impacto. O segundo ponto é coberto pela determinação das áreas em melhores condições de conservação.

A metodologia aqui empregada indica que a gestão territorial deverá contemplar os seguintes pontos, com objetivo de reduzir o risco de desertificação:

- ordenamento específico para recuperação dos efeitos da aquisição de dados sísmicos 3D e melhoria dos padrões de atividade agrícola na região da Serra do Cajueiro, exposta a níveis de impacto significativos;
- o nível de pressão antrópica nas vizinhanças das áreas cultivadas recomenda cuidado especial com os remanescentes de carnaubais, principalmente a partir do nível de influência de maré nos rios e estuários (pois a partir daí se encontram os solos ribeirinhos adequados à atividade econômica);
- as áreas mais severamente afetadas pela ação humana, na parte central da área de estudo, principalmente no entorno da cidade de Mossoró, devem merecer

programas específicos de recuperação (nas porções mais degradadas), de prevenção de incêndios e de mudança das tecnologias de formação de pastagens;

- a desativação dos empreendimentos petrolíferos deve contemplar medidas mais exigentes de recuperação de áreas onde haja maior pressão sobre a cobertura vegetal.

Para a conservação da biodiversidade, identificaram-se as seguintes recomendações específicas:

- a implantação da Floresta Nacional do Apodi, já antes aventada (MMA, 2000), ainda pode ser considerada medida eficaz de conservação, considerados os custos atuais da terra na área proposta e o fato de que a rampa da Chapada do Apodi, na parte ocidental da área de estudo, se encontra em condições favoráveis de integridade para tal iniciativa; ainda mais, regimes de ordenamento específicos poderiam ser implantados nesta parte do território;
- os baixos níveis de impacto sobre a vegetação no entorno das cidades de Guamaré e Galinhos recomendam atender as indicações anteriores (MMA, 2000) para a implantação da unidade de conservação de São Bento do Norte, destinada a conservar amostra de Caatinga litorânea;
- os fragmentos de Caatinga Arbórea, identificados no estudo como os de números VII, VIII e XI, e os fragmentos da mesma fitofisionomia dispersos na matriz de Caatinga Arbóreo-arbustiva devem ser avaliados biologicamente como candidatos a áreas de preservação de populações específicas;
- O grande remanescente de Caatinga Arbórea da Serra do Cajueiro (Fragmento I) deveria ser alvo de esforços de ordenamento para conservação pelo fato de ser o único de grandes dimensões, ainda que sujeito a níveis de impacto significativos.

5.3 RECOMENDAÇÕES METODOLÓGICAS

O presente estudo é tão somente um esforço demonstrativo de aplicação de metodologia e, em vários aspectos, merecerá melhoramentos em relação à precisão, à completude e ao rigor metodológico. Esforços e recursos são necessários neste sentido para dar aos

resultados a relevância necessária a um instrumento de gestão. Os três aspectos citados são a seguir analisados e as ações necessárias para melhoramento do procedimento usado neste trabalho são identificadas. Em cada caso, estas ações se constituirão de esforços do poder público ou de direções de estudos acadêmicos complementares a serem realizados sobre a mesma área.

5.2.1 Melhoria da precisão

Os dados utilizados na análise têm uma qualidade decididamente inadequada em alguns aspectos sendo este um dos principais motivos de imprecisão. Em particular, a pobreza taxonômica do mapeamento da geomorfologia e falta de definição da hipsometria deverão ser superadas, se resultados mais significativos são desejados. Ficaram evidentes também alguns erros de georreferenciamento de feições que aparecem em mais de um mapa. Alguns aspectos poderão ser refinados com certa facilidade, considerando que a área de estudo é extensivamente coberta por imagens orbitais e levantamentos aerofotogramétricos, principalmente em razão da presença ali da indústria petrolífera que poderia apoiar esforços neste sentido, sem custos significativos.

A análise apresentada poderá ser refeita com a agregação de dados adicionais que poderão melhorar os mapeamentos finais. Um exemplo de melhoria possível seria o uso do parcelamento do solo, disponível no INCRA, como variável representativa da ocupação agrícola e pastoril. O tema poderá ser usado juntamente com a aproximação aqui utilizada de ‘densidade de pastoreio’, melhorando a representação deste fator de impacto.

5.2.2 Aumento do rigor metodológico

A metodologia escolhida repousa sobre avaliações multidisciplinares, que devem ser preferencialmente executadas por consulta a grupos de especialistas, e que aqui foram executadas de forma imperfeita. A aplicação de consulta, usando o procedimento Delphi, como previsto no próprio Sistema Saga que a esta etapa destina ferramentas específicas de tratamento de dados, é indispensável para melhoria dos resultados.

Deve-se assinalar que o trabalho necessário para alcançar este objetivo é relativamente simples, ainda que demorado, sendo preferível uma condução institucional da iniciativa.

5.2.3 Ações complementares

O impacto somente não revela toda a necessidade de proteção a que as medidas de gestão devem se dirigir. A relevância ecológica dos remanescentes de vegetação nativa também deverá ser determinada. Para isso são indispensáveis levantamentos e coletas para definir as áreas consideradas para preservação, como antes já apontado por todos os autores que se debruçam sobre o Bioma Caatinga.

A confirmação em campo das indicações providas pela metodologia pode melhorá-la substancialmente. O processo consiste simplesmente em verificar as assinaturas de conjunções notáveis ou relevantes indicados pelo procedimento e que serão, após identificadas e verificadas, usadas para calibrar a metodologia.

Finalmente, o estudo aqui apresentado se dirige a uma classe de impactos que se traduz nas interferências mais radicais na cobertura vegetal, em particular a supressão. As metodologias de geoprocessamento suportam também o estudo de outros aspectos, como a avaliação de alterações ecológicas de longo prazo e os riscos específicos a que estão sujeitos componentes ambientais importantes, como o são nesta região os recursos hídricos subterrâneos e alguns grupos específicos da fauna.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, J. B., Oliveira T. S. **Análise espaço-temporal do uso da terra em parte do semi-árido cearense**, R. Bras. Ci. Solo, 28:393-401, 2004
- Andrade-Lima, D. **The Caatingas dominium**, Revista Brasileira de Botânica, 4, 149-153, 1981.
- Araripe, P. de T., Feijó, F. J. **Bacia Potiguar**, Boletim de Geociências da PETROBRAS, 8(1), 127-141, jan-mar/1994.
- Bonham-Carter, G.F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS**, Pergamon (Elsevier Science LTD.), 4a. ed., 2002, 398 p.
- Brasil, IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), sítio de Internet <http://www.ibge.gov.br>, acessado em 2/4/2007.
- Brasil, MMA, **Biodiversidade Brasileira – Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade brasileira**, Brasília, 2002, 404 p.
- Brasil, MMA/MPO **Projeto Orla: Manual de gestão**, Brasília, 2002, 96p.
- Brasil, MME, DNPM, Projeto RADAMBRASIL, Divisão de Vegetação, **Documento preliminar de uniformização da nomenclatura fisionômico-ecológica**, (Relatório interno RADAMBRASIL) Rio de Janeiro, 1978, 43 p.
- Brasil, MME, Projeto RADAMBRASIL, **Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal:geologia, geomorfologia, vegetação e uso potencial da terra**, Rio de Janeiro, 1981, 744 p.
- E&P Forum/UNEP **Environmental management in oil and gas exploration and production**, Paris e Londres, 1997, 76 p.
- Duarte, C.R. et al., **Vulnerabilidade ambiental da área de exploração de óleo e gás de Alto da Pedra (RN)**, 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador, BA, outubro/2004.
- Elmore, A.J. et al., **Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index**, Remote Sens. Environm., 73; 87-102, 2000

Felizola, E. R., Lago, F. P. L. S., Galvão, W. S. **Avaliação da dinâmica da paisagem no Distrito Federal. Projeto da Reserva da Biosfera do Cerrado - Fase I**, Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p. 1593-1600, Sessão Pôster

Gibson, D. & Rice, S., **Promoting environmental responsibility in seismic operations**, Oilfield Review, Summer 2003, p. 10-21.

GRI (Global Reporting Initiative) **Diretrizes para a elaboração do relatório de sustentabilidade**, Boston, EUA, 2000, 67 p.

Guerra, A.T. & Guerra, A.J.T. **Novo Dicionário Geológico-geomorfológico**, Bertrand Brasil, 4ª ed., 2005, 648 p.

IPIECA **Total in the Murzuq Basin, Lybia**, acessado na página de Internet www.ipieca.org/downloads/biodiversity/sens_envir_case_studs/Total_Murzuq.pdf, em 10/3/2006.

Leal, I. R., Tabarelli, N., Silva, J.M.C. da, **Ecologia e Conservação da Caatinga**, Recife. Ed. Universitária da UFPE, 2003. 822 p.

MacArthur, R. & Wilson, E., **The Theory of Island Biogeography**, Princeton University Press, New Jersey, 1967.

Maldonado, F.D., Santos, J.R., Carvalho, V.C., **Land use dynamics in the semiarid region of Brazil (Quixaba, PE): characterization by principal component analysis (PCA)**, Internatl. J. of Remote Sensing, 23:23, 5005-5013, Dec/2002.

NCGIA, Universidade de Buffalo, site do National Center for Geographic Information and Analysis, http://www.ncgia.buffalo.edu/gishist/bar_harbor.html, acessado em 20/09/2006.

Oliveira-Galvão, A.L.C. **Reconhecimento da susceptibilidade ao desenvolvimento de processo de desertificação no nordeste brasileiro**, tese de doutorado, Instituto de Geociências da UnB, Brasília, 2001.

Oliveira-Galvão, A.L.C. & Saito, C.H. **A modelagem de dados temáticos geoespacializados na identificação dos diferentes níveis de susceptibilidade à desertificação da região semi-árida do Nordeste Brasileiro**, Anais do XI SBSR, Belo Horizonte, abril/2003.

Peters D.P.C., Herrick, J.R. **Modelling vegetation change and land degradation in semiarid and arid ecosystems: an integrated hierarchical approach** *Advances in Environmental Monitoring and Modelling* vol 2 (1), 2001.

Prado, H. **A pedologia simplificada**, Arquivo do Agrônomo, nº 1, POTAFOS, dez/1995, 16 p.

Rodriguez, J.M.M. & Silva, E.V. **A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica**, Mercator (Revista de Geografia da UFC), ano 1, nº 1 (2002).

Sá, I.B.; Sá, I.I. e Silva, A.de S. **Desertificação na região de Cabrobó, PE: a realidade vista do espaço**, Anais do II simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju, SE, outubro/2006.

Santos, A.M. e Tabarelli, M. **Distance from roads and cities as predictors of habitat loss and fragmentation in the Caatinga vegetation of Brazil**, *Brazilian Journal of Biology*, 62(4B), p. 897-905, 2005.

Schlumberger Ltd Promoting Environmental responsibility in seismic operations **Oilfield Review, Summer 2003, p. 10-21.**

Silva, K. E. , Pereira, K. P. **Alterações na cobertura vegetal natural dos municípios do Sul do Amazonas** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1667-1671.

Souto, M. V. S. & Amaro, V. E., **Aplicação das técnicas de geoprocessamento para o mapeamento da vulnerabilidade natural para a região da Ponta do Tubarão, litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, município de Macau**, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2773-2778.

Tabacow, J.W. **Análise da Fragmentação da Paisagem na Ilha de Santa Catarina, SC: Uma Aproximação por Geoprocessamento**, 2002, 162 p. Tese (Doutorado em Geografia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Tagliani, C.R.A. **Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações**, Galeria de artigos acadêmicos, <http://www.fatorgis.com.br>, 2002, acessado em 3/4/2007

Veloso, H.P., Rangel F°, A.L.R, Lima, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**, IBGE, Rio de Janeiro, 1991.

Xavier da Silva, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**, Ed. do autor, Rio de Janeiro, 2001, 227 p.

- ❧ -