

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: OPORTUNIDADES DE INVESTIMENTOS EM
STARTUPS

Marcella Dias de Freitas

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

Orientador: Amaro Olímpio Pereira Junior

Rio de Janeiro

Março de 2020

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: OPORTUNIDADES DE INVESTIMENTOS EM
STARTUPS

Marcella Dias de Freitas

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

Orientador: Amaro Olímpio Pereira Junior

Aprovada por: Prof. Amaro Olímpio Pereira Junior

Prof. David Alves Castelo Branco

Prof. Marcus Vinicius de Araujo Fonseca

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2020

Freitas, Marcella Dias

Transição Energética: Oportunidades de Investimentos em *Startups*/ Marcella Dias de Freitas - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2020.

XI, 74 p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Amaro Olímpio Pereira Junior

Dissertação (Mestrado) – UFRJ / COPPE / Programa de Planejamento Energético, 2020.

Referências Bibliográficas: p.69-74.

1. Hype Cycle. 2. Cleantech. 3. Tecnologias de Energia Limpa.

I. Pereira Junior, Amaro Olímpio. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

"Não espere por grandes líderes; faça você mesmo, pessoa a pessoa. Seja leal às ações pequenas, porque é nelas que está a sua força."

Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

Impossível começar agradecendo alguém que não seja minha família. Primeiramente, aos meus pais. Sem eles, jamais teria chegado até aqui. Sempre acreditaram em mim, me proporcionaram todas as oportunidades de alcançar meus objetivos e demonstraram orgulho pelas minhas conquistas, como se fossem deles próprios. Obrigada pela minha vida, pela paciência, pela dedicação e pelo amor. Sem vocês, eu nada seria, nem nada teria alcançado.

Agradeço ao meu avô Jayme, que me ensinou e ensina, todos os dias, a ser uma pessoa melhor. Não existe maior exemplo do que ele mesmo para isso. Seus sorrisos nos almoços de sábado me deram muito mais força do que você imagina. Agradeço a toda a minha família pela paciência e pela compreensão por toda a minha ausência ao longo do período. Aos meus amigos, pelo apoio de sempre, principalmente àqueles que fiz durante o curso e que levarei para a vida. Ao meu grande amigo, Bernardo Baptista (com “p” mudo), um agradecimento especial por toda a ajuda, suporte emocional e por ter sido a minha maior referência bibliográfica durante o desenvolvimento deste trabalho, sempre com uma inacreditável paciência, para quem estava passando pelos mesmos sufocos que eu.

Ao professor e orientador Amaro Pereira pela oportunidade, pela confiança e por tudo que me ensinou, desde as aulas até a dissertação. Muito obrigada por todo o apoio, por ser sempre solícito e presente e por não ter desistido de mim. Agradeço também aos colegas Eliab Beserra e Marlon Bellido, sempre muito disponíveis para me ajudar e a sanar todas as minhas dúvidas. Sem sua orientação e ajuda, também não teria conseguido concluir este trabalho.

Agradeço a todos os docentes do PPE. Descobri, em suas aulas, o prazer em estudar. Sinto uma grande admiração por todos e um grande orgulho de ter sido sua aluna. Um agradecimento especial ao professor Roberto Schaeffer, pela oportunidade que me deu, na qual aprendi tanto.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma, e que tornaram possível esta conquista, os meus mais sinceros agradecimentos.

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

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: OPORTUNIDADES DE INVESTIMENTOS EM *STARTUPS*

Marcella Dias de Freitas

Março/2020

Orientador: Amaro Olímpio Pereira Junior

Programa: Planejamento Energético

O processo de transição energética é iminente e inevitável. O desenvolvimento tecnológico bastante intenso nos últimos anos contribuiu fortemente para mudanças estruturais significativas no setor elétrico. Como parte dessas mudanças, podem ser citadas, por exemplo, o aumento da geração distribuída, o surgimento de tecnologias disruptivas, como as *smart grids* e *smart homes*, e a eletrificação dos transportes. Neste sentido, o papel das empresas tradicionais irá mudar e uma maneira de se adaptarem a estas mudanças é o investimento em *startups* de *cleantech*, que oferecem produtos de inovação em tecnologia limpa, de maneira mais eficiente e mais barata do que grandes empresas. Este trabalho possui como principal objetivo oferecer um produto de auxílio a tomada de decisão para investidores, traduzido sob a forma de uma curva de maturidade de tecnologia - a *Hype Cycle* -, de forma que as grandes empresas possam investir em *startups* de *cleantech* através da modalidade de investimentos *venture capital*. Dos resultados obtidos, foi possível concluir que, apesar de haver algumas críticas à metodologia, as curvas *Hype Cycle* construídas descreveram suficientemente bem o nível de maturidade das tecnologias avaliadas no Brasil para o momento atual. Assim, a metodologia se confirma como importante ferramenta de apoio a tomada de decisão do investidor, que passa a contar com mais uma informação para decidir quando realizar seus investimentos.

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

ENERGY TRANSITION: INVESTMENT OPPORTUNITIES IN STARTUPS

Marcella Dias de Freitas

March/2020

Advisor: Amaro Olímpio Pereira Junior

Department: Energy Planning

The process of energy transition is imminent and inevitable. The intense technological development in recent years has contributed strongly to significant structural changes in the electricity sector. As part of these changes, can be mentioned, for example, the increase in distributed generation, the development of disruptive technologies, such as smart grids and smart homes, and the electrification of the transport sector. In this sense, the role of traditional electric companies will change, and way to adapt to this new structure is investing in cleantech startups that offer clean technology innovation products more efficiently and cheaper than large companies. This work has as main objective to offer a product to support decision making for investors, translated in the form of a technology maturity curve - Hype Cycle -, so that large companies can invest in cleantech startups through the modality of venture capital investments. From the results obtained in this work, it was possible to conclude that, although there are some criticisms to the methodology, the Hype Cycle curves described the level of maturity of the technologies evaluated sufficiently well for the current moment in Brazil. Thus, the methodology is confirmed as an important support tool for investor decision making, which now has more information to decide when to make its investments.

Sumário

1	Introdução.....	1
2	Metodologias de Análise de Maturidade de Tecnologias	8
3	Curva Hype Cycle	28
3.1	Levantamento Bibliométrico	28
3.2	Construção da Curva <i>Hype Cycle</i>	35
3.3	Armazenamento de Energia.....	37
3.4	Smart Grids	44
3.5	Veículos Elétricos	48
3.6	Eólica	52
4	Análise de Resultados	58
5	Conclusão	65
6	Referências Bibliográficas	68

Índice de Figuras

Figura 1 – Curva de Adoção e Curva de Maturidade	Erro! Indicador não definido.
Figura 2 – Curvas de Adoção e de Maturidade e seus Níveis	9
Figura 3 – Curva de Adoção com Base em Inovatividade	10
Figura 4 - Curva de Maturidade com Inovações	14
Figura 5 - Technology Readiness Levels	15
Figura 6 - TRI e CRI	18
Figura 7 - Curva Hype Cycle.....	22
Figura 8 - Curva Hype Cycle.....	23
Figura 9 - Fases da Hype Cycle.....	25
Figura 10 - Fases da Hype Cycle.....	25
Figura 11 - Indicadores dos Estágios da Hype Cycle.....	27
Figura 12 - Acesso a Base WoS	29
Figura 13 - Página Inicial de Pesquisa Avançada Base WoS.....	30
Figura 14 - Resultados da Busca na Base WoS.....	30
Figura 15 - Exemplo de Refinamento de Pesquisa na Base WoS - Ano de Publicação.	31
Figura 16 - Análise de Resultados de Pesquisa na Base WoS (por Instituição).....	31
Figura 17 - Análise de Resultados de Pesquisa na Base WoS (por País).....	32
Figura 18 - Análise de Resultados de Pesquisa na Base WoS (por Autor)	32
Figura 19 - Opção de Salvar Dados na Base WoS	33
Figura 20 - Rede Elétrica Tradicional	44
Figura 21 - Rede Elétrica Inteligente.....	45

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Artigos Relacionados à Armazenamento de Energia.....	40
Gráfico 2 - Curvas em Forma de Sino e de S para a Tecnologia de Armazenamento de Energia.....	42
Gráfico 3 - Hype Cycle Armazenamento de Energia.....	43
Gráfico 4 - Artigos Relacionados à <i>Smart Grids</i>	46
Gráfico 5 - Curvas em Forma de Sino e de S para a Tecnologia de <i>Smart Grids</i>	47
Gráfico 6 - Hype Cycle <i>Smart Grids</i>	48
Gráfico 7 - Artigos Relacionados à Veículos Elétricos.....	50
Gráfico 8 - Curvas em Forma de Sino e de S para a Tecnologia de Veículos Elétricos	51
Gráfico 9 - Hype Cycle Veículos Elétricos	52
Gráfico 10 - Artigos Relacionados à Geração de Energia Eólica.....	54
Gráfico 11 - Curvas em Forma de Sino e de S para a Tecnologia de Geração Eólica ...	56
Gráfico 12 - Hype Cycle Geração de Energia Eólica.....	56

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Níveis de Maturidade	9
Tabela 2 - Categorias do Adotante	11
Tabela 3 - Descrição do Resumo dos Status.....	20
Tabela 4 - Descrição dos Indicadores.....	21
Tabela 5 - Metodologia de Pesquisa - Levantamento Bibliográfico	34
Tabela 6 - Serviços e Benefícios dos SAEs.....	38
Tabela 7 - R^2 para Funções de Ajuste para Tecnologia de Armazenamento de Energia	41
Tabela 8 - Parâmetros de Ajuste para Tecnologia de Armazenamento de Energia	41
Tabela 9 - R^2 para Funções de Ajuste para Tecnologia de <i>Smart Grids</i>	46
Tabela 10 - Parâmetros de Ajuste para Tecnologia de <i>Smart Grids</i>	47
Tabela 11 - R^2 para Funções de Ajuste para Tecnologia de Veículos Elétricos.....	50
Tabela 12 - Parâmetros de Ajuste para Tecnologia de Veículos Elétricos.....	51
Tabela 13 - R^2 para Funções de Ajuste para Tecnologia de Geração Eólica	55
Tabela 14 - Parâmetros de Ajuste para Tecnologia de Geração Eólica.....	55

1 Introdução

No contexto de transição do setor elétrico brasileiro em que se promove incentivo às energias renováveis e à geração distribuída, os investimentos em novas tecnologias vêm crescendo significativamente. As inovações desenvolvidas favorecem a criação de *startups* e podem provocar profundas mudanças no setor elétrico, assim como aconteceu no setor de telecomunicações no início dos anos 2000 (Mendonça, 2018).

As novas tecnologias responsáveis por tais rupturas no setor elétrico são conhecidas como Recursos Energéticos Distribuídos (RED), em que se podem incluir as “tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, localizados dentro dos limites da área de uma determinada concessionária de distribuição, normalmente junto a unidades consumidoras, atrás do medidor (*behind-the-meter*)” (EPE, 2018). Dentre elas, pode-se citar:

- i. Geração distribuída
- ii. Armazenamento de energia
- iii. Veículos elétricos e estrutura de recarga
- iv. Eficiência energética
- v. Gerenciamento pelo lado da demanda.

Segundo a EPE (2018), nos últimos anos tem-se observado um crescimento dos RED, o que indica um grande potencial ruptivo com uma transformação profunda dos sistemas elétricos atuais, que são, em sua maior parte, operados com recursos de maior porte e gerenciados de forma centralizada. Os recursos energéticos distribuídos podem reduzir perdas elétricas, ao aumentar a proximidade entre geração e consumo. Além disso, os RED estão também relacionados com a redução do custo de atendimento à demanda, pois oferecem confiabilidade para os operadores do sistema em situações extremas, fazendo com que usinas mais caras não precisem ser acionadas, por exemplo.

Tradicionalmente, inovações tecnológicas no setor elétrico estão em sua maior parte relacionadas a projetos de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) (Greco et. al, 2016). Porém, na última década, investimentos de capital de risco em tecnologias de energia limpa (*cleantech*) apresentaram uma explosão de crescimento (Gaddy et al., 2017). Um estudo desenvolvido pelo WWF (WWF-Brasil, 2017) aponta três cenários possíveis para inovação de tecnologia limpa: o primeiro com forte criação de ecossistemas de inovação,

o segundo com forte criação de *startups* de inovação e o terceiro com fortes comercializadores. Assim, o cenário que será discutido neste trabalho é exatamente aquele de investimentos de capital de risco em *startups* de *cleantech*.

Existe uma modalidade de investimentos chamada de Capital de Risco (*Venture Capital*) é caracterizada pela compra de uma participação acionária geralmente minoritária, objetivando a valorização das ações da empresa para posterior saída da operação. Os investidores dessa modalidade investem em tecnologias de risco desenvolvidas por empresas em seu estágio inicial de maturidade, em troca de uma participação acionária nas mesmas (Gaddy et al., 2017).

Ainda segundo Gaddy et al. (2017), os investimentos de risco geralmente têm a duração de 10 anos, aproximadamente, e são caracterizados pelo investimento em um conjunto de 10 a 20 empresas, em seus primeiros anos de vida. Os investimentos são realizados com as expectativas de que apenas um ou dois serão bem-sucedidos, de forma a compensar os demais que não foram. O retorno esperado nesse tipo de investimento é de 10 a 100 vezes o valor investido, dentro de três a cinco anos da realização do investimento.

Mendonça (2018) define uma *startup* de energia como sendo "aquela que atua em algum elo da cadeia de geração, transmissão, distribuição ou comercialização de energia. Também se considera como tal a empresa que opere em uma cadeia adjacente cujas inovações possam afetar substancialmente a oferta ou a demanda de energia futura, como, por exemplo, iniciativas voltadas à eficiência energética, automóveis elétricos/híbridos ou baterias estacionárias avançadas".

Gaddy et al. (2017) desenvolveram um estudo em que se avaliam os riscos e retornos de um investimento de capital de risco em *cleantech*. Dos resultados encontrados, entendeu-se que um dos principais problemas é que o tempo do retorno do investimento foi de três a cinco anos a mais do que se espera de investimentos de VC (*Venture Capital*). Outras dificuldades foram enfrentadas, como o grande volume de capital necessário como investimento e a relutância por parte dos investidores em comprar o risco das *startups*, valorando mais as empresas baseado em seu lucro do que em seu potencial de crescimento.

As *startups* de energia também enfrentam as dificuldades de se encontrarem em um ambiente regulado (Mendonça, 2018). Além disso, há barreiras à entrada de novas

empresas pelo fato destas *startups* requererem elevado custo de investimento inicial. Isso dificulta bastante a difusão de suas tecnologias no mercado.

Apesar de o Brasil ter um grande potencial em energias limpas (de baixo carbono), em razão da sua abundante quantidade de recursos renováveis e relativamente baixa dependência de combustíveis fósseis, o país não se destaca em termos de inovação de tecnologia limpa. Isso se deu principalmente depois que começou a investir mais pesadamente na extração de petróleo do pré-sal, insistindo em uma matriz energética ainda fortemente baseada em combustíveis fósseis, remando contra a tendência mundial de substituição por renováveis.

Dessa forma, percebe-se a seguinte contradição: em um cenário mundial de tendência de investimento em renováveis motivada por diversos fatores ambientais e econômicos, o Brasil, apesar do enorme potencial renovável – em 2018, 83,3% da matriz elétrica brasileira era de renovável, segundo o BEN (2019) –, ainda se encontra atrasado no investimento de tecnologia e inovação neste setor.

Conceitualmente, as fontes de energia podem ser primárias, secundárias ou finais. A fonte de energia primária é aquela que se origina diretamente da natureza, como petróleo, carvão, solar e eólica. As fontes secundárias são aquelas obtidas a partir de uma fonte primária através de um processo de transformação. São exemplos de fontes secundárias a energia elétrica e os derivados de petróleo. Por fim, energia final é aquela que chega ao consumidor final, descontadas perdas no transporte e armazenamento.

Esses conceitos foram lembrados para compreender melhor a relação entre a transição energética do setor elétrico brasileiro e os investimentos em *startups* de tecnologia limpa, considerando a tendência atual de investimento em *startups* ligadas a energias renováveis por parte de grandes empresas do setor elétrico, conforme aponta Mendonça (2018).

Um fator que contribuiu no Brasil para a expansão dos referidos investimentos foi a resolução 482/2012 da ANEEL (atualizado posteriormente pela 687/2015), que regulamentou o uso de qualquer fonte renovável com potência instalada de pelo menos 75kW e no máximo 5MW de potência conectada à rede de distribuição através de instalações em unidades consumidoras. Isto é, a agência reguladora do setor permite que qualquer consumidor tenha sua própria planta geradora, desde que ela seja de fonte renovável e desde que esteja dentro dos limites de potência estabelecidos, sem que a

distribuidora responsável pela área de concessão possa impedir. Além de incentivar as fontes renováveis de energia, a geração distribuída ainda se apresenta como vantagem econômica para o consumidor, que injeta sua energia no *grid* e tem uma redução em sua fatura.

Além disso, a utilização de energia elétrica no transporte de pessoas pode ser considerada uma tecnologia disruptiva, que também se encaixaria no conceito de fonte secundária. No caso extremo de substituição de toda a frota de veículos de transporte de pessoas para carros elétricos, toda a logística associada a esse processo teria que ser detalhadamente estudada. A distribuição de postos de abastecimento pela cidade, considerando a autonomia das baterias e a alteração da curva de carga de consumo diário de energia, em que os picos de consumo poderiam ocorrer em uma determinada hora do dia em que a maior parte da população estivesse chegando do trabalho - e a rede teria que suportar esta sobre demanda - são exemplos de mudanças drásticas que essa tecnologia ocasionaria.

Dessa forma, é possível perceber que as distribuidoras são um grande exemplo de empresas que deveriam ter interesse em inovações advindas de *startups* de *cleantech*, uma vez que essas inovações podem funcionar como a estratégia a ser adotada para que essas empresas se adaptem e continuem sendo peça fundamental no setor elétrico brasileiro.

No contexto do uso final, em residências ou indústrias, uma das aplicações de tecnologias que se destaca é a própria geração distribuída, já mencionada anteriormente. Além dela, pode-se citar também as redes elétricas inteligentes (*smart grids*), inteligência artificial, internet das coisas, *smart homes*, sistemas de armazenamento de energia, entre outros (Mendonça, 2018). Para exemplificar, em uma *smart home* é possível economizar energia através de sensores que façam com que as luzes de um cômodo só acendam quando alguém entrar no mesmo, ou se não tiver luz natural; também pode-se automatizar cortinas ou persianas, para que elas abram em determinados horários do dia para maior aproveitamento da luz natural; além de poder controlar o consumo de energia de todos os seus aparelhos através de um *smartphone*, de forma a evitar desperdícios. Segundo Mendonça (2018), tecnologias que permitem armazenamento de energia são fundamentais para a indústria, de forma a garantir maior segurança energética frente à intermitência de fontes renováveis como solar e eólica.

Todas as mudanças que o setor elétrico vem sofrendo, incluindo o aumento dos recursos energéticos distribuídos, fazem com que novas discussões sejam travadas, a respeito das

adaptações necessárias ao planejamento, aos modelos de mercado e arcabouços normativo-regulatórios atualmente vigentes, buscando potencializar e otimizar os benefícios desta disrupção (EPE, 2018).

Sendo assim, verifica-se que existem infinitas possibilidades, já idealizadas ou não, de tecnologias e inovações que promovem a economia de energia e o incentivo à geração através de fontes limpas, muito significativas em um contexto de extrema preocupação ambiental. Sendo o Brasil um país com grande potencial de aproveitamento de energia limpa, as possibilidades são ainda maiores, podendo se destacar com pioneirismo em diversas tecnologias que podem significar uma completa reestruturação do setor elétrico.

Segundo a EPE (2018), a inserção de um novo agente ativo no setor elétrico, o consumidor, tem como consequência uma menor previsibilidade ao planejamento. Assim, o planejamento não deve ser focado em prever o futuro, mas sim em criar condições para que as inovações aconteçam e sejam assimiladas naturalmente (EPE, 2018). Dessa forma, faz parte do escopo deste trabalho expor as empresas de inovação em tecnologia limpa, as *startups* de *cleantech*, facilitando a conexão entre o investidor e a tecnologia na qual se deseja investir, fornecendo um produto de apoio à tomada de decisão.

Assim, esta transição energética propicia o surgimento de *startups* de *cleantech* e desperta a necessidade de adaptação das principais empresas que fazem parte do setor elétrico brasileiro. O conceito de *startup* está diretamente relacionado com inovação. Neste caso, trata-se de *startups* de *cleantech*, isto é, empresas que apresentam novas tecnologias de energia limpa. Uma das maneiras de se adaptar é através de investimentos do tipo *venture capital* nestas *startups*.

Este trabalho tem como objetivo principal construir uma ferramenta que auxilie na tomada de decisão do investidor de empresas que investem em tecnologias de alto risco, sendo o alvo desses investimentos as *startups* de energia limpa. Como já mencionado, uma das maiores barreiras para *startups* no mercado de energia é o custo de investimento inicial. Assim, o que se pretende desenvolver é um produto que sirva como apoio à tomada de decisão de investimentos de *venture capital*, expondo as *startups* para os potenciais investidores. Existem algumas metodologias que possibilitam este estudo. Dessa forma, faz parte também do escopo deste trabalho uma revisão bibliográfica destas metodologias, justificando a escolha pela Hype Cycle.

Além da pesquisa bibliográfica para contextualização e justificativa da relevância do tema, foi realizado um levantamento das *startups* de *cleantech* do Brasil para, posteriormente, construir uma curva Hype Cycle de forma a alocar as *startups* na curva, de acordo com o nível de maturidade da tecnologia que oferecem. Este levantamento foi realizado no trabalho de (Bellido et al., 2019), identificando *startups* brasileiras financiadas pelos fundos de investimento Finep Startup, InovAtiva, StartSe, ABStartups, 100StW e Crunchbase, além de *startups* incubadas ou graduadas nas incubadoras de empresas associadas à ANPROTEC. Foram consideradas empresas *cleantech*, mesmo aquelas que não possuem tecnologias limpas como atividades primárias, pois podem fazer uso dessas tecnologias em algum de seus processos.

A base foi organizada de acordo com o estado do Brasil em que as *startups* estão localizadas e com a sua atividade principal. Para a classificação de atividade, foi utilizada a metodologia Kachan nível 1¹ para todas as empresas consideradas de *cleantech*. Para as *startups* não consideradas de *cleantech*, foi utilizada a classificação “Outros”. Estas empresas foram consideradas pois, apesar de não apresentarem tecnologias limpas como atividade principal, podem fazer uso dessas tecnologias em algum de seus processos (Bellido et al., 2019).

No trabalho desenvolvido por Bellido et al. (2019), a base de *startups* abrangeu 1221 empresas, sendo que 30% se enquadravam nas taxonomias de Kachan de *cleantech*. Depois da construção da base, foram enviados e-mails com o link para a pesquisa através de uma plataforma chamada *Mailchimp*, que permite acompanhar a quantidade de e-mails abertos e de acessos à pesquisa. A taxa de e-mails abertos foi de 26,2%, dos quais 14,4% acessaram o link da pesquisa. De forma a conseguir mais respostas, foram realizadas ligações para empresas que não haviam respondido a pesquisa, focando apenas em *startups* de *cleantech* de energia.

Assim, deseja-se desenvolver um produto, cujo objetivo é auxiliar na tomada de decisão de grandes empresas do setor elétrico, ao realizar investimentos do tipo *venture capital* em *startups* de *cleantech*, ao permitir que o investidor escolha a tecnologia dependendo também do seu nível de maturidade, o que estará refletido na posição da tecnologia na curva Hype Cycle.

¹ A metodologia Kachan de nível 1 possui quatro classificações: Energia Limpa, Armazenamento de energia, Eficiência e Transporte (Bellido et al., 2019).

A dissertação está estruturada da seguinte maneira: após esta introdução, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre metodologias de análise de maturidade de tecnologias, no Capítulo 2. Em seguida, no Capítulo 3, é apresentada a metodologia utilizada neste trabalho para a construção da curva Hype Cycle, bem como sua aplicação para algumas tecnologias de energia limpa. Nos Capítulos 4 e 5 são apresentadas a análise dos resultados e a conclusão deste trabalho. Finalmente, o Capítulo 6 corresponde às referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

2 Metodologias de Análise de Maturidade de Tecnologias

Existem algumas metodologias comumente utilizadas para avaliar o nível de maturidade de uma nova tecnologia no mercado ao longo do tempo. Nesta seção, serão estudados os principais, justificando a escolha pela metodologia adotada para desenvolvimento deste trabalho.

Segundo O’Leary (2009, apud Linden e Fenn, 2003 & Fenn, 2007), existem alguns modelos de ciclo de vida de tecnologias que tentam medir sua evolução. Os mais populares, ainda segundo ele, são a Curva de Maturidade (*Maturity Curve*) – que mostra o aumento de performance da tecnologia ao longo do tempo – e a Curva de Adoção (*Adoption Curve*) – que mostra a aceitação do mercado perante a esta nova tecnologia ao longo do tempo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

A curva de maturidade mostra as mudanças em uma tecnologia ao longo do tempo, de forma a se adequar às necessidades dos usuários dela. Por causa de seu formato, também é conhecida como Curva S. A Curva S mapeia o nível de capacidade cumulativa da tecnologia e pode ser fracionada em níveis de maturidade, como evidenciado na Tabela 1 e na Figura 1.

Nível de Maturidade	Status	Produtores/Vendedores
Embrionário (<i>Embryonic</i>)	Em laboratório	Nenhum
Emergente (<i>Emerging</i>)	Comercialização por fornecedores pilotos e implantações por líderes da indústria	Primeira geração; alto preço; altos níveis de customização
Adolescente (<i>Adolescent</i>)	Amadurecimento das capacidades da tecnologia e processo de entendimento além dos primeiros adeptos	Segunda geração – menos customização
<i>Early Mainstream</i>	Fornecedores comprovados da tecnologia e crescimento rápido de sua adoção	Terceira geração – mais metodologias “fora da caixa”

<i>Mature Mainstream</i>	Tecnologia robusta, sem muita evolução dos vendedores ou da própria tecnologia	Alguns vendedores dominantes no mercado
Legado (<i>Legacy</i>)	Não apropriado para novos desenvolvimentos – restrições de custo de migração; substituição da tecnologia	Foco na manutenção da receita
Obsolescência (<i>Obsolescence</i>)	Tecnologia pouco usada; nova tecnologia substitui a original	Mercado de revenda ou de usados, somente

Tabela 1 - Níveis de Maturidade

Fonte: Elaboração própria, baseado em: O’Leary (2009) apud Fenn (2007)

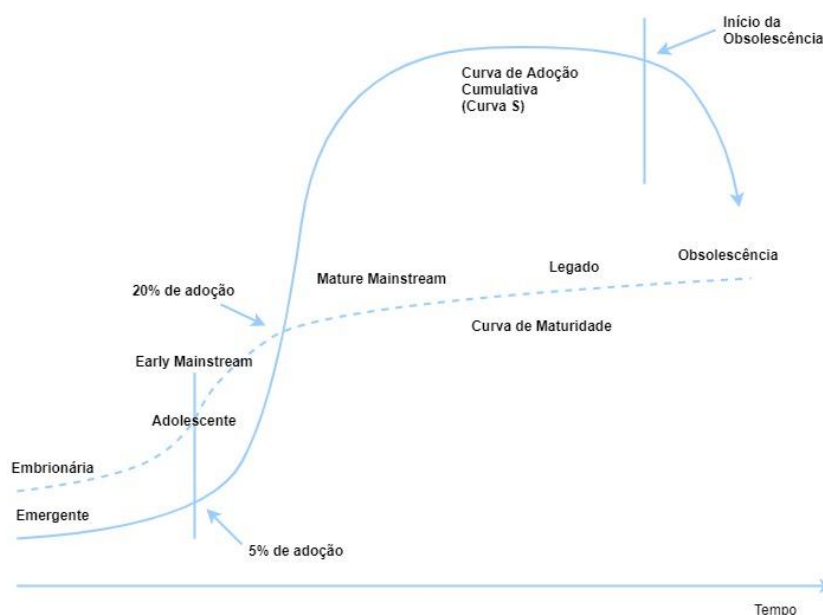


Figura 1 – Curvas de Adoção e de Maturidade e seus Níveis

Fonte: Elaboração Própria, baseado em: O’Leary (2009) apud Linden and Fenn (2003) & Fenn (2007)

A Curva de Adoção pode ser apresentada de duas formas. Uma delas é a versão cumulativa, que mostra, como o próprio nome diz, a adoção cumulativa de uma tecnologia ao longo do tempo. Como se pode ver na Figura 1, o ponto de interseção entre as duas curvas indica uma taxa de adoção de, aproximadamente, 20% (O’Leary, 2009,

apud Linden e Fenn, 2003 & Fenn, 2007). Outra versão da Curva de Adoção, também estudada por O’Leary (2009, apud Rogers, 1983), inclui informações adicionais para a versão de densidade de probabilidade da curva, em contraste com a versão cumulativa. Esta versão pode ser visualizada na Figura 2. Os tipos “ideais” de empresas são gerados com base em quando a tecnologia é adotada: inovadores (*innovators*), adotantes iniciais (*early adopters*), maioria inicial (*early majority*), maioria tardia (*late majority*) e retardatários (*laggards*), como consta na Tabela 2.

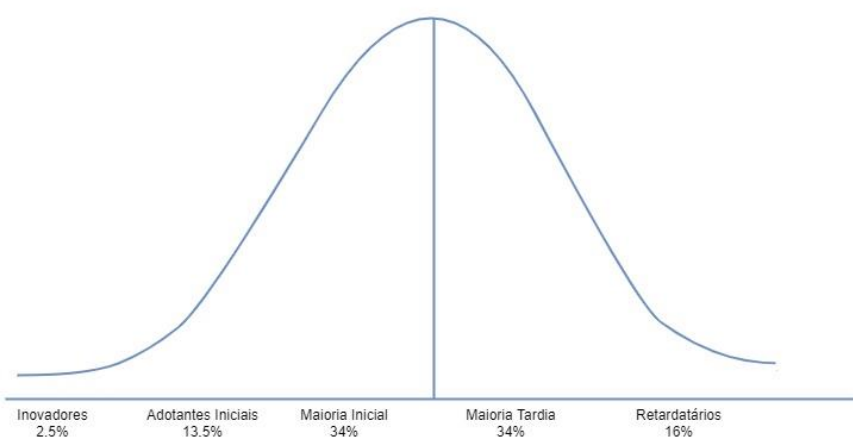


Figura 2 – Curva de Adoção com Base em Inovatividade

Fonte: Elaboração Própria, baseado em: O’Leary (2009) apud Rogers (1983)

Categoria do Adotante	Características Chave	Função
Inovadores (Innovators)	Arriscado, ansioso para tentar novas ideias. Padrões de comunicação entre inovadores são comuns	Lança a nova ideia no sistema social ao importar a ideia de fora deste sistema
Adotantes Iniciais (<i>Early Adopters</i>)	Respeitado, possui o maior grau de liderança de opinião. São as pessoas com as quais se deve falar antes de aderir a uma nova ideia	Reduz a incerteza sobre a ideia ao adotá-la e então transmitir uma avaliação a seus pares
Maioria Inicial (<i>Early Majority</i>)	Cauteloso, adota a nova ideia logo antes da média.	Transmite disposição deliberada na adoção de

	Interage com os pares, mas não em uma posição de liderança	inovações, mas não lidera o processo
Maioria Tardia (<i>Late Majority</i>)	Cético, adota a nova ideia depois da média. Se aproxima das inovações com ar cético e cauteloso	Seus recursos escassos significam que toda a incerteza sobre a ideia deve ser removida para que possam adotá-la
Retardatários (<i>Laggards</i>)	Tradicional, não possui nenhum tipo de liderança. Seu ponto de referência é o passado. Quando retardatários adotam uma nova ideia, ela geralmente já foi suplantada	Últimos a adotar uma inovação

Tabela 2 - Categorias do Adotante

Fonte: O'Leary, 2009 apud Rogers, 1983

Falando mais profundamente sobre os estágios da Curva de Maturidade, pode-se começar pelo primeiro deles, o Embrionário. Ele é caracterizado pelos trabalhos de pesquisa e de hardware, além de ser o estágio onde se decidem questões de design e se iniciam os modelos embutidos no software bem como os aplicativos, antes da comercialização (O'Leary, 2009). Neste estágio, ainda não há dados para análise e nem estudos de caso para avaliar os impactos da tecnologia. Porém, já é possível antecipar desenvolvimentos e aplicações ao solicitar a opinião de experts no assunto (O'Leary, 2009 apud O'Leary, 2002).

Na fase seguinte, Emergente, as novas tecnologias estão sendo lançadas pela primeira vez, fazendo com que este estágio seja caracterizado pela comercialização, pela existência de produtos piloto e implantações por parte de líderes da indústria. Porém, se trata da primeira versão desta nova tecnologia. Assim, a ideia é fazer uso dos feedbacks dos primeiros usuários, de forma a aprimorar a tecnologia para suas próximas versões. Conforme as novas tecnologias passam da fase embrionária para a fase emergente, é necessário se preocupar não somente com questões de aprimoramento, mas também outras questões importantes que vão além da sua funcionalidade como, por exemplo, a

segurança. Esta questão é bastante significativa, principalmente para que a tecnologia seja bem aceita em ambientes de grandes corporações.

Em Adolescente, a tecnologia já está em sua segunda geração, o que caracteriza o início de sua estabilização. Neste estágio, as empresas já ganharam experiência suficiente com a nova tecnologia, possibilitando o surgimento de melhores práticas em relação a ela. Conforme as empresas vão utilizando a tecnologia, os estudos anteriormente realizados sobre ela perdem um pouco da sua importância (O'Leary, 2009 apud O'Leary, 2002). Porém, este mesmo cenário abre margem para novos estudos sobre os verdadeiros efeitos da tecnologia. Estudos comportamentais podem ajudar a entender melhor as forças e as fraquezas associadas ao uso da nova tecnologia, o que pode ser bastante significativo para uma terceira geração (O'Leary, 2009).

A próxima fase se chama, em inglês, *Early Mainstream* e, como o próprio nome diz, é quando a tecnologia começa a se tornar padrão. Neste momento, as pesquisas empíricas não tendenciosas associadas a adoção da tecnologia em organizações é mais factível, uma vez que existe uma grande amostra de empresas que adotaram a tecnologia. Questões relacionadas a design e os estudos de caso se tornam menos interessantes, já que a tecnologia já foi adotada e já existe uma terceira versão do produto (O'Leary, 2009). A fase seguinte é a *Mature Mainstream* e é muito similar a anterior. Nesta fase, o processo iniciado na fase anterior é continuado, alcançando um maior nível de maturidade da tecnologia.

As duas últimas fases se chamam Legado e Obsolescência. Na primeira, a tecnologia já alcançou seu maior nível de maturidade, é bem aceita pelos usuários e bastante dispersa. A última fase, como pode-se inferir do seu nome, é aquela em que a tecnologia encontra-se obsoleta. É interessante entender o que torna uma tecnologia obsoleta, de forma a tentar prever quando isso acontecerá (O'Leary, 2009).

A Curva de Adoção também é marcada por diferentes estágios. Porém, no seu caso, os estágios dizem respeito à caracterização dos atores associados ao processo de adoção da tecnologia. O ponto onde a tecnologia se encontra na Curva de Adoção dá informações sobre a quantidade de empresas disponíveis para uma pesquisa. Assim, há uma forte relação entre o estágio da tecnologia na Curva de Adoção e a quantidade e o tipo de empresas que adotam essa tecnologia. Além disso, segundo O'Leary (2009, apud

Harrison e Waite, 2006), os benefícios de se adotar uma nova tecnologia variam significativamente dependendo do estágio em que esta tecnologia se encontra na curva.

A interação entre as Curvas de Adoção e de Maturidade é bastante útil no que diz respeito à identificação dos tipos de firmas envolvidos em diferentes níveis de adoção da tecnologia. A partir da Figura 1, é possível tirar algumas conclusões, como por exemplo que, aproximadamente, 5% dos adotantes ocorrem quando a tecnologia está nas fases Embrionária, Emergente e Adolescente da Curva de Maturidade. Além disso, 20% de adoção significa que a tecnologia passou pelo período de *Early Mainstream*. Assim, a partir desta análise, pode-se perceber que tipos específicos de empresas estão mais propensas a adotar uma tecnologia em um determinado período do seu curso. Dessa forma, se forem coletados dados de uma tecnologia em seu estágio embrionário, é mais provável que se encontrem empresas do tipo Inovador (*Innovator*), por exemplo (O’Leary, 2009).

Um ponto importante levantado por O’Leary (2009) é que, quando existe uma inovação, há um “declive” na Curva de Maturidade, conforme mostra a Figura 3. Segundo ele, isso é consistente com as noções de adoção de tecnologias de duas formas. A primeira delas é que, depois da adoção de qualquer tecnologia, existe um período de tempo no qual esta nova tecnologia não traz melhorias; as implicações de como utilizar a tecnologia não estão totalmente claras. Assim, sua má utilização conduz a resultados errados, sua performance não aumenta, ao contrário dos custos. Além disso, em casos de tecnologias disruptivas, inovações muitas vezes levam a diminuições de curto prazo na capacidade de adoção.

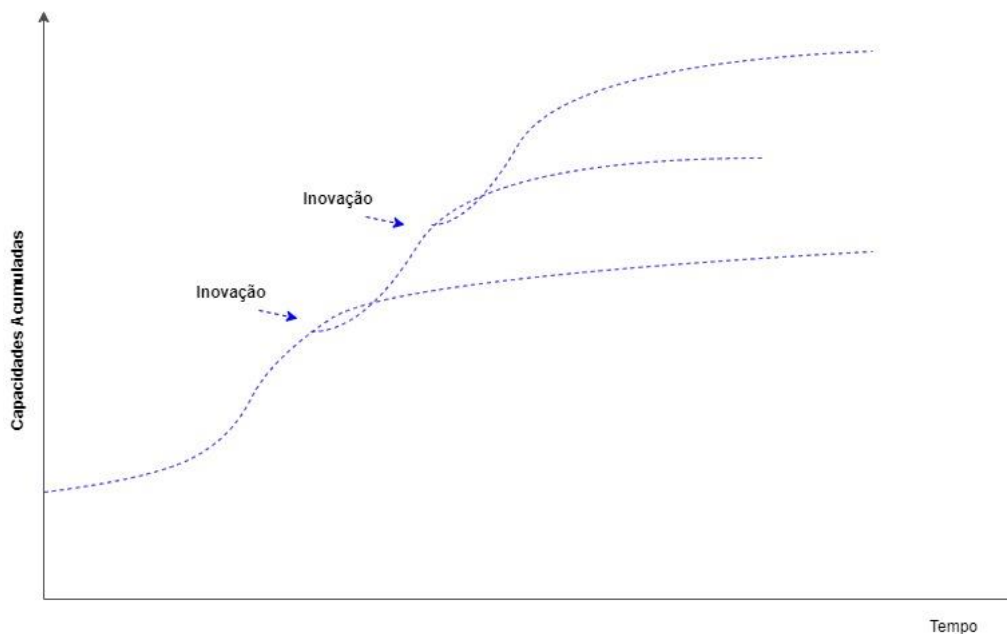


Figura 3 - Curva de Maturidade com Inovações

Fonte: Elaboração Própria, baseado em: O’Leary, 2009

O estudo realizado por O’Leary (2009) permitiu conhecer um pouco melhor as alternativas para estudar o ciclo de vida de novas tecnologias. Tanto a Curva de Maturidade quanto a Curva de Adoção possuem uma perspectiva de todo o ciclo de vida da nova tecnologia, desde a sua criação até o momento em que se torna obsoleta, isto é, não foca especificamente na fase de inserção da nova tecnologia no mercado. Porém, a análise integrada das duas curvas, proporcionando o estudo da relação entre o nível de maturidade da tecnologia (o estágio em que se encontra na curva) e não só a quantidade, mas também os tipos de empresas que mais comumente adotam essas tecnologias nesse determinado nível, é bastante interessante do ponto de vista do que se pretende estudar neste trabalho. Por outro lado, como mostrado na Figura 3, existe uma limitação da Curva de Maturidade em relação a inovações tecnológicas, o que acaba se tornando uma limitação também para seu uso neste trabalho, uma vez que o conceito de *startup* está diretamente relacionado com inovação.

Além das curvas de maturidade e de adoção, existem os TRLs (*Technology Readiness Levels*), que consistem em um sistema de medida que dá suporte à avaliação de maturidade de uma tecnologia e a comparação entre o nível de maturidade de duas tecnologias diferentes (Mankins, 1995). O TRL foi criado pela NASA em 1980, para determinar a maturidade de uma tecnologia antes de sua implementação em um sistema

(Dubos et al., 2008). Esta métrica é organizada em nove níveis, correspondentes aos estágios de desenvolvimento de uma tecnologia. Todos os níveis foram descritos por Mankins (1995), em seu trabalho sobre TRLs (Figura 4).

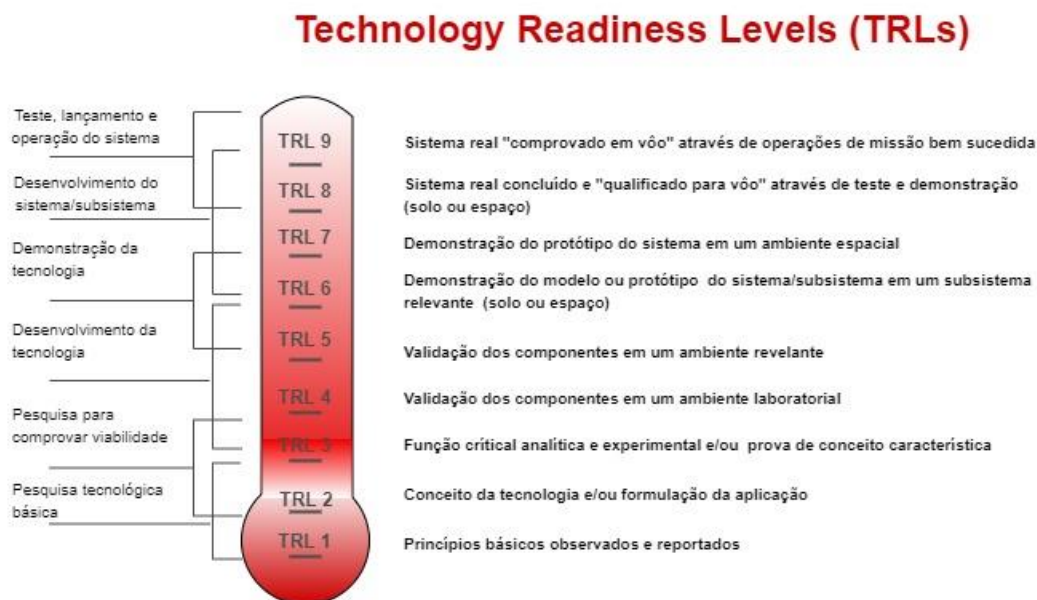


Figura 4 - Technology Readiness Levels

Fonte: Elaboração Própria, baseado em: Mankins, 2009

O primeiro nível, onde os princípios básicos são observados e reportados, é caracterizado por ser o nível mais baixo de maturidade tecnológica. É o nível em que se iniciam as pesquisas científicas e suas aplicações. Assim, o custo de investimento neste momento é baixo, pois se traduz, basicamente, em programas de pesquisa científica. O próximo nível é aquele em que o conceito da tecnologia ou da aplicação é formulado, já que os princípios básicos já foram observados na etapa anterior, possibilitando a identificação das aplicações práticas da tecnologia. Ainda assim, até então, os estudos são especulativos, isto é, não há resultados experimentais ou análises detalhadas para embasar as conclusões. Os investimentos nesse nível são da mesma natureza do nível anterior.

Em seguida, no TRL 3, são iniciados os programas de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Neste momento, são realizadas as provas de conceito, de modo a validar as aplicações e conceitos formulados no nível anterior. No TRL 4, a ideia é integrar elementos tecnológicos básicos, de forma a alcançar níveis de habilitação de conceito de desempenho para um ou mais componentes da solução. Esta validação deve dar suporte

ao que foi formulado anteriormente, além de ser consistente com o que se espera da aplicação. Neste nível, o custo de investimento começa a aumentar um pouco, quando comparado com a fase anterior.

O TRL 5 é uma extensão do TRL 4, onde há maior integração dos elementos tecnológicos, de forma a realizar testes e simulações em um ambiente mais realista. Os custos de investimento nessa fase são significativamente maiores do que na fase anterior. No entanto, é na fase seguinte, o TRL 6, que ocorre uma mudança mais significativa na maturidade da tecnologia que está sendo desenvolvida, uma vez que é o nível em que se realizam testes com protótipos em ambientes relevantes. É importante ressaltar que é necessário que essa demonstração seja bem sucedida para representar o TRL 6. Nem todas as tecnologias passarão por uma demonstração de TRL 6, pois, neste ponto, a etapa de maturação da tecnologia é mais conduzida pela garantia da confiança da gestão do que pelos requisitos de P&D.

A diferença do TRL 7 para o nível anterior é que, neste caso, o protótipo deve estar, pelo menos, próximo da escala do sistema operacional planejado e a demonstração deve ser realizada no ambiente espacial – já que se trata de uma metodologia desenvolvida pela NASA. Para alcançar este nível de maturidade, é necessário assegurar confiança na engenharia do sistema e na gestão do desenvolvimento. Portanto, a demonstração deve ser de um protótipo desse aplicativo. É importante destacar que o nível 7 só é executado em casos que a aplicação possui um risco relativamente alto.

Por fim, tem-se os dois últimos níveis, TRL 8 e 9. Todas as tecnologias aplicadas no sistema passam pelo TRL 8 e, nele, o sistema está completo e já foi aprovado através de testes e demonstrações. Na maioria dos casos, este nível representa o fim do desenvolvimento do sistema para a maioria dos elementos de tecnologia. Por isso, é o nível com maior custo de investimento. No TRL 9, o sistema já se provou bem sucedido e, geralmente, há apenas a correção de pequenos erros. O real desenvolvimento foi encerrado no nível anterior.

Os níveis de TRL são utilizados para definir em que estágio de maturidade está uma tecnologia. Um baixo TRL – por exemplo, TRL = 4 – indica uma tecnologia em estágio de pesquisa. No entanto, um alto TRL – por exemplo, TRL = 8 – indica uma tecnologia já em desenvolvimento e produção (Dubos et al., 2008).

O baixo nível de maturidade de uma tecnologia – quando possui baixo TRL ou incerteza tecnológica – está associado a um risco na programação do projeto, isto é, a incerteza na capacidade de um projeto se desenvolver de maneira aceitável, em um período de tempo, e todas as consequências decorrentes disso (Dubos et al., 2008 apud Browning, 1999). Assim, associa-se a incerteza à baixa maturidade da tecnologia, já que, quanto mais madura é uma tecnologia, maior o conhecimento disponível sobre seu desenvolvimento, fabricação e operação. Dessa forma, o amadurecimento tecnológico é um fator essencial para que se finalize um processo dentro dos limites de prazo e de orçamento (Dubos et al., 2008).

Segundo Mankins (2009), os TRLs são muito eficazes para determinar o nível de maturidade que uma tecnologia alcançou em relação a aplicações de sistemas. No entanto, TRLs não abordam a dificuldade no progresso de P&D, isto é, a dificuldade em se passar de um nível TRL para o outro, considerando um conjunto de objetivos estabelecidos pelo P&D. Este fato também é apontado por Dubos et al. (2008), que afirmam ser difícil prever quanto tempo leva para que uma tecnologia passe de um baixo para um alto nível de TRL. Esta questão é chamada de lacuna da TRL, descrita como sendo o problema de realizar a transição eficiente de uma nova tecnologia desde a sua concepção até um produto viável nos menores tempo e custo possíveis (Dubos et al., 2008 apud George e Powers, 2003).

Segundo a ARENA (*Australian Renewable Energy Agency*, 2014), embora os TRLs representem bem a maior parte dos riscos tecnológicos, existem incertezas comerciais e riscos remanescentes nas fases de demonstração e de implantação. Em um contexto onde já existem prestadores de serviço já estabelecidos no mercado e financiados por mercados de capital adversos ao risco, existe uma significativa quantidade de barreiras à entrada no processo de comercialização. Este cenário é particularmente relevante no contexto de energias renováveis e, portanto, de *startups* de *cleantech*, em que o acesso ao capital é uma barreira fundamental para acelerar o processo de implantação.

Apesar de existir um vasto campo de estudo e conhecimento sobre o processo de comercialização, que permitiu o desenvolvimento de políticas públicas e ferramentas de financiamento para implementação de energias renováveis, não havia um processo de avaliação da „prontidão comercial“ (*commercial readiness*) de tecnologias de energias renováveis. Assim, a ARENA busca auxiliar as tecnologias e projetos de energia

renovável até a sua comercialização, estruturando seu apoio financeiro, visando a redução de riscos e barreiras nas várias etapas do processo de desenvolvimento de uma tecnologia.

O CRI (*Commercial Readiness Index*) se relaciona com os TRLs de forma a complementá-los, iniciando no momento em que é realizada a pesquisa para comprovar a viabilidade da tecnologia (TRL 2) e se estendendo até o momento de sua comercialização, como mostra a Figura 5.

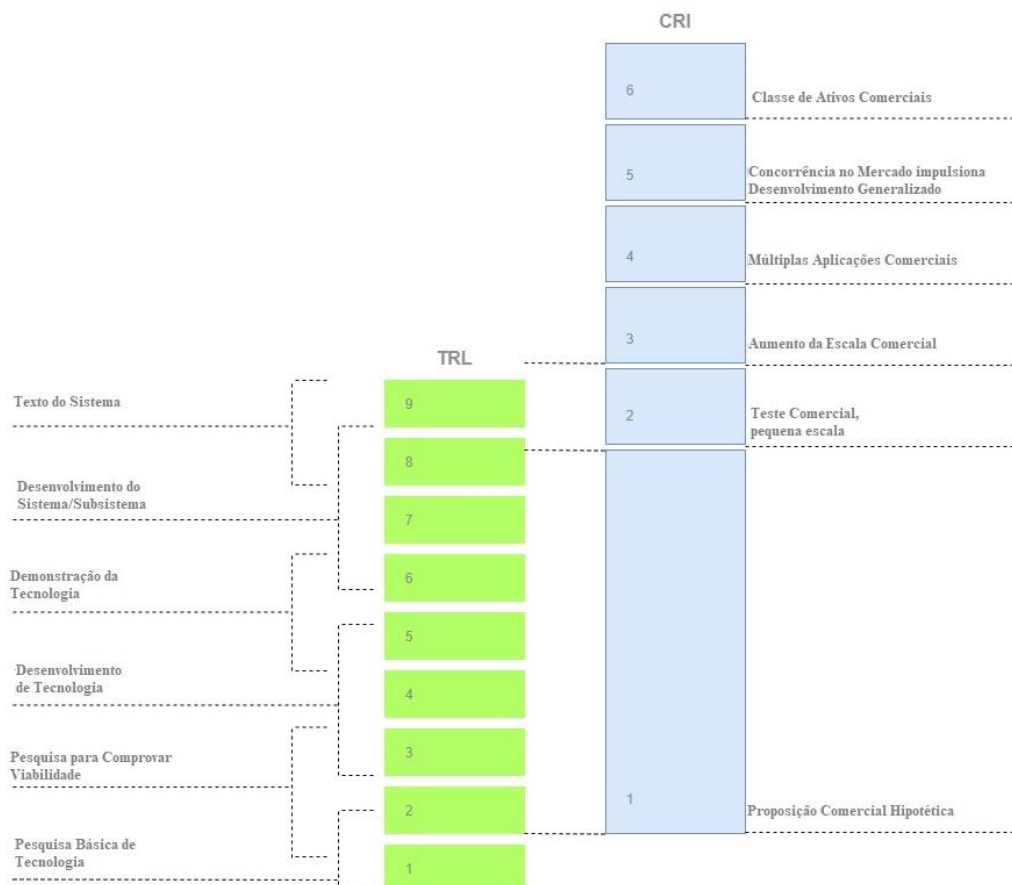


Figura 5 - TRI e CRI

Fonte: Elaboração própria, baseado em: ARENA, 2014

O CRI possui dois componentes, o Resumo do Status (*Status Summary*) e os Indicadores (*Indicators*). O primeiro componente é uma classificação geral única, numerada de 1 a 6, que se correlaciona com o status atual no mercado, como, por exemplo, Teste Comercial (*Commercial Trial*), nível 2 do Resumo do Status (Tabela 3). O Resumo do Status é determinado pela evidência em mercado e não requer que cada indicador individual esteja em seu mesmo nível. Na maioria dos casos, um determinado projeto não irá aumentar seu nível no Resumo do Status, apesar de aumentar seu indicador (ARENA, 2014).

Nível do Resumo do Status	Descrição
6	Classe de ativo “ <i>Bankable</i> ” impulsionada pelos mesmos critérios que outras tecnologias de energia maduras. Possui padrões conhecidos e expectativas de desempenho. Os riscos da tecnologia e de mercado não direcionam as decisões de investimento. Capacidade proponente, preços e outras forças de mercado típicas que impulsionam a adesão.
5	Concorrência de mercado impulsionando a implantação generalizada no contexto de configurações de políticas de longo prazo. Concorrência emergente em todas as áreas da cadeia de suprimentos com a mercantilização de componentes chave e produtos financeiros.
4	Múltiplas aplicações comerciais se tornando evidentes localmente, embora ainda haja subsídios. Existência de dados verificáveis sobre o desempenho técnico e financeiro no domínio público, gerando juros de várias fontes de dívida, embora ainda haja apoio do governo. Desafios regulatórios sendo abordados em várias jurisdições.
3	Intensificação comercial ocorrendo, impulsionada por políticas específicas e financiamento de dívidas. Proposta comercial sendo conduzida por proponentes de tecnologia e participantes do segmento de mercado – dados publicamente detectáveis impulsionam o

	interesse dos setores financeiro e regulatório.
2	Teste comercial: em pequena escala, o primeiro de um tipo de projeto financiado por capital e apoio do governo. Proposição comercial apoiada por evidências de dados verificáveis (tipicamente fora do domínio público).
1	Proposição comercial hipotética: tecnicamente pronta, comercialmente não testada e não comprovada. Proposta comercial conduzida por defensores da tecnologia com pouca ou nenhuma evidência de dados técnicos ou financeiros verificáveis para fundamentar reivindicações.

Tabela 3 - Descrição do Resumo dos Status

Fonte: Elaboração própria, baseado em: ARENA, 2014

O segundo componente são os indicadores, utilizados para traduzir o processo de comercialização de energias renováveis. Baseado na experiência passada e de uma revisão bibliográfica da literatura disponível sobre o assunto, a ARENA identificou os indicadores conforme a Tabela 4. A agência acredita que, para aprimorar uma solução de tecnologia ou a disponibilidade comercial de um aplicativo, é necessário progredir ao longo de cada um dos níveis determinados pelos indicadores. Também é esperado que projetos que estejam na transição de utilização do TRL para o CRI também aumentem um ou mais indicadores.

Indicadores	Resumo dos Indicadores
Ambiente Regulatório	Maturidade do planejamento, permissões e padrões relacionados a tecnologia.
Aceitação das Partes Interessadas	Maturidade do processo para criação de evidência baseada na consulta às partes interessadas, associado a integração de

	energias renováveis no mercado de energia.
Performance Técnica	Disponibilidade de detectar informações de desempenho técnico.
Proposta Financeira – Custos	Disponibilidade de informações robustas sobre competitividade de mercado, associada a custos de capital e de operação, além de previsões de receita, permitindo que investidores aceitem níveis crescentes de futuro de mercado e de riscos de projeto.
Proposta Financeira – Receitas	
Indústria, Cadeia de Suprimentos e Habilidades	Desenvolvimento de uma cadeia competitiva e eficiente de produtos e habilidades para a indústria, necessária para dar suporte a um setor comercialmente viável.
Oportunidades de Mercado	Desenvolvimento a partir de um plano comercial hipotético para demonstrar a viabilidade de mercado através de canais competitivos para o mercado e modelos de negócio sustentáveis.
Maturidade da Empresa	Desenvolvimento do setor para incluir empresas estabelecidas com fortes classificações de crédito e registros de desempenho estabelecidos.

Tabela 4 - Descrição dos Indicadores

Fonte: Elaboração própria, baseado em: ARENA, 2014

Cada um dos oito indicadores descritos na Tabela 4 são abertos em seis níveis cada um, sendo que o crescimento de nível dentro do indicador é no sentido do 1 para o 6. Assim, de maneira geral, é possível afirmar que o CRI busca avaliar o nível de prontidão comercial de uma tecnologia, desde o momento em que ainda é uma proposição comercial hipotética até o momento em que é aplicável a uma tecnologia considerada como uma classe de ativos financiáveis (ARENA, 2014). Dessa forma, o CRI busca complementar

os TRLs, tratando da comercialização da tecnologia, não abordada pelos TRLs. Logo, é possível concluir que o CRI também não se configura como a melhor metodologia possível para o que se pretende desenvolver neste trabalho, uma vez que a fase de comercialização da tecnologia não é aquela em que se realizam investimentos de *venture capital*. Assim, não é de interesse do investidor, especificamente, estudar os níveis de prontidão comercial de uma tecnologia, mas sim as expectativas sobre ela, de forma a entender o melhor momento para realizar o investimento.

Uma outra metodologia de análise de ciclo de vida de tecnologias é a curva *Hype Cycle*, que tem como objetivo estudar mais profundamente a fase inicial de inserção da nova tecnologia no mercado. A curva *Hype Cycle* foi introduzida pela Gartner em 1995 e tem como principal objetivo caracterizar o curso de uma nova tecnologia (Gartner, 2003). A curva está exemplificada na Figura 6 e na Figura 7, onde pode-se perceber que este curso é caracterizado por algumas fases: o excesso de entusiasmo inicial, causado principalmente pela especulação sobre a nova tecnologia; seguido por um período de desilusão e, por fim, a compreensão da relevância da tecnologia no mercado. Na curva *Hype Cycle*, o eixo vertical representa as expectativas sobre uma inovação e o eixo horizontal representa o tempo.



Figura 6 - Curva Hype Cycle

Fonte: Elaboração Própria, baseado em: Fenn e Raskino, 2008

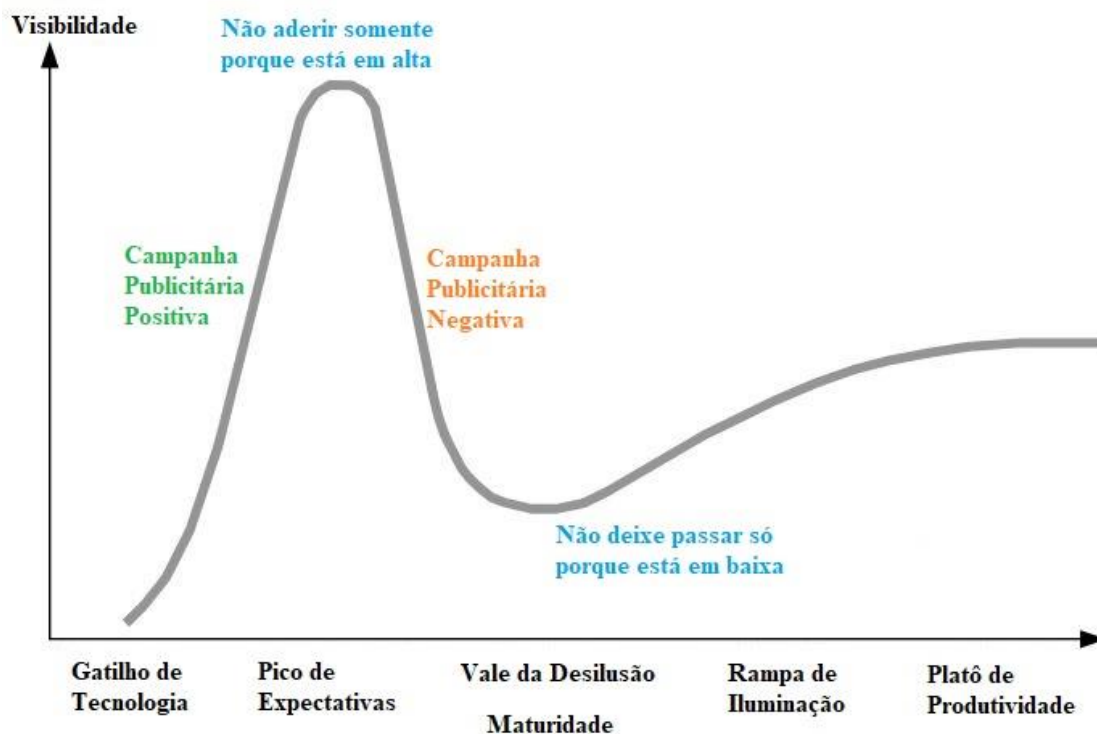


Figura 7 - Curva Hype Cycle

Fonte: Elaboração Própria, baseado em: Gartner, 2003

A mensagem central da curva é a de que as empresas não devem investir em uma nova tecnologia apenas porque ela está em alta, mas também não devem ignorar uma tecnologia somente porque não está atendendo a grandes expectativas iniciais (Gartner, 2003), como evidenciado na Figura 7. Assim, esta curva demonstra potencial para o objetivo principal deste trabalho, já que a curva pode trazer opções para empresas que desejam investir em tecnologias limpas, dependendo do seu nível de maturidade e expectativa de crescimento. A *Hype Cycle* mostra que o melhor momento de se investir em uma nova tecnologia não necessariamente é sempre aquele em que há o "boom".

As Figura 8 e Figura 9 mostram as fases da *Hype Cycle*, causadas por eventos do mercado em que a tecnologia está inserida. A curva *Hype Cycle* não tem como objetivo apresentar o ciclo de vida completo de uma nova tecnologia, isto é, da sua concepção até o seu declínio. Sua principal função é a de representar os primeiros estágios da nova tecnologia, em que se encontram os maiores níveis de excitação e incompatibilidade (Gartner, 2003). Esta característica é a que mais fortemente difere a *Hype Cycle* das alternativas apresentadas anteriormente, que buscam descrever todo o ciclo de vida da tecnologia, sem focar nos primeiros estágios.

A curva *Hype Cycle* se inicia quando existe algum evento que gera interesse do público e da indústria em alguma inovação, ou seja, um gatilho de tecnologia – *technology trigger* – (Fenn e Raskino, 2008). A segunda fase da curva, onde há o pico de expectativas, – *Peak of inflated expectations* – é caracterizada pelo “salto” de grandes empresas em direção à nova tecnologia, de forma a chegar nela antes de seus competidores. Esta fase é caracterizada pelo Efeito *Bandwagon*, isto é, quando um indivíduo toma uma decisão baseado na decisão de um grande número de pessoas. Há também a grande divulgação por parte da mídia, fazendo com que ninguém queira ser deixado para trás ao não aderir às novidades (Fenn e Raskino, 2008).

A impaciência na espera por resultados começa a tomar o lugar da excitação inicial, fazendo com que se inicie o período de desilusão – *Through of disillusionment*. Alguns problemas como, por exemplo, de performance ou uma aceitação mais lenta que o esperado podem acabar ocasionando um não atendimento das expectativas, iniciando uma publicidade negativa que não mais foca nas oportunidades geradas pela inovação, mas sim nos desafios enfrentados por ela (Fenn e Raskino, 2008).

Porém, felizmente, o processo de maturidade de novas tecnologias não se encerra nesta fase, pois significaria que nenhuma teria alcançado o sucesso. Segundo Fenn e Raskino (2008), inovações precisam de experimentação e desenvolvimento, associados à paciência e tenacidade, antes de conseguirem entregar um produto que realmente valha a pena. Assim, na próxima fase da curva (Figura 8, “Rampa de Iluminação” ou “*Slope of Enlightenment*”), algumas pessoas conseguem superar as dificuldades da fase anterior e começam a experimentar os benefícios da nova tecnologia. Esses primeiros indivíduos causam um efeito positivo, permitindo que a tecnologia amadureça baseado no *feedback* dos primeiros usuários. Por fim, chega-se à fase final da curva – Platô de Produtividade ou *Plateau of productivity*, onde a tecnologia é totalmente disseminada, e as grandes organizações já sentem mais confiança nela, já que o risco associado a ela é menor (Fenn e Raskino, 2008).

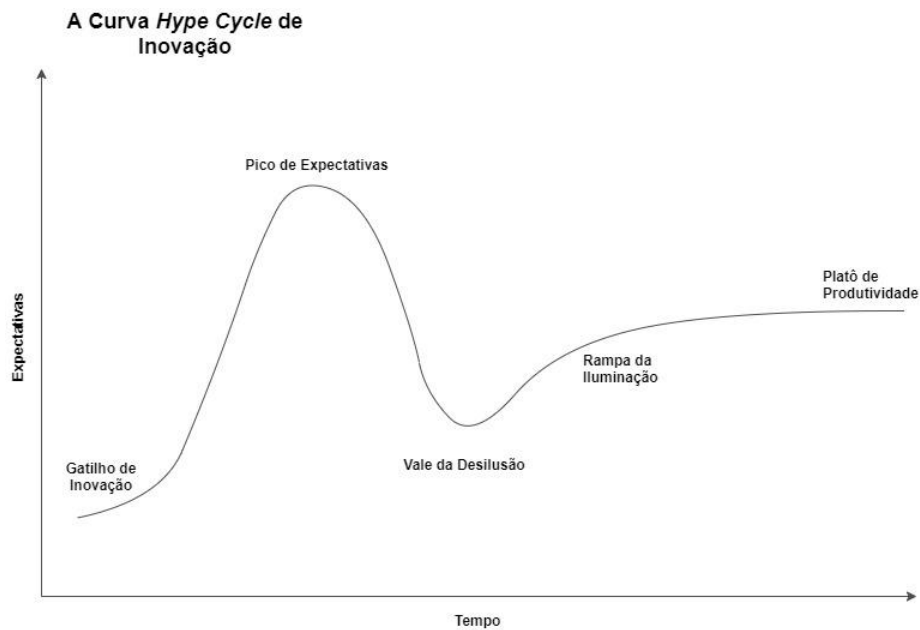


Figura 8 - Fases da Hype Cycle

Fonte: Elaboração Própria, baseado em: Fenn e Raskino, 2008

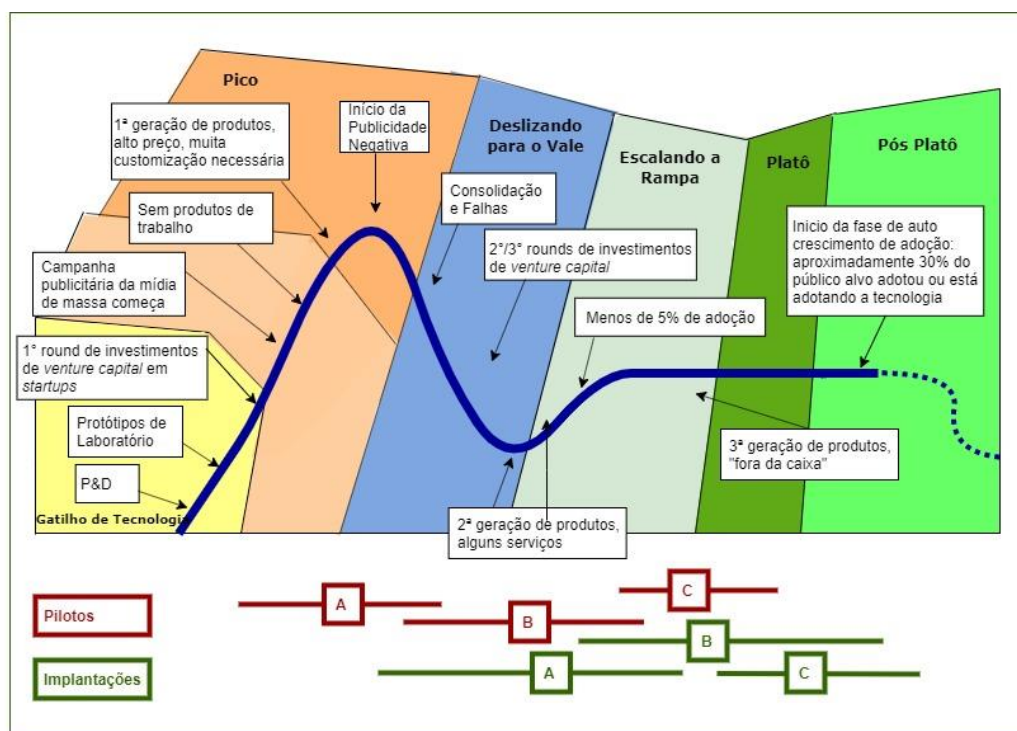


Figura 9 - Fases da Hype Cycle

Fonte: Elaboração Própria, baseado em: Gartner, 2003

Fenn e Raskino (2008) defendem a ideia de que a *Hype Cycle* é um fenômeno inevitável para todas as inovações e que o curso descrito na curva vem se repetindo ao longo dos anos, sempre que se analisa o ciclo de uma nova tecnologia. Assim, eles defendem a ideia

de que a curva *Hype Cycle* não é somente descritiva, mas sim prescritiva, isto é, é possível prever o como será a inserção de inovações no mercado ao estudar o comportamento da curva.

A *Hype Cycle* ajuda a explicar o porquê de as pessoas adotarem, abandonarem ou ignorarem inovações inapropriadamente (Fenn e Raskino, 2008). A grande questão levantada por Fenn e Raskino (2008) é como lidar com o fato de que toda tecnologia passa pelo curso descrito pela *Hype Cycle*, isto é, existem empresas que caem em tentação na fase de pico de expectativas e investem em uma tecnologia prematuramente; outras esperam demais e depois se arrependem de não terem sido mais agressivas. Conclui-se que investir em uma inovação sem entender a *Hype Cycle* pode levar a decisões ruins, que tem como consequência o desperdício de tempo, dinheiro e oportunidade (Fenn e Raskino, 2008).

Existem duas formas de aproveitar a *Hype Cycle*. A primeira delas tem a ver com o momento - o *timing* - ideal em que se adota uma nova tecnologia, de forma a otimizar o quanto se pode ganhar com o investimento. Ao se investir em uma nova tecnologia, não se deve preocupar somente com a escolha da tecnologia em si, mas também que o momento em que se realiza o investimento é aquele que fornece o maior retorno possível em um nível de risco aceitável.

A outra maneira de aproveitar uma oportunidade a partir da *Hype Cycle* é utilizá-la como vantagem em relação a outros *players* do mercado, evitando, por exemplo, armadilhas que investidores costumam cair. A ideia é ser mais inteligente que os demais, não adotando a tecnologia ou desistindo dela antes da hora. Assim, podendo antecipar a tendência dos fornecedores, investidores, competidores e a habilidade de cada indivíduo em cada estágio da *Hype Cycle* (Figura 10), é possível encontrar as melhores ofertas, talentos, publicidades e muitas outras oportunidades para avançar nos esforços de adotar uma inovação (Fenn e Raskino, 2008).

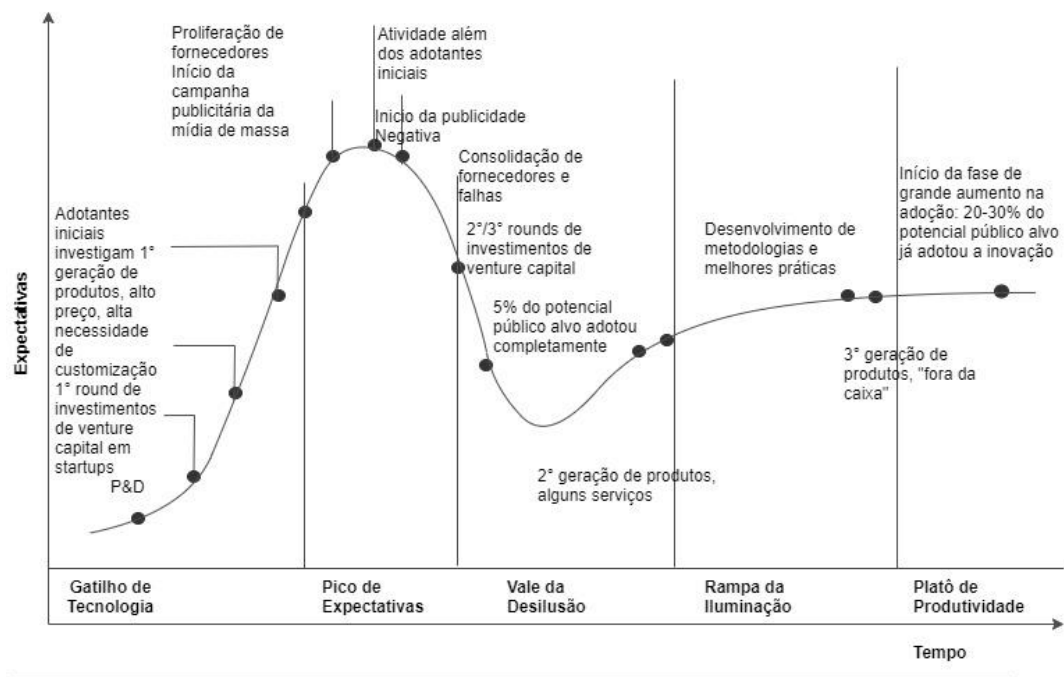


Figura 10 - Indicadores dos Estágios da Hype Cycle

Fonte: Elaboração Própria, baseado em: Fenn e Raskino, 2008

Assim, depois de avaliar as alternativas à *Hype Cycle*, é possível concluir que ela apresenta uma melhor abordagem, dado o que se pretende realizar neste trabalho. Como foi dito anteriormente, a *Hype Cycle* foca na fase inicial de inserção da tecnologia no mercado, que é a fase mais importante para a realização de investimentos em inovação. Não há muito interesse pela caracterização do período de obsolescência da tecnologia, por exemplo; não faz diferença para a tomada de decisão do investidor. Além disso, como o trabalho de Fenn e Raskino (2008) mostrou, a curva tem um grande potencial de apoio à tomada de decisão, podendo dar grandes vantagens ao investidor que sabe explorá-la e interpretá-la adequadamente, perante a seus competidores no mercado.

3 Curva Hype Cycle

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica neste trabalho, de forma a estudar quais as melhores possibilidades para a análise da maturidade de novas tecnologias ao longo do tempo. Através deste estudo, foi possível escolher a metodologia mais adequada, de acordo com os objetivos deste trabalho. Assim, a metodologia utilizada para entender melhor as estratégias de investimento em uma *startup* de *cleantech* através da modalidade de investimentos *corporate venture* é a *Hype Cycle*.

Apesar de a *Hype Cycle* esclarecer a posição de cada inovação tecnológica, somente a Gartner pode criar a curva, e pesquisadores que não fazem parte da organização não possuem as ferramentas para gerá-la. Alguns estudos já tentaram se aproximar do resultado fornecido pela Gartner, mas, até então, não foi possível encontrar a exata metodologia desenvolvida pela empresa (Sasaki, 2015). Assim, nesta seção, será apresentada a metodologia utilizada neste trabalho para construção da curva.

3.1 Levantamento Bibliométrico

Para realizar o levantamento bibliométrico, foi utilizada a base de dados do *Web of Science* (WoS), para caracterizar a evolução da produção científica sobre as tecnologias escolhidas entre os anos de 2009 a 2018. Antes de optar pela base de dados WoS, houve uma tentativa de utilização do *Google Scholar*. Porém, ao realizar as pesquisas foi possível perceber que, para ganhar eficiência e velocidade, a ferramenta se utiliza de um processo de busca não determinístico. Isso significa que, cada vez que havia uma atualização na página, a ferramenta devolvia diferentes resultados de pesquisa. Dessa forma, optou-se pela utilização da base WoS, por permitir o acesso a referências e resumos de diversos artigos em todas as áreas de conhecimento.

A base de dados WoS cobre 12.000 periódicos, aproximadamente, podendo escolher entre as cinco coleções de consulta: *Science Citation Index Expanded* (SCI-EXPANDED), *Social Sciences Citation Index* (SSCI), *Arts & Humanities Citation Index* (A&HCI), *Conference Proceedings Citation Index - Science* (CPCI-S) e *Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities* (CPCI-SSH) (Bellido et al., 2019).

Para realizar a pesquisa e quantificar o volume de artigos publicados no Brasil, a base WoS foi acessada pelo Portal de Periódicos CAPES pela rede da Universidade Federal

do Rio de Janeiro (UFRJ) (Figura 11 e Figura 12). Foi realizada uma pesquisa avançada, utilizando as palavras-chave indicadas na Tabela 5 para cada tecnologia considerada.

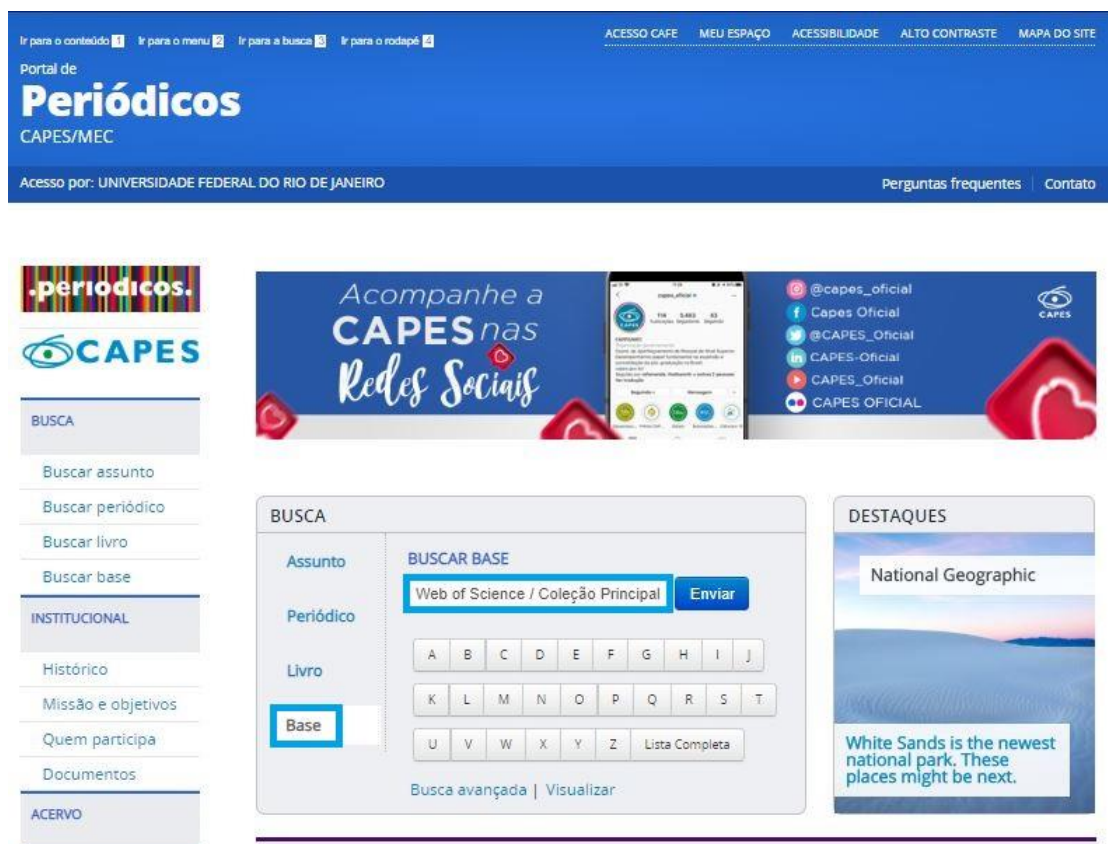


Figura 11 - Acesso a Base WoS

Fonte: Elaboração Própria

Web of Science

Marcella Ajuda Português

Ferramentas Pesquisas e alertas Histórico de pesquisa Lista marcada

Selezione uma base de dados Web of Science Core Collection

Learn about alerting enhancements!

Pesquisa Básica Busca por autor Pesquisa de referência citada Pesquisa avançada

Utilize rótulos de campo, operadores booleanos, parênteses e resultados de consultas para criar sua consulta. Os resultados aparecerão na Tabela do histórico de busca, na parte inferior da página. (Saiba mais sobre a Pesquisa avançada)

Exemplo: TS=(nanotub* AND carbon) NOT AU=Smalley RE #1 NOT #2 mais exemplos | visualizar o tutorial

Pesquisa

Restringir os resultados por idiomas e tipos de documentos:

All languages English Afrikaans Arabic

All document types Article Abstract of Published Item Art Exhibit Review

Tempo estipulado

Intervalo de anos personalizado 1945 até 2020

MAIS CONFIGURAÇÕES

Booleanos: AND, OR, NOT, SAME, NEAR

Rótulos do campo:

TS= Tópico
TI= Título
AU= Autor (Índice)
AI= Identificadores de autor
GP= Autor grupo (Índice)
ED= Editor
SO= Nome da publicação (Índice)
DOI= DOI
PY= Ano de publicação
CF= Conferência
AD= Endereço
OG= Organização - Consolidada (Índice)
OO= Organização
SG= Suborganização

SA= Endereço da Rua
CI= Cidade
PS= Província/Estado
CU= País/Região
ZP= CEP/Código postal
FO= Agência financiadora
FG= Número do subsídio
FT= Texto sobre financiamento
SU= Área de pesquisa
WC= Categoria Web of Science
IS= ISSN/ISBN
UT= Número de acesso
PMID= ID PubMed
ALL= Todos os campos

Figura 12 - Página Inicial de Pesquisa Avançada Base WoS

Fonte: Elaboração Própria

Web of Science

Marcella Ajuda Português

Ferramentas Pesquisas e alertas Histórico de pesquisa Lista marcada

Pesquisa

Resultados: 461 (de Web of Science Core Collection)

Você pesquisou por: TS = ("energy storage" OR "armazenamento energi a") AND CU = ("Brasil" OR "Brazil") ...Mais

Criar um alerta

Refinar resultados

Procurar nos resultados...

Filtrar resultados por:

Acesso Aberto (72)

Anos da publicação

2018 (125)

2017 (81)

2016 (64)

2015 (58)

2014 (44)

Classificar por: Data 1F Número de citações Total de uso Relevância Mais

1 de 47

Selecionar página Exportar... Adicionar à Lista marcada

1. Experimental study of a PH-CAES system: Proof of concept

Por: Camargos, Tomas P. L.; Pottier, Daniel L. F.; Ferreira, Rafael A. M.; et al.

ENERGY Volume: 165 Páginas: 630-638 Parte: A Publicado: DEC 15 2018

Texto integral do editor Visualizar resumo

2. Thermal conductivity of heavy, even-carbon number n-alkanes (C22 to C32)

Por: Fleming, Felipe Pereira; Silva, Livia de Andrade; Vieira Lima, Guilherme dos Santos; et al.

FLUID PHASE EQUILIBRIA Volume: 477 Páginas: 78-86 Publicado: DEC 15 2018

Texto integral do editor Visualizar resumo

3. Analysis of the effects of climatic conditions, loading level and operating temperature on the heat losses of two-tank thermal storage systems in CSP

Por: Araujo, Arthur K. A.; Medina, Gabriel I. T.

SOLAR ENERGY Volume: 176 Páginas: 358-369 Publicado: DEC 2018

Texto integral do editor Visualizar resumo

4. Energy management for a grid-connected wave energy park through a hybrid energy storage system

Por: Parwal, Arvind; Fregelius, Martin; Temiz, Irinia; et al.

APPLIED ENERGY Volume: 231 Páginas: 399-411 Publicado: DEC 1 2018

Texto integral do editor Visualizar resumo

Analisar resultados

Criar relatório de citações

Número de citações: 1 (da Principal Coleção do Web of Science)

Total de uso

Número de citações: 2 (da Principal Coleção do Web of Science)

Total de uso

Número de citações: 1 (da Principal Coleção do Web of Science)

Total de uso

Número de citações: 12 (da Principal Coleção do Web of Science)

Total de uso

Figura 13 - Resultados da Busca na Base WoS

Fonte: Elaboração Própria

Na página de resultados de busca na base WoS (Figura 13), é possível identificar a quantidade de dados encontrados, além de opções de refinamento de pesquisa como, por exemplo, ano da publicação, universidades, autores, países etc. A opção de refinamento

por ano de publicação foi mostrada como exemplo na Figura 14. No canto superior direito da Figura 13 é possível selecionar a opção de análise de resultados. Algumas possibilidades de análise são exibidas nas Figura 15, Figura 16 e Figura 17.

The screenshot shows a search refinement interface for WoS. At the top, there are buttons for 'Anos da publicação', 'Refinar', 'Excluir', and 'Cancelar'. A dropdown menu 'Classificar estes por:' is set to 'Alfabético'. Below this, a text line states: 'As primeiros 100 Anos da publicação (por contagem do registro) são mostrados. Para opções avançadas de refino, use [Analisar resultados...](#)'. The main section displays a grid of checkboxes for years and their corresponding counts: 2018 (125), 2017 (81), 2016 (64), 2015 (58), 2014 (44), 2013 (23), 2012 (16), 2011 (21), 2010 (7), and 2009 (22). At the bottom, there are buttons for 'Refinar', 'Excluir', 'Cancelar', and another 'Classificar estes por:' dropdown set to 'Alfabético'.

Figura 14 - Exemplo de Refinamento de Pesquisa na Base WoS - Ano de Publicação
Fonte: Elaboração Própria



Figura 15 - Análise de Resultados de Pesquisa na Base WoS (por Instituição)
Fonte: Elaboração Própria

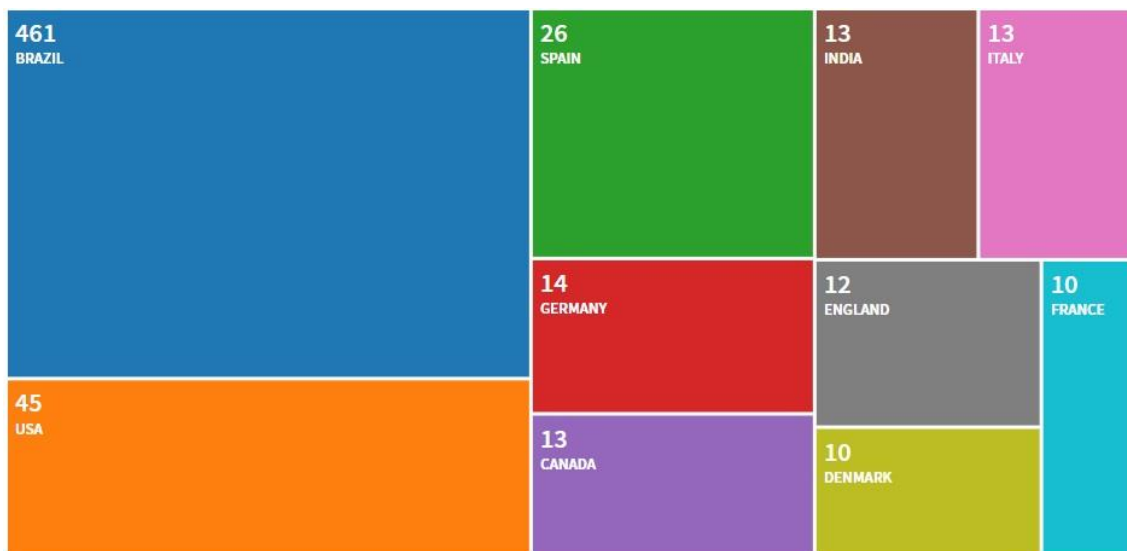


Figura 16 - Análise de Resultados de Pesquisa na Base WoS (por País)

Fonte: Elaboração Própria



Figura 17 - Análise de Resultados de Pesquisa na Base WoS (por Autor)

Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 13, é possível ver também uma opção de “Adicionar à Lista Marcada” que, ao ser selecionada, permite salvar diversos dados de artigos selecionados como, por exemplo, autores, títulos e resumos (Figura 18).

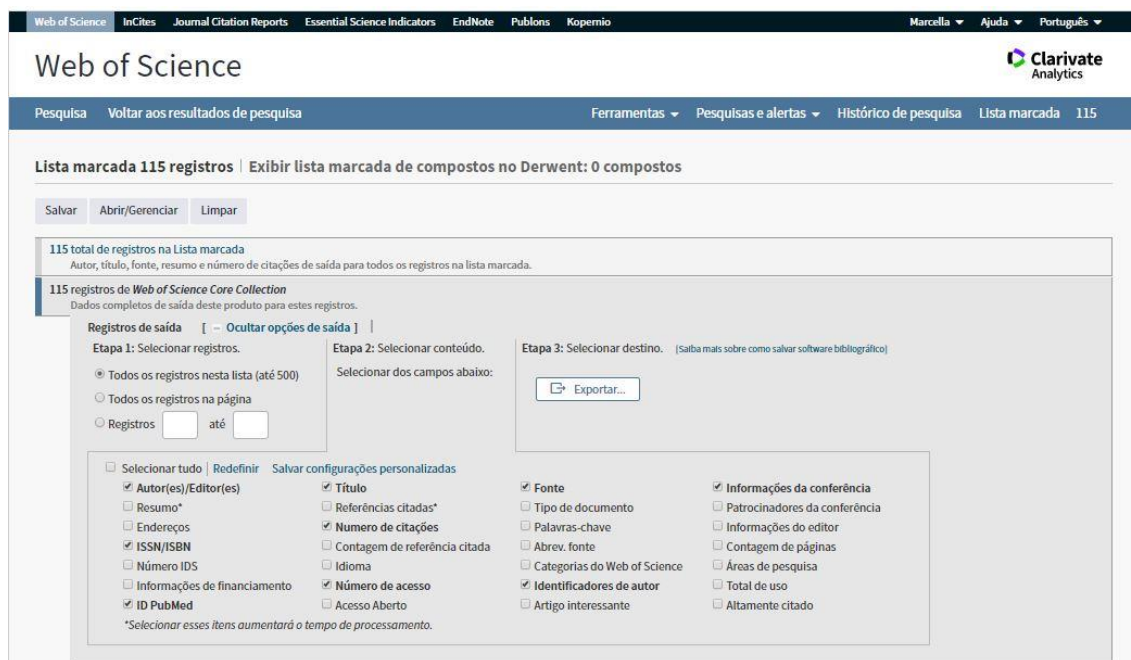


Figura 18 - Opção de Salvar Dados na Base WoS

Fonte: Elaboração Própria

Importante ressaltar que só é possível salvar, no máximo, 500 registros. Sendo assim, para salvar uma quantidade maior de arquivos, é necessário salvar de 500 em 500, até completar a quantidade total.

Como já mencionado anteriormente, a base de dados levantada no trabalho de Bellido et al. (2019) foi utilizada no presente trabalho para definir a escolha das tecnologias para as quais seriam criadas as curvas Hype Cycle. Dessa forma, para melhor representar a realidade brasileira no desenvolvimento de tecnologias limpas, foi utilizado como critério de escolha das tecnologias nas quais seriam aplicadas a metodologia Hype Cycle aquelas predominantes como atividades primárias das startups de *cleantech* levantadas na pesquisa do (Bellido et al., 2019).

O resultado da pesquisa permitiu identificar oito tecnologias de grande relevância no setor elétrico brasileiro. São elas:

- Armazenamento de energia;
- *Blockchain*;
- Eficiência energética;
- Solar fotovoltaica;
- Gestão energética;

- *Smart Grids*;
- Veículos elétricos.

Dentre as possibilidades, foram selecionadas as seguintes tecnologias: armazenamento de energia, *blockchain*, *smart grids* e veículos elétricos. Por se tratar de uma tecnologia que também apresenta desenvolvimento no Brasil, decidiu-se avaliar também eólicas de grande e de pequeno portes, o último para o caso de geração distribuída. O levantamento dos dados para construção da curva Hype Cycle foi feito, conforme mostra a Tabela 5, a seguir.

Tabela 5 - Metodologia de Pesquisa - Levantamento Bibliográfico

Fonte: Elaboração Própria

Base de dados: Web of Science Tempo de cobertura: 2009 a 2018 Local de publicação dos artigos: Brasil	
Tecnologia	Descrição
Armazenamento de energia	TS = (“energy storage*” OR “armazenamento energia*”) AND CU = (“Brasil” OR “Brazil”)
Blockchain	TS = ("Blockchain*" AND "eletricidade*" NOT "celular*" NOT “computador*” OR "Blockchain*" AND "Electricity*" NOT "cellular*" NOT “computer*”) AND CU = ("Brasil" OR "Brazil")
Smart grid / Redes Inteligentes	TS = ("Smart Grid*" AND "eletricidade*" NOT "celular*" NOT “computador*” OR " Smart Grid*" AND "Electricity*" NOT "cellular*" NOT “computer*” OR "rede inteligente*" AND "electricity*" NOT "cellular*" NOT “computer*” OR "rede inteligente*" AND "eletricidade*" NOT "celular*" NOT “computador*”) AND CU = ("Brasil" OR "Brazil")
Veículos Elétricos	TS = ("Veículo Elétrico*" AND "eletricidade*" NOT "celular*" NOT NOT “computador*” OR "Electric Vehicle*" AND "Electricity*" NOT NOT "cellular*" NOT “computer*” OR "Electric Car*" AND "electricity*" NOT "cellular*" NOT “computer*” OR "Carro Elétrico*" AND "eletricidade*" NOT "celular*" NOT “computador*”) AND CU = ("Brasil" OR "Brazil")

Eólica	TS = (“wind power*” OR “energia eólica*” OR “wind power distributed generation*” OR “eólica pequeno porte”) AND CU = (“Brasil” OR “Brazil”)
--------	---

A escolha das palavras-chave para realizar a pesquisa (Tabela 5) é muito importante, pois garante que os resultados estejam de acordo com o contexto que se deseja. A pesquisa com as palavras certas pode reduzir o tempo de análise dos artigos fornecidos como resultado, uma vez que poucos artigos fora de contexto serão retornados.

O estudo desenvolvido em (Bellido et al., 2019) realizou um mapeamento de startups de *cleantech* em todos os níveis de maturidade, desde a concepção até a fase de maturidade e crescimento. A partir dos resultados obtidos através de um questionário online, apenas para startups brasileiras, foi possível selecionar quais tecnologias seriam analisadas neste trabalho.

A partir da base WoS, foi possível verificar a quantidade de artigos publicados por ano, de 2009 a 2018, por instituições brasileiras, para construção da primeira parte da curva – o estágio Hype. Para o segundo estágio – de implantação – serão considerados apenas os artigos em que a tecnologia foi implementada.

3.2 Construção da Curva *Hype Cycle*

A curva *Hype Cycle* pode ser desenvolvida com base em duas curvas distintas. A primeira vai da fase *Technology Trigger* até o *Though of Disillusionment*, representando o entusiasmo inicial e o desapontamento em relação a tecnologia; esta curva é em forma de sino. A segunda é em forma de S e vai da fase *Slope of Enlightenment* até a fase *Plateau of Productivity*, representando o desempenho da inovação tecnológica (Bellido et al., 2019).

Para a construção da primeira etapa da curva *Hype Cycle*, é necessário contar a quantidade de itens a respeito de uma tecnologia, isto é, notícias, artigos, livros, jornais, *journals*, entre outros, que podem ser obtidos através de uma pesquisa bibliográfica. Para a segunda etapa da curva, são utilizadas estatísticas de patentes, que também podem ser obtidas através de pesquisa bibliográfica (Bellido et al., 2019).

Porém, a combinação da curva em forma de sino com a curva em forma de S é comprometida, pois, como não existe modelo matemático que define apropriadamente a

curva, falta uma relação matemática que ajude a descrever o fenômeno (Steinert e Leifer, 2010). Assim, Sasaki (2015) busca contornar esta limitação combinando curvas em forma de S para posterior realização de ajuste de curvas com funções polinomiais. Sasaki (2015) realizou um ajuste de curvas com funções polinomiais de grau 5, 7 e 9, sendo que a de grau 9 foi a que apresentou melhor ajuste.

No estudo realizado por (Bellido et al., 2019), foi utilizada a metodologia desenvolvida por Sasaki (2015) para a construção da curva Hype Cycle para a análise de maturidade de tecnologias de energia limpa. Primeiramente, foi realizado um levantamento bibliométrico do banco de dados Web of Science (WoS), para caracterizar a evolução dinâmica da produção científica sobre as tecnologias escolhidas até 2018.

De acordo com a metodologia proposta por Sasaki (2015), a curva Hype Cycle foi dividida em dois estágios (Bellido et al., 2019):

- Estágio Hype: compreende o período entre o *Technology Trigger* até o *Trough of Disillusionment*. Corresponde a uma curva em forma de sino, com o eixo X representando o tempo e o eixo Y, a quantidade de artigos (não acumulativa). Para medir este estágio, é necessário contabilizar o número de itens (artigos, artigos acadêmicos, livros etc.) que mencionam a tecnologia que está sendo avaliada.
- Estágio de Implantação: compreende o período entre o *Slope of Enlightenment* e o *Plateau of Productivity*. Pode ser simulada através de curvas do tipo S, com eixo X representando o tempo e o eixo Y, a quantidade cumulativa de artigos sobre a tecnologia que está sendo avaliada. Neste estágio, é importante que os artigos contabilizados apresentem algum indício de que a tecnologia já foi ou está sendo implantada.

No trabalho realizado em (Bellido et al., 2019), além de se utilizar as funções em forma de S propostas na metodologia de Sasaki (2015) – Gompertz e Logística –, também se avaliou as seguintes funções em forma de S: Brody, Von Bertalanffy e Richards. Dos resultados encontrados neste artigo, a função de Richards não se mostrou uma opção satisfatória.

$$\text{Função Logística: } Y = \frac{a}{1+b*\exp(-k*X)}$$

$$\text{Função Gompertz: } Y = a * \exp(-\exp(-k * (X - X_c)))$$

Função Brody: $Y = a * (1 - b * \exp(-k * X))$

Função Von Bertalanffy: $Y = a * (1 - b * \exp(-k * X))^3$

Função Richards: $Y = a * (1 - b * \exp(-k * X))^m$

As funções acima foram aplicadas nos dois estágios da curva Hype Cycle separadamente – Estágio Hype e Estágio de Implantação. Para formar a curva do estágio Hype, a curva e forma de S é transformada em uma curva em forma de sino. Pela combinação das duas curvas, foi possível obter a curva Hype Cycle. Com o objetivo de formular matematicamente a curva Hype Cycle, foram realizados os ajustes polinomiais para os graus 7, 8, 9, 10, 11 e 12:

Função polinomial grau 7: $Y = intercept + \sum_{i=1}^7 (Ai * xi)$

Função polinomial grau 8: $Y = intercept + \sum_{i=1}^8 (Ai * xi)$

Função polinomial grau 9: $Y = intercept + \sum_{i=1}^9 (Ai * xi)$

Função polinomial grau 10: $Y = intercept + \sum_{i=1}^{10} (Ai * xi)$

Função polinomial grau 11: $Y = intercept + \sum_{i=1}^{11} (Ai * xi)$

Função polinomial grau 12: $Y = intercept + \sum_{i=1}^{12} (Ai * xi)$

4 Aplicações

4.1 Armazenamento de Energia

Como já foi amplamente discutido neste trabalho, existe uma tendência mundial de redução de participação de fontes não renováveis na matriz energética, isto é, a busca por fontes renováveis em substituição às fontes associadas à queima de combustíveis fósseis. As fontes solar e eólica surgiram neste contexto como alternativas às fontes tradicionais. Porém, uma característica importante de ambas é a intermitência, ou seja, a geração de energia por fontes renováveis flutua independente da demanda (Ibrahim et al. 2007). Naturalmente, essa característica compromete a geração em momentos sem luz ou sem vento.

A geração descentralizada de energia elétrica garante o suprimento de energia para os consumidores com menores impactos ambientais. Porém, o caráter imprevisível dessas

fontes requer que tanto o provisionamento da rede quanto a regulação de seu uso sejam estabelecidas visando a otimização da operação do sistema (Ibrahim et al., 2007).

Assim, para solucionar esse problema, foram desenvolvidos Sistemas de Armazenamento de Energia (SAEs), para que a energia gerada pudesse ser armazenada para ser utilizada nesses momentos em que não há geração, além de outras funções no sistema, como arbitragem, por exemplo. Os SAEs também contribuem com o alívio do congestionamento da rede, aumentando a eficiência do sistema como um todo e contribuindo para a redução de impactos ambientais (Silva e Bortoni, 2016).

Assim, os sistemas de armazenamento podem ser utilizados também com a finalidade de evitar a sobrecarga nos sistemas de transmissão e distribuição nos horários de pico. A utilização de baterias para armazenamento de energia elétrica pode contribuir para que não haja necessidade de uma expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, para suportar as flutuações da demanda. O sistema de armazenamento também permite uma resposta instantânea à demanda e, conseqüentemente, aumenta a flexibilidade da rede (Ibrahim et al. 2007).

Segundo Silva e Bortoni, em 2016, a capacidade de armazenamento de energia elétrica instalada mundialmente era de 2%, sendo que, deste percentual, 99% se referia ao armazenamento por bombeamento hidráulico em centrais hidrelétricas reversíveis.

Existem seis categorias principais para categorizar as tecnologias de armazenamento: baterias de estado sólido, baterias de fluxo, volantes de inércia, ar comprimido, térmico e bombeamento hidráulico. Existem também outras tecnologias mais recentes e ainda não convencionais como, por exemplo, o armazenamento híbrido, utilizado em alguns tipos de veículos elétricos (Silva e Bortoni, 2016).

As aplicações e benefícios das tecnologias de armazenamento de energia constam na Tabela 6.

Tabela 6 - Serviços e Benefícios dos SAEs

Fonte: Elaboração Própria baseado em: Silva e Bortoni, 2016

Categorias

	Serviços de Energia em Massa	Serviços Auxiliares	Infraestrutura de Transmissão	Infraestrutura de Distribuição	Gerenciamento Energético do Consumidor
Serviços	Arbitragem	Arbitragem	Adiamento de atualização no sistema de transmissão	Adiamento de atualização no sistema de distribuição	Qualidade da energia
		Regulação de frequência			Confiabilidade da energia
		Reservas	Alívio em momentos de congestionamento	Suporte de tensão	Energia em varejo (Arbitragem)
	Fornecimento de Potência	Suporte de tensão			Gestão da demanda
		Black-start			
		Rastreamento de carga			

Em 2019, o Brasil ultrapassou a marca de 1 GW de potência instalada em micro e minigeração distribuída de energia elétrica. A fonte mais utilizada para micro e minigeração distribuída é a solar fotovoltaica, com 82,6 micro e mini usinas e 870 MW de potência instalada (Aneel, 2019).

Em outubro de 2019, a Aneel abriu uma consulta pública com o objetivo de rever a Resolução Normativa 482/2012, referente às regras aplicadas à micro e minigeração distribuída. A revisão da norma havia sido prevista já em 2015 e sugere aperfeiçoamentos ao modelo do sistema de compensação de créditos, considerando os avanços da geração distribuída nos últimos anos (Aneel, 2019).

Na regra atual, quando a compensação de energia se dá na baixa tensão, quem possui geração distribuída deixa de pagar todas as componentes da tarifa de fornecimento sobre a parcela de energia consumida que é compensada pela energia injetada na rede. A proposta de revisão sugere que os custos referentes ao uso da rede de distribuição e os encargos sejam pagos pelos consumidores que possuem geração distribuída, acabando com o subsídio cruzado (Aneel, 2019).

Dessa forma, a possível mudança na regra do sistema de compensação afeta mais fortemente os consumidores que possuem geração distribuída remota, pois precisam usar

o sistema de distribuição para transportar a energia até onde ocorrerá o seu uso final. Porém, mesmo para aqueles que possuem geração distribuída local, a possível nova regra seria impactante, já que, pela característica intermitente da geração fotovoltaica, a rede acaba funcionando como uma bateria.

Assim, considerando o crescimento de geração distribuída principalmente fotovoltaica no país e o contexto de possíveis mudanças nas regras de compensação, a utilização de sistemas de armazenamento em unidades de geração distribuída pode amenizar os impactos causados pela revisão da norma. Dessa forma, avaliar o nível de maturidade tecnológica dos sistemas de armazenamento à nível nacional é bastante interessante, uma vez que ainda se trata de um recurso muito caro para a maioria dos brasileiros.

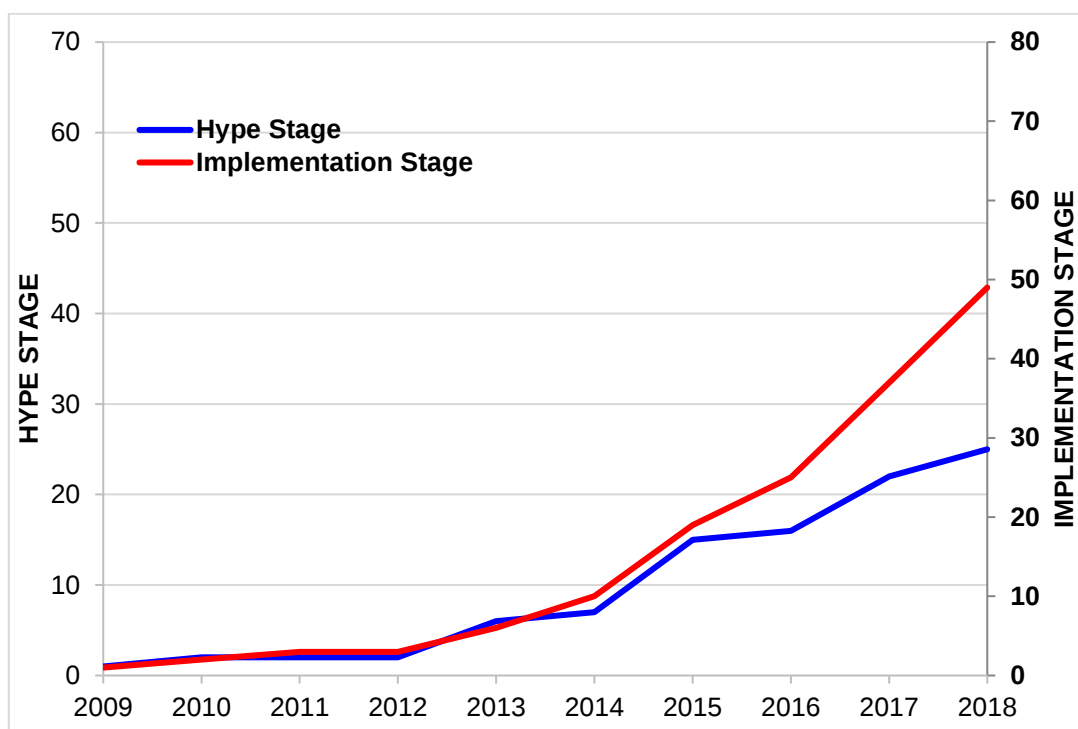


Gráfico 1 - Artigos Relacionados à Armazenamento de Energia

Fonte: Elaboração Própria

No Gráfico 1 estão representadas as curvas obtidas a partir da aplicação da metodologia para o caso de armazenamento de energia elétrica no Brasil. O estágio Hype representa a quantidade não cumulativa de artigos encontrados na pesquisa realizada na base WoS. Já o estágio de Implementação representa o cumulativo de artigos para a mesma tecnologia.

Para ajustar as funções em forma de S, foram testados as funções: logística, Gompertz, Brody, Von Bertalanffy e Richards. Para todas as tecnologias foram testadas as mesmas

funções e a função Richards não pôde descrever o comportamento das curvas em nenhum caso. Para a tecnologia de armazenamento de energia, os melhores ajustes ocorreram para a função Gompertz tanto no caso da curva no estágio Hype quanto para o estágio de Implementação. Os valores de R^2 para todas as funções se encontra na Tabela 7 e o resumo de todos os parâmetros calculados para ambas as fases da curva consta na Tabela 8.

Tabela 7 - R^2 para Funções de Ajuste para Tecnologia de Armazenamento de Energia

Fonte: Elaboração Própria

Funções	Estágio Hype	Estágio de Implementação
	R^2	
Logística	0,875043	0,785764
Gompertz	0,979970	0,996584
Brody	0,903154	0,847238
Von Bertalanffy	0,977442	0,994586

Tabela 8 - Parâmetros de Ajuste para Tecnologia de Armazenamento de Energia

Fonte: Elaboração Própria

Parâmetros de Ajuste		Valor
Estágio Hype (Gompertz)	a	48,485541
	k	0,241273
	xc	8,192322
Estágio de Implementação (Gompertz)	a	405,214853
	k	0,133588
	xc	15,582513

Depois do ajuste, é possível obter a curva Hype Cycle em forma de sino para o estágio Hype e em forma de S para o estágio de Implementação, como exibido no Gráfico 2.

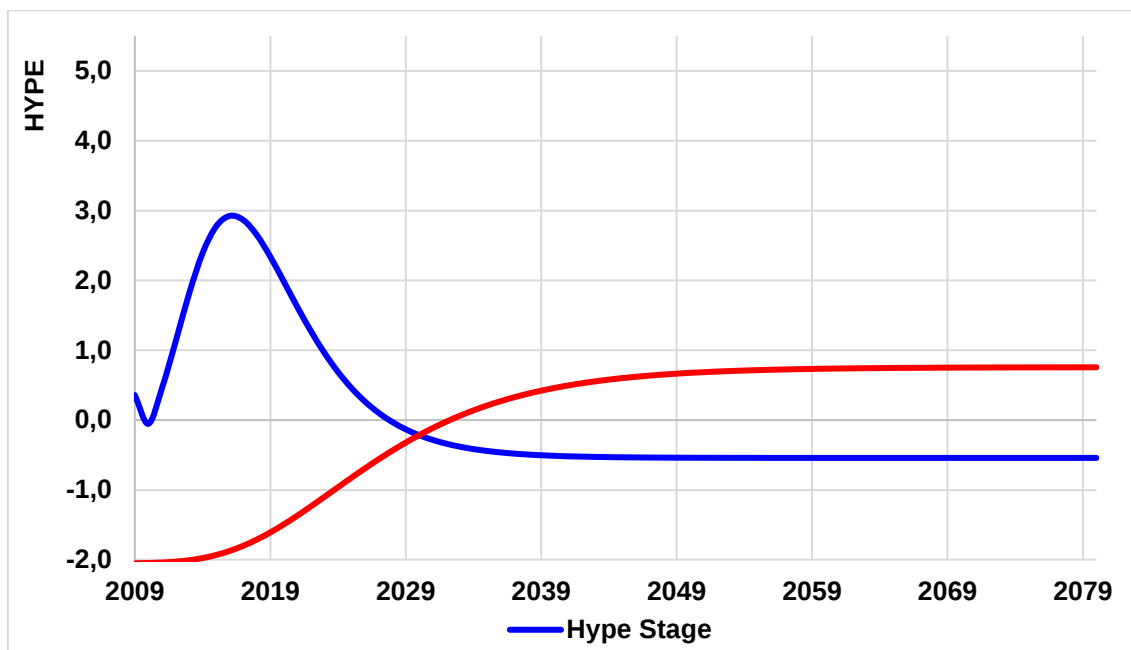


Gráfico 2 - Curvas em Forma de Sino e de S para a Tecnologia de Armazenamento de Energia

Fonte: Elaboração Própria

Depois de construir as curvas do Gráfico 2, fez-se o ajuste polinomial. O melhor ajuste se deu através da função polinomial de grau 10 ($R^2 = 0,997854$). Com os coeficientes A_1 ao A_{10} e a interseção entre as duas curvas, foi possível desenhar a curva Hype Cycle para a tecnologia de armazenamento de energia (Gráfico 3).

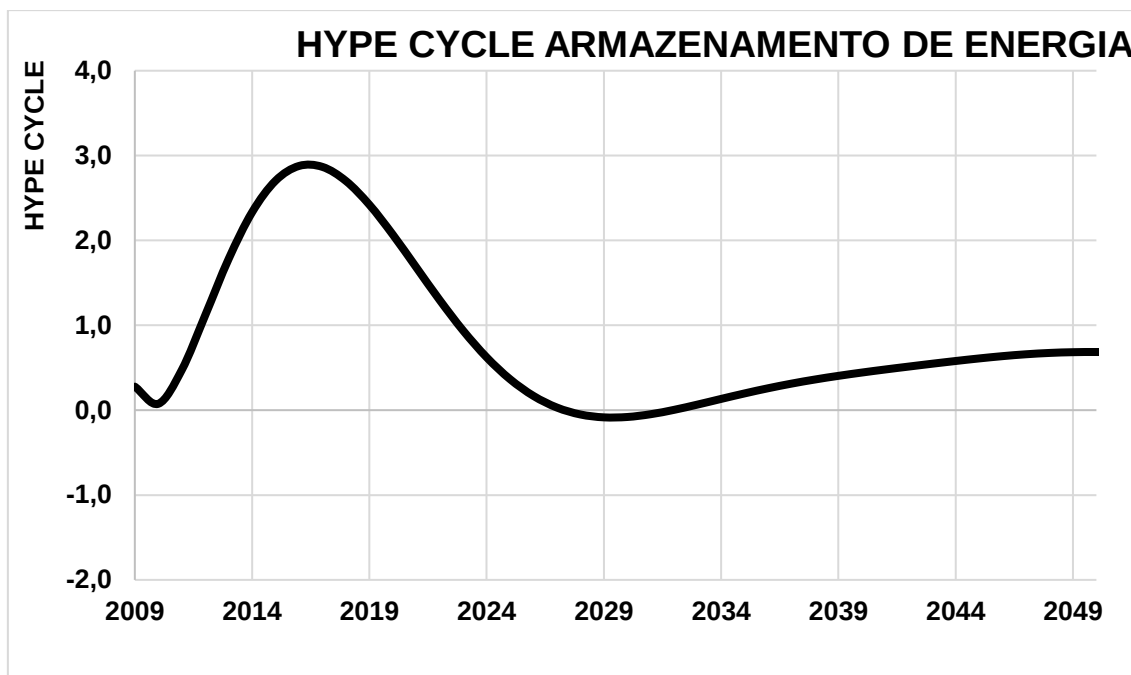


Gráfico 3 - Hype Cycle Armazenamento de Energia

Fonte: Elaboração Própria

É importante ressaltar que não houve, neste trabalho, distinção entre diferentes tecnologias de armazenamento, isto é, foi considerado armazenamento de energia elétrica de maneira geral. Caso a pesquisa tivesse sido realizada para diferentes tecnologias de armazenamento, é provável que cada uma apresentasse um resultado diferente para a curva Hype Cycle, por se encontrarem em níveis diferentes de maturidade. É possível interpretar, a partir do Gráfico 3, que a tecnologia está caminhando para o Vale da Desilusão (*Through of Disillusionment*) no ano de 2019. Assim, entende-se que, no Brasil, a tecnologia está em um momento de expectativas decrescentes e ainda não alcançou estabilidade em sua maturidade.

No momento atual do país, considerando a revisão da norma que regulamenta o sistema de compensação, as pesquisas em armazenamento de energia no Brasil podem ganhar motivação, de forma a permitir o desenvolvimento da tecnologia no país a um preço mais acessível para aqueles que possuem geração distribuída. O resultado obtido para esta tecnologia faz sentido, uma vez que com as regras atuais do *net metering*, a própria rede funciona como uma bateria, não havendo tanta demanda mesmo com o crescimento da geração distribuída.

4.2 Smart Grids

Em aproximadamente cem anos, os sistemas de energia elétrica pouco alteraram sua estrutura, apresentando um perfil linear. Grandes centrais geradoras de energia elétrica entregam energia aos centros de consumo através de um sistema de transmissão. A partir daí, a energia é distribuída aos consumidores em vários níveis de tensão através do sistema de distribuição (Falcão, 2009).



Figura 19 - Rede Elétrica Tradicional

Fonte: Elaboração Própria baseado em: Lopes et al., 2015

Nos últimos anos, a estrutura linear do setor vem se modificando, graças a fatores como a viabilização econômica de fontes de energia de pequeno porte, os avanços na tecnologia da informação e comunicação de dados e também o surgimento de medidores, sensores e controle inteligentes, proporcionando uma mudança na estrutura anterior e proporcionando a introdução de uma nova: o *smart grid* (Facto Energy, 2019).

O *smart grid* se aproxima mais de um conceito do que de um produto, mas costuma variar de acordo com quem o define. Por causa disso, a implementação do *smart grid* depende da motivação na região em que é implementado. No Brasil, dentre os objetivos pretendidos ao se implementar o *smart grid*, podem-se destacar: a redução de perdas técnicas e comerciais, a melhoria da qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras e a redução dos custos operacionais (CGEE, 2012).

Uma possível definição de *smart grids* é a seguinte: “uma rede inteligente é uma rede elétrica que usa tecnologias digitais para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade de todas as fontes de geração a fim de atender às diversas demandas de eletricidade dos usuários finais. Tais redes coordenam as necessidades e capacidades dos ativos de geração, dos operadores de rede, dos usuários finais e das partes interessadas no mercado de eletricidade. Sob esta perspectiva, operam todas as componentes do sistema com a

maior eficiência possível. Isto é feito através da minimização de custos e impacto ambiental, simultaneamente à maximização da confiabilidade, resiliência e estabilidade do sistema” (Copenhagen Cleantech Cluster, 2017).

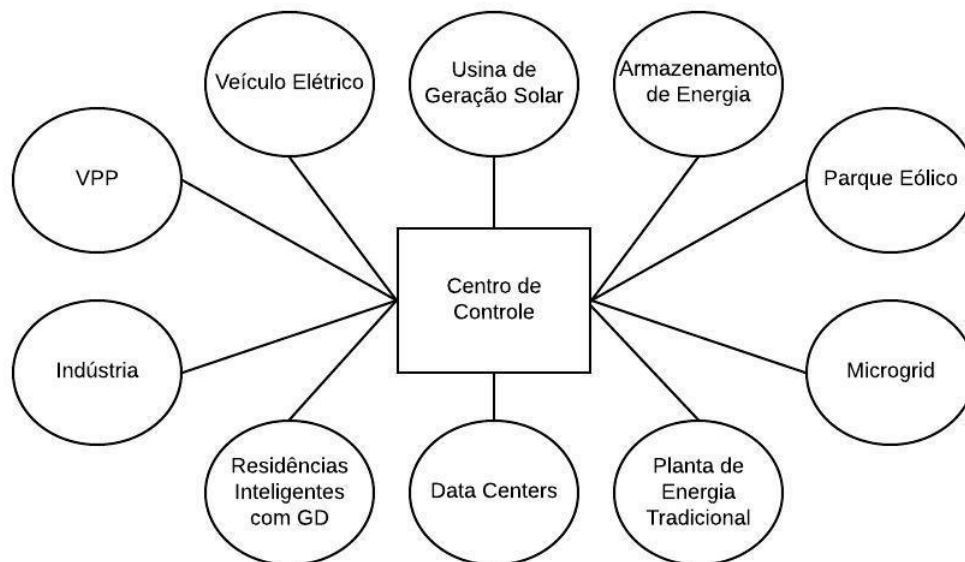


Figura 20 - Rede Elétrica Inteligente

Fonte: Elaboração Própria baseado em: Lopes et al., 2015

As principais motivações para a implementação do *smart grid* residem na necessidade de desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono, de forma a enfrentar os atuais desafios de segurança energética, mudanças climáticas e crescimento econômico (Facto Energy, 2019).

Como foi mencionado anteriormente neste trabalho, as mudanças estruturais no setor elétrico já começaram a acontecer e não são reversíveis. Assim, a tendência para o futuro da rede é se aproximar cada vez mais do modelo de uma *smart grid* (Figura 20), justificando a importância de se conhecer seu nível de maturidade tecnológica no país.

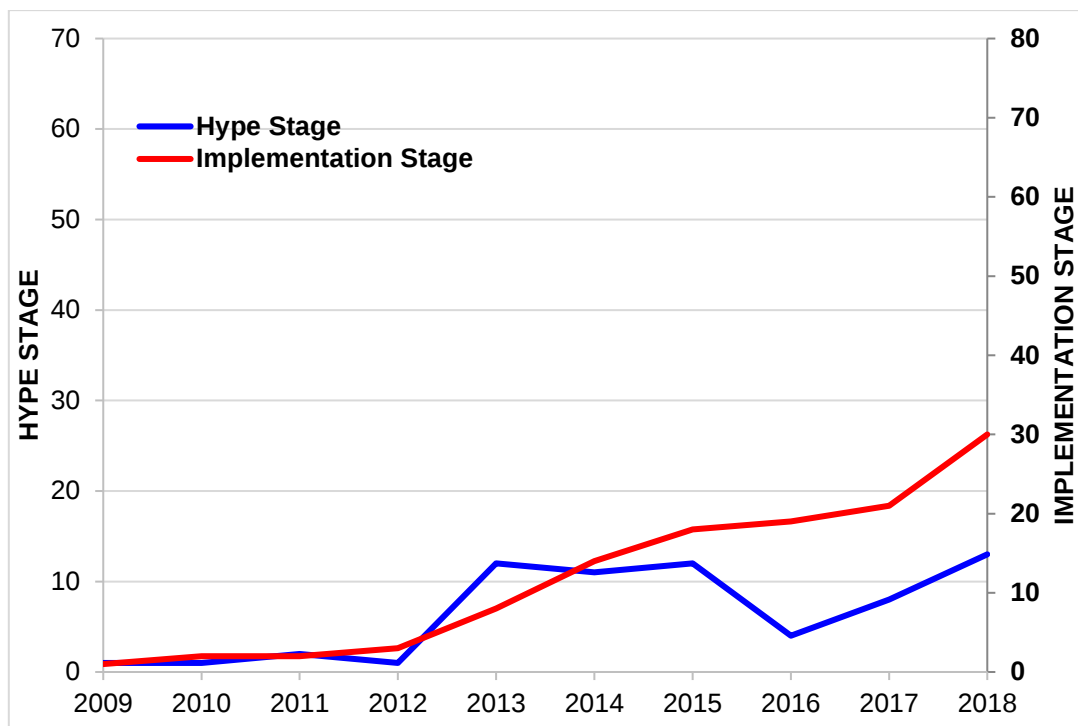


Gráfico 4 - Artigos Relacionados à *Smart Grids*

Fonte: Elaboração Própria

No Gráfico 4 estão representadas as curvas obtidas a partir da aplicação da metodologia para o caso de *smart grids* no Brasil. O estágio Hype representa a quantidade não cumulativa de artigos encontrados na pesquisa realizada na base WoS. Já o estágio de Implementação representa o cumulativo de artigos para a mesma tecnologia.

Para a tecnologia de redes inteligentes, os melhores ajustes ocorreram para a função Gompertz tanto no caso da curva no estágio Hype quanto para o estágio de Implementação. Os valores de R^2 para todas as funções se encontra na Tabela 9 e o resumo de todos os parâmetros calculados para ambas as fases da curva consta na Tabela 10.

Tabela 9 - R^2 para Funções de Ajuste para Tecnologia de *Smart Grids*

Fonte: Elaboração Própria

Funções	Estágio Hype	Estágio de Implementação
	R^2	
Logística	0,423470	0,166098
Gompertz	0,736078	0,971466
Brody	0,495276	0,933269
Von Bertalanffy	0,584606	0,967648

Tabela 10 - Parâmetros de Ajuste para Tecnologia de *Smart Grids*

Fonte: Elaboração Própria

Parâmetros de Ajuste		Valor
Estágio Hype (Gompertz)	a	10,002783
	k	11,348164
	xc	4,073672
Estágio de Implementação (Gompertz)	a	44,095943
	k	0,259105
	xc	7,020317

Depois do ajuste, é possível obter a curva Hype Cycle em forma de sino para o estágio Hype e em forma de S para o estágio de Implementação, como exibido no Gráfico 5.

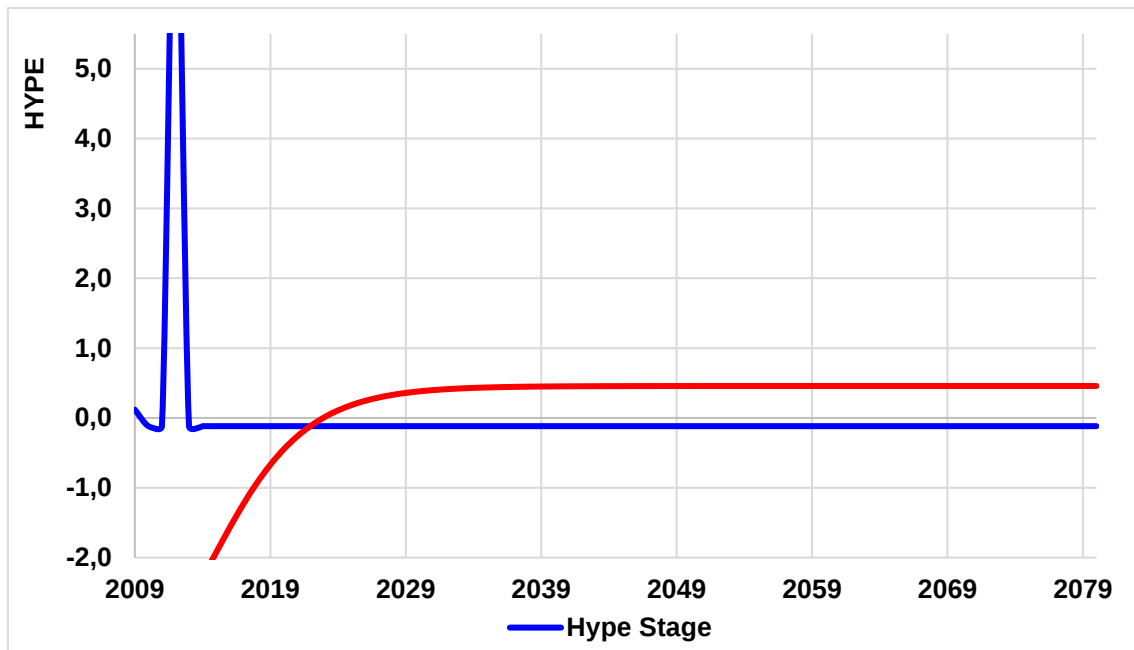


Gráfico 5 - Curvas em Forma de Sino e de S para a Tecnologia de *Smart Grids*

Fonte: Elaboração Própria

Depois de construir as curvas do Gráfico 5, fez-se o ajuste polinomial. O melhor ajuste se deu através da função polinomial de grau 9 ($R^2 = 0,213732$). Com os coeficientes A_1 ao A_9 e a interseção entre as duas curvas, foi possível desenhar a curva Hype Cycle para a tecnologia de redes inteligentes (Gráfico 6).

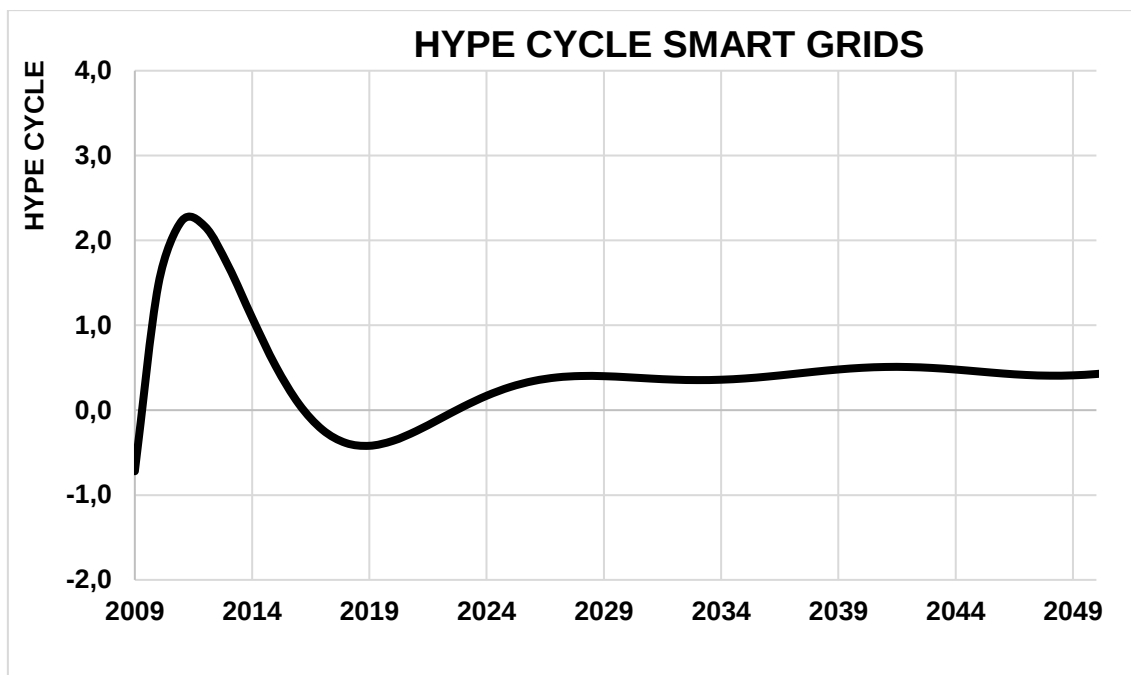


Gráfico 6 - Hype Cycle *Smart Grids*

Fonte: Elaboração Própria

Assim como para o caso de armazenamento de energia, não foram consideradas diferentes tecnologias de *smart grids* neste estudo. No ano de 2019, é possível ver que a tecnologia se encontra, no Brasil, exatamente no Vale da Desilusão (*Through of Disillusionment*). Isto significa que a tendência para os próximos anos é que as expectativas sobre a tecnologia voltem a crescer, até que ela possa encontrar o platô de maturidade.

4.3 Veículos Elétricos

Os veículos elétricos são classificados de acordo com a tecnologia utilizada para a propulsão do automóvel, podendo se tratar de um motor puramente elétrico ou um motor de combustão combinado a um motor elétrico, isto é, os veículos híbridos. Os motores elétricos podem ser alimentados através da rede de distribuição elétrica (modelo plug-in, que é o veículo elétrico puro) ou pelo motor a combustão.

Os modelos plug-in podem ser categorizados em:

- Veículo Elétrico à Bateria (*Battery Electric Vehicles*): utilizam eletricidade como única fonte de energia para alimentação do motor elétrico. A eletricidade é armazenada em uma bateria interna ao veículo e a recarga é realizada na rede elétrica. Para os BEVs que utilizam apenas a eletricidade como fonte de energia, é importante existir pontos na cidade que possibilitem uma recarga mais rápida e

uma maior autonomia. Para uma maior penetração dos BEVs na sociedade, há que se incentivar a instalação desses eletropostos em espaços públicos e privados. Portanto, seriam necessárias modificações na infraestrutura da rede, como alteração da potência dos de transformadores, dimensionamento dos cabos, dentre outros componentes integrantes da rede.

- Veículo Híbrido Plug-in (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*, PHEV): utilizam a combinação de um motor elétrico e um motor a combustão para a propulsão do veículo. Nesse modelo, a bateria que alimenta o motor elétrico pode ser recarregada diretamente na rede de distribuição elétrica. Os veículos elétricos híbridos plug-in diferem dos híbridos convencionais por possuírem um cabo para recarregar a bateria do veículo, enquanto nos demais as baterias são carregadas pelo próprio automóvel - seja pelo sistema regenerativo da frenagem do veículo ou pelo motor a combustão.

Os PHEVs podem ser recarregados em tomadas convencionais sem grandes alterações na infraestrutura existente, mas para os BEVs é necessária uma infraestrutura específica por exigirem uma demanda maior de energia. Nesses casos, a disseminação desse tipo de veículo pode afetar a rede de distribuição causando distúrbios harmônicos (Lucas et al., 2015), aumento das perdas resistivas (Quian et al., 2015), instabilidade na tensão (Kongjeen and Bhumkittipich, 2016) e diminuição da vida útil dos transformadores (Quian et al., 2015).

Além desses modelos, existem também os veículos elétricos a hidrogênio com célula combustível, que se dividem nas seguintes modalidades: a hidrogênio, que usa o H₂ diretamente na célula combustível; com reforma embarcada, que faz a reforma a vapor dentro do veículo para produzir H₂ e alimentar uma célula combustível. Também é possível utilizar o etanol diretamente na célula combustível. Porém, essa opção costuma ser desconsiderada por apresentar baixa eficiência.

No Brasil, a CPFL Energia estima que o país precisará de 80 mil eletropostos públicos até 2030 para acompanhar o ritmo de crescimento acelerado do mercado, pois a frota nacional de carros elétricos puros e híbridos plug-in deve alcançar 2 milhões de unidades em circulação (Hernandes, 2019).

Assim, dada a previsão de crescimento de veículos elétricos no país, é importante avaliar seu nível de maturidade tecnológica em uma curva *Hype Cycle*.

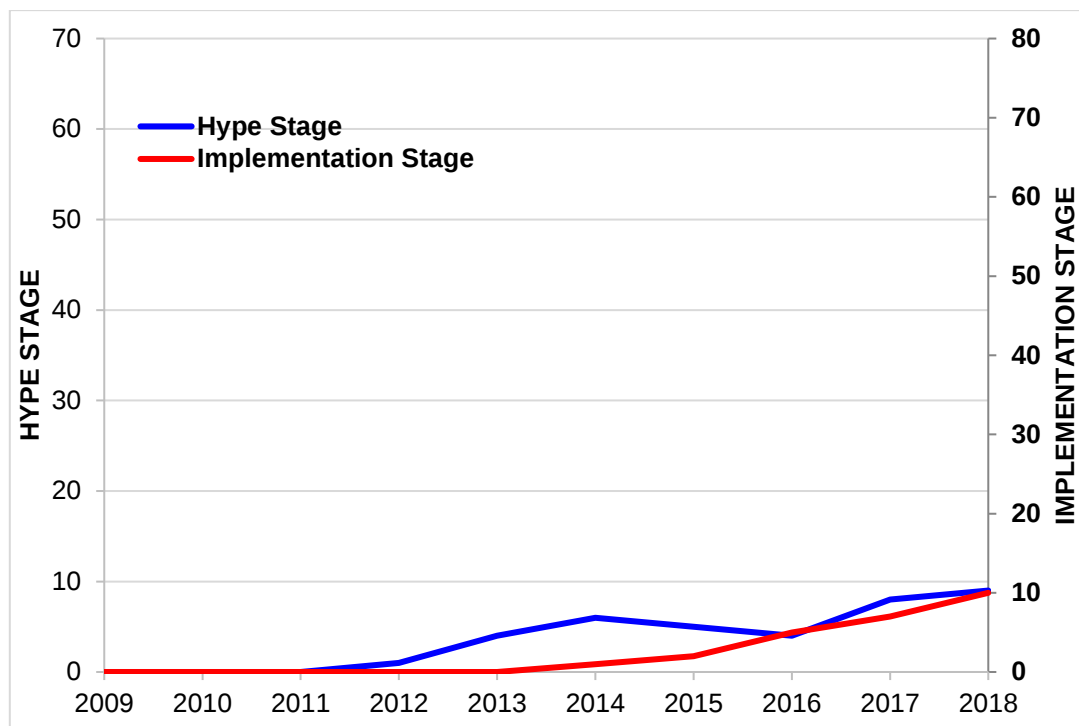


Gráfico 7 - Artigos Relacionados à Veículos Elétricos

Fonte: Elaboração Própria

No Gráfico 7 estão representadas as curvas obtidas a partir da aplicação da metodologia para o caso de veículos elétricos no Brasil. O estágio Hype representa a quantidade não cumulativa de artigos encontrados na pesquisa realizada na base WoS. Já o estágio de Implementação representa o cumulativo de artigos para a mesma tecnologia.

Para a tecnologia de redes inteligentes, os melhores ajustes ocorreram para a função Von Bertalanffy para o Estágio Hype e Gompertz para o estágio de Implementação. Os valores de R^2 para todas as funções se encontra na Tabela 11 e o resumo de todos os parâmetros calculados para ambas as fases da curva consta na Tabela 12.

Tabela 11 - R^2 para Funções de Ajuste para Tecnologia de Veículos Elétricos

Fonte: Elaboração Própria

Funções	Estágio Hype	Estágio de Implementação
	R^2	
Logística	0,819661	0,970866
Gompertz	0,868792	0,999025
Brody	0,867659	0,759322
Von Bertalanffy	0,875537	0,991914

Tabela 12 - Parâmetros de Ajuste para Tecnologia de Veículos Elétricos
Fonte: Elaboração Própria

Parâmetros de Ajuste		Valor
Estágio Hype (Von Bertalanffy)	A	10,560497
	B	1,421578
	k	0,284268
Estágio de Implementação (Gompertz)	a	381,964125
	k	0,114024
	xc	21,248566

Depois do ajuste, é possível obter a curva Hype Cycle em forma de sino para o estágio Hype e em forma de S para o estágio de Implementação, como exibido no Gráfico 8.

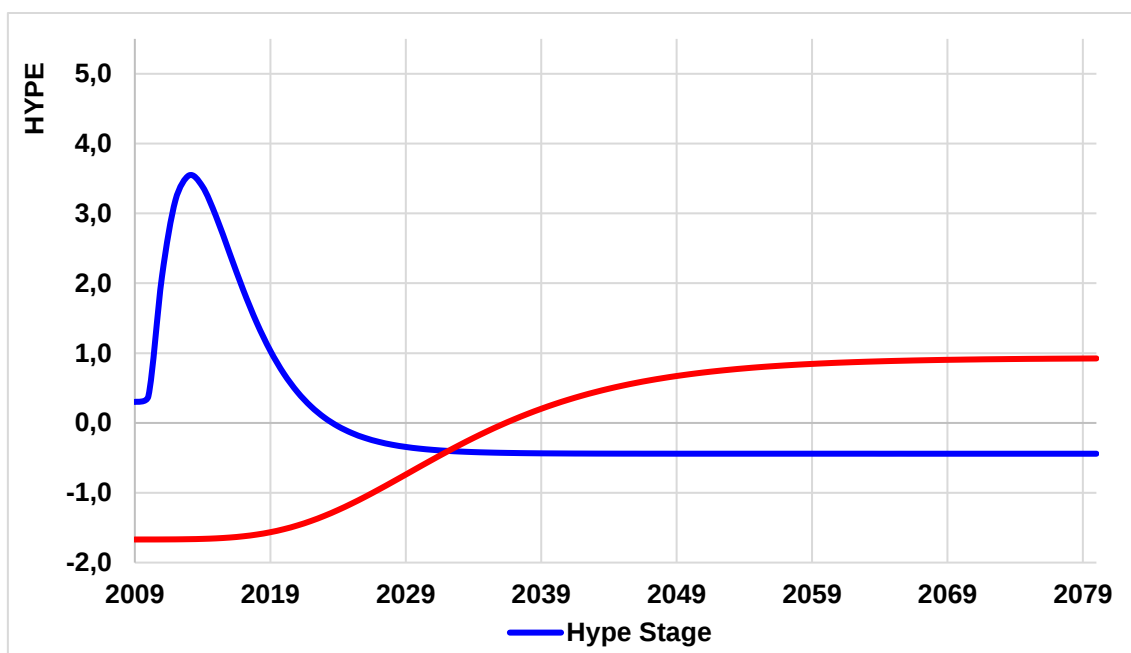


Gráfico 8 - Curvas em Forma de Sino e de S para a Tecnologia de Veículos Elétricos
Fonte: Elaboração Própria

Depois de construir as curvas do Gráfico 8, fez-se o ajuste polinomial. O melhor ajuste se deu através da função polinomial de grau 10 ($R^2 = 0,976923$). Com os coeficientes A_1 ao A_{10} e a interseção entre as duas curvas, foi possível desenhar a curva Hype Cycle para a tecnologia de veículos elétricos (Gráfico 9).

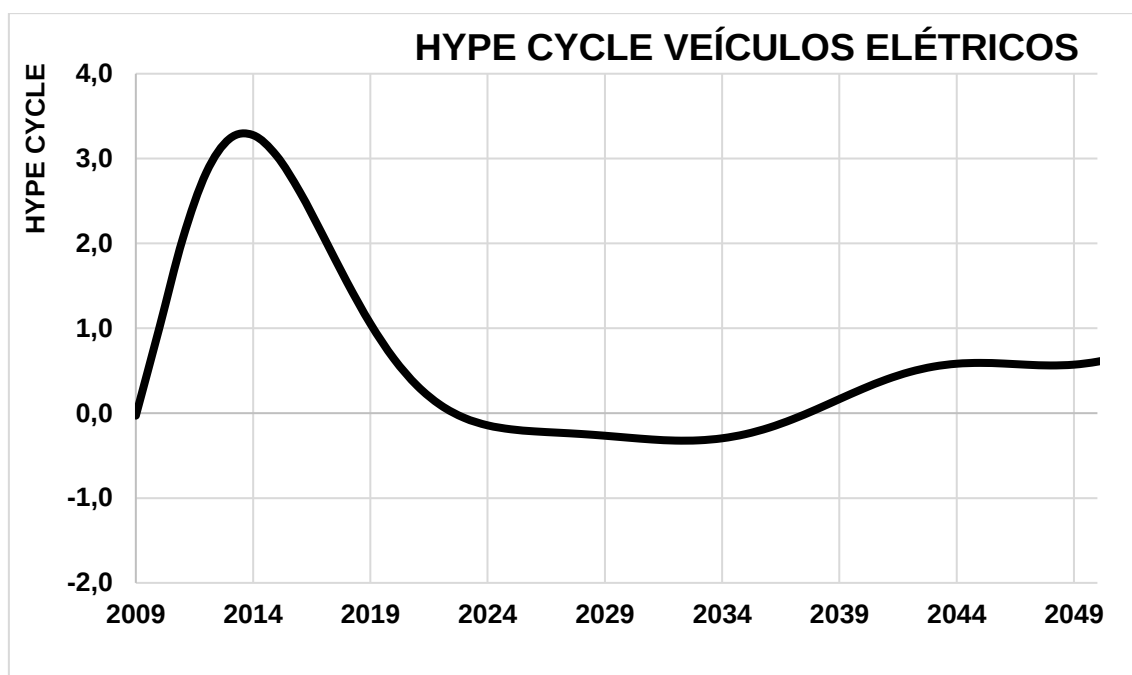


Gráfico 9 - Hype Cycle Veículos Elétricos

Fonte: Elaboração Própria

Para veículos elétricos também existem diferentes tipos de tecnologia. Porém, assim como nos casos anteriores, neste estudo foram considerados veículos elétricos de maneira geral. Como se pode ver no Gráfico 9, a tecnologia de veículos elétricos se encontra em um estágio parecido com o de armazenamento de energia, se encaminhando para o Vale da Desilusão (*Through of Disillusionment*), isto é, a tecnologia apresenta expectativas decrescentes no momento atual.

4.4 Geração Eólica

O Escritório de Tecnologias de Energia Eólica (*Wind Energy Technologies Office*) define energia eólica distribuída de acordo com sua aplicação, isto é, baseado na localização da planta em relação ao usuário final e na infraestrutura da distribuição mais do que na tecnologia ou no tamanho do projeto. Assim, os sistemas eólicos distribuídos são conectados do lado do consumidor do medidor (*behind-the-meter*) para atender à carga local ou diretamente à distribuição ou microrredes, de forma a apoiar as operações da rede ou compensar grandes cargas nas proximidades. Estes sistemas são geralmente menores que 20 MW (DOE, 2020).

Pequenas turbinas eólicas podem ser instaladas próximo a residências de maneira análoga aos painéis fotovoltaicos, se aproveitando do sistema de compensação (*net metering*) para

receber o desconto na tarifa ao injetar o excedente de energia produzida na rede. As turbinas eólicas instaladas próximo a residências costumam estar na faixa de 1 a 10 kW, podendo ser maiores. As pequenas turbinas eólicas podem também ser integradas a outros componentes, como sistemas fotovoltaicos e de armazenamento de energia (DOE, 2020).

Segundo a Aneel (2019), no Brasil, a potência instalada de unidades consumidoras com geração distribuída de energia eólica é de 10.360,86 kW, a menor dentre todas as modalidades (fotovoltaica, térmica e hidrelétricas). A maior potência instalada é a de geração fotovoltaica, com 1.969.452,01 kW (Aneel, 2019). Dessa forma, como pode ser confirmado na Tabela 5, a busca pela tecnologia de geração eólica não abrangeu somente a modalidade de pequeno porte para geração distribuída, mas também a modalidade tradicional, responsável por 7,6% da geração de energia elétrica no Brasil (BEN, 2019).

No Brasil, entre 2003 e 2011, os critérios de financiamento do BNDES não eram específicos para o setor eólico, seguindo o critério de pelo menos 60% do valor e peso dos equipamentos serem de fabricação nacional, bem como de ter unidade industrial instalada no país. A partir de 2012, com a separação da atuação do BNDES e do BNB, foram estabelecidos novos critérios de financiamento específicos para o setor eólico. Foi definido que, até janeiro de 2013, os fabricantes de aerogeradores deveriam atender pelo menos três de quatro critérios de localização no Brasil (Gouvêa e da Silva, 2018):

- Fabricação de torres com pelo menos 70% das chapas de aço feitas no país ou com concreto armado de origem nacional;
- Fabricação de pás em unidade própria ou de terceiros;
- Montagem da nacelle em unidade própria;
- Montagem do cubo com fundido de procedência nacional.

A partir de 2013, os fabricantes se comprometeram a atingir metas de nacionalização progressivas anuais até janeiro de 2016 (Gouvêa e da Silva, 2018).

Assim, o incentivo ao desenvolvimento da tecnologia de geração eólica se deu, principalmente, através de leilões de renovável. Com a expansão da modalidade, foram atraídos fabricantes estrangeiros, que ficaram submetidos às regras de financiamento do BNDES. Como havia a obrigatoriedade do conteúdo nacional, houve desenvolvimento tecnológico no país dos componentes de sistemas eólicos.

Por outro lado, segundo Souza e Cavalcante (2016), a produção nacional de painéis solares consiste basicamente em fabricantes de módulos, o que significa que as empresas locais da cadeia de valor de fotovoltaica são responsáveis pela montagem dos componentes (silício, lingote, células solares) importados de outros países. Assim, apesar de a maior potência instalada de geração distribuída no Brasil ser fotovoltaica, a indústria brasileira está situada em uma posição periférica dos circuitos fotovoltaicos internacionais existentes de pesquisa, produção e mercado (Souza e Cavalcante, 2016).

Assim, acredita-se que a construção da *Hype Cycle* para a tecnologia de geração fotovoltaica retornaria um resultado enviesado, demonstrando o nível de implementação da tecnologia no país, mas não da sua maturidade tecnológica nacional. Dessa forma, optou-se por estudar o comportamento da tecnologia de geração eólica, de grande e pequeno portes, cujo resultado seria mais fiel ao desenvolvimento tecnológico no país, apoiado pelos leilões e pelo apoio do BNDES, como explicado anteriormente.

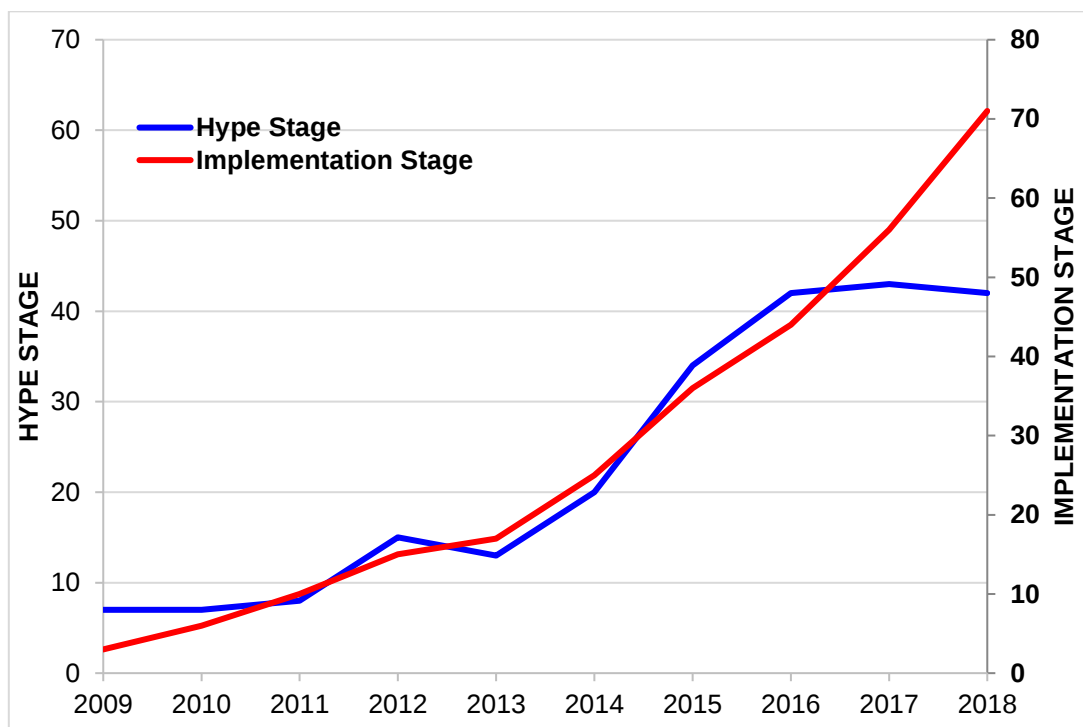


Gráfico 10 - Artigos Relacionados à Geração de Energia Eólica

Fonte: Elaboração Própria

No Gráfico 10 estão representadas as curvas obtidas a partir da aplicação da metodologia para o caso de geração de energia eólica no Brasil. O estágio Hype representa a

quantidade não cumulativa de artigos encontrados na pesquisa realizada na base WoS. Já o estágio de Implementação representa o cumulativo de artigos para a mesma tecnologia.

Para a tecnologia de geração eólica, os melhores ajustes ocorreram para a função Gompertz tanto para o estágio Hype quanto para o de Implementação. Os valores de R^2 para todas as funções se encontra na Tabela 13 e o resumo de todos os parâmetros calculados para ambas as fases da curva consta na Tabela 14.

Tabela 13 - R^2 para Funções de Ajuste para Tecnologia de Geração Eólica

Fonte: Elaboração Própria

Funções	Estágio Hype	Estágio de Implementação
	R^2	
Logística	0,885335	0,600873
Gompertz	0,931998	0,998123
Brody	0,902346	0,935723
Von Bertalanffy	0,926159	0,996862

Tabela 14 - Parâmetros de Ajuste para Tecnologia de Geração Eólica

Fonte: Elaboração Própria

Parâmetros de Ajuste		Valor
Estágio Hype (Gompertz)	a	73,902716
	k	0,215251
	xc	6,458387
Estágio de Implementação (Gompertz)	a	800,498621
	k	0,087008
	xc	20,194322

Depois do ajuste, é possível obter a curva Hype Cycle em forma de sino para o estágio Hype e em forma de S para o estágio de Implementação, como exibido no Gráfico 11.

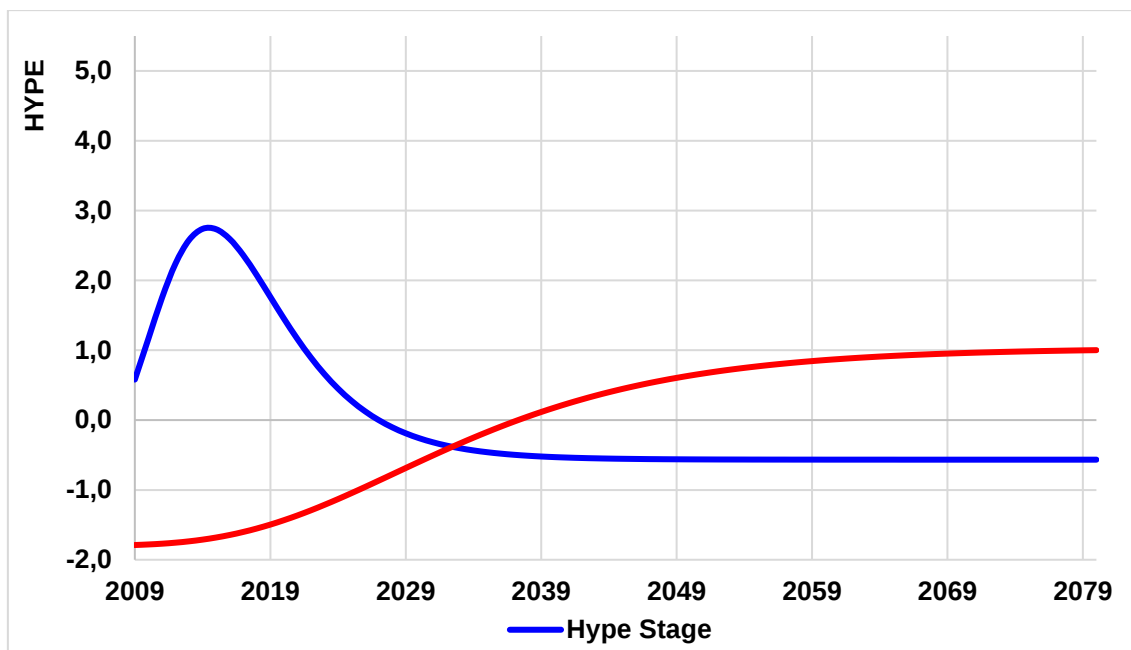


Gráfico 11 - Curvas em Forma de Sino e de S para a Tecnologia de Geração Eólica

Fonte: Elaboração Própria

Depois de construir as curvas do Gráfico 11, fez-se o ajuste polinomial. O melhor ajuste se deu através da função polinomial de grau 10 ($R^2 = 0,999006$). Com os coeficientes A_1 ao A_{10} e a interseção entre as duas curvas, foi possível desenhar a curva Hype Cycle para a tecnologia de geração de energia eólica (Gráfico 12).

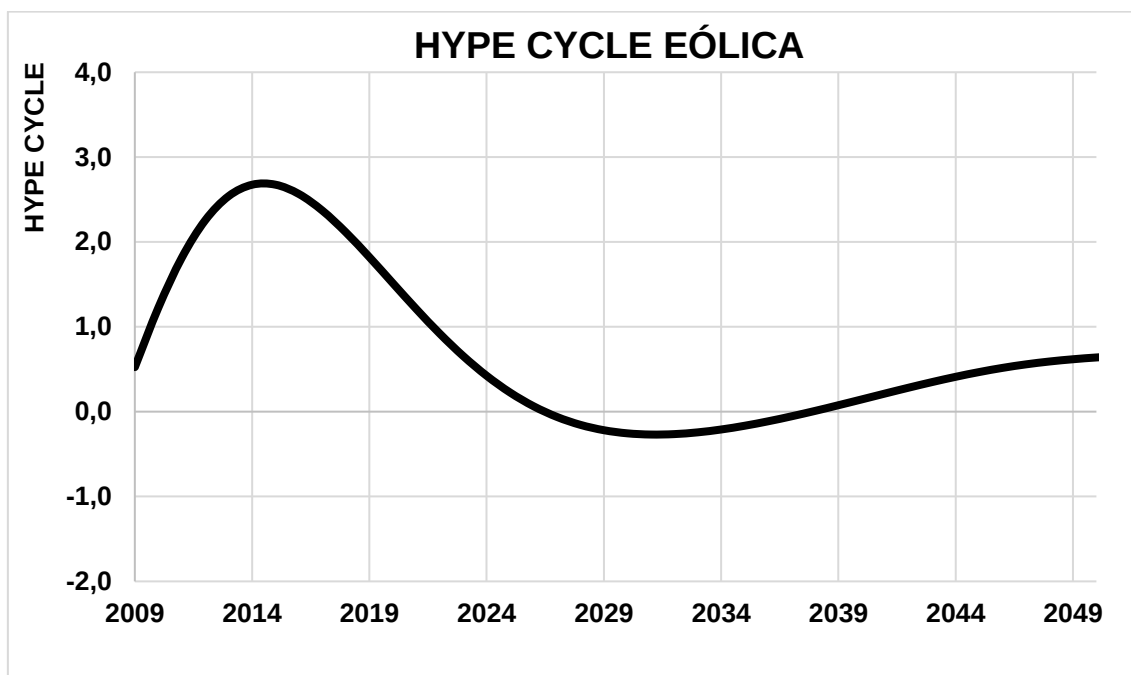


Gráfico 12 - Hype Cycle Geração de Energia Eólica

Fonte: Elaboração Própria

Por fim, seguindo o mesmo padrão das demais tecnologias, também se considerou a tecnologia de geração eólica de maneira geral. Ao analisar o Gráfico 12, é possível perceber que, em 2019, a tecnologia acabou de passar pelo seu Pico de Expectativas (*Peak of Inflated Expectations*). O resultado encontrado faz sentido com a realidade brasileira, uma vez que, dados os incentivos, houve um crescimento expressivo na geração de energia eólica, fazendo com que a fonte seja responsável por 7,6% da geração de energia na matriz elétrica nacional em 2018 (BEN, 2019). A regulação do sistema de compensação estimulou o crescimento de fotovoltaica em geração distribuída, o que tornou a fonte mais significativa em potência instalada dessa modalidade (Aneel, 2019). Porém, graças ao desenvolvimento tecnológico de geração eólica no Brasil, é possível verificar que as expectativas sobre a tecnologia voltam crescer em, aproximadamente, dez anos.

5 Análise de Resultados

As escolhas para a construção das curvas Hype Cycle foram baseadas na pesquisa desenvolvida em (Bellido et al., 2019), na qual foi realizado um levantamento das *startups* de *cleantech* brasileiras. Ao compreender as tecnologias predominantes desenvolvidas por estas empresas, foi possível escolher as mais relevantes para o estudo de maturidade através da Hype Cycle. Dentre as possibilidades, foram escolhidas as tecnologias: armazenamento de energia, *smart grids* e veículos elétricos. A tecnologia de geração de energia eólica foi escolhida em substituição à fotovoltaica, pois entendeu-se que o resultado exposto na Hype Cycle de geração eólica seria mais fiel ao verdadeiro nível de maturidade de tecnologia no país.

Como foi explicado anteriormente, a metodologia Hype Cycle foi criada pela Gartner. A empresa não expõe abertamente como é feita a construção da curva. Dessa forma, alguns trabalhos já foram realizados, dentre eles o de Sasaki (2015), propondo metodologias para realizar essa construção.

Para construir a curva, é necessário estudar diversos artigos já publicados entre 2009 e 2018, com o objetivo de gerar indicadores que mostrem as expectativas e/ou o ciclo de vida das tecnologias analisadas. Assim, em parte da metodologia utilizada neste trabalho é predominante o caráter subjetivo da análise de artigos, de forma a interpretar, primeiramente se o artigo está dentro do contexto que se deseja e, em seguida, se a tecnologia foi implementada ou não. Para exemplificar, ao pesquisar na base WoS por “armazenamento de energia”, a base WoS retornou resultados de artigos sobre baterias com diversos componentes químicos diferentes, o que não faz parte do escopo deste trabalho. Dessa forma, faz parte de uma primeira análise verificar se os artigos retornados no resultado da pesquisa estão no contexto que interessa.

Para a construção da segunda parte da curva, a de implementação, é necessário avaliar, no conteúdo dos artigos, se a tecnologia foi implementada ou não. Também não se trata de uma análise simples, uma vez que essa informação pode ser dada de várias maneiras, utilizando várias palavras ou expressões diferentes. Assim, também é necessária uma avaliação subjetiva nesta etapa da metodologia.

Considerando estas questões, conclui-se que é difícil automatizar o processo de construção da Hype Cycle, a menos que se utilizassem mecanismos de *machine learning* e inteligência artificial.

Em todas as curvas construídas foi possível perceber que há um trecho em que o valor da curva se torna negativo, como se a tecnologia tivesse um nível negativo de maturidade. Levantou-se um questionamento sobre qual o significado real de uma maturidade negativa, se seria possível ter valores negativos em uma curva Hype Cycle.

Durante a metodologia de construção da curva Hype Cycle, existe a etapa de ajuste das curvas no estágio Hype e de Implementação em uma função em formato de S. Depois de feito o ajuste, é necessário derivar a curva no estágio Hype, de forma que ela adote um formato de sino. Em uma tentativa de sanar o problema dos valores negativos na curva Hype Cycle, foi calculado o inverso da derivada da curva S e a derivada do inverso da curva S, isto é:

$$\text{Curva de Sino (Estágio Hype)} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{f(x)} \right)$$

$$\text{Curva de Sino (Estágio Hype)} = \frac{1}{\frac{\partial}{\partial x} (f(x))}$$

Sendo $f(x)$ a função que representa a curva S do estágio Hype.

Porém, nenhuma das duas operações forneceu resultados melhores para a curva de sino do estágio Hype. Assim, é necessário reconhecer as limitações da metodologia proposta que, apesar de se aproximar com certa fidelidade da Hype Cycle fornecida pela Gartner, ainda apresenta lacunas quanto a representação ideal do nível de maturidade de uma tecnologia.

De maneira geral, as curvas Hype Cycle construídas neste trabalho representaram bem o nível de maturidade tecnológica das tecnologias estudadas no momento atual do país.

Segundo Silva e Bortoni (2016), as expectativas para o futuro dos sistemas de armazenamento são otimistas e abrangem o desenvolvimento de diversas tecnologias, como baterias residenciais, baterias de fluxo redox etc. Apesar de existirem oportunidades econômicas no mercado de gestão de redes elétricas, os SAEs ainda não são competitivos com alternativas existentes. Além disso, também existem barreiras regulatórias e de mercado, pois há carência de modelos de negócios para concessionárias e empreendedores, criadores de políticas energéticas, entre outros (Silva e Bortoni, 2016).

A principal barreira para adoção de sistemas de armazenamento de energia são os elevados custos de capital. Porém, como já foi levantado, existem barreiras de outras naturezas e de significativa relevância como, por exemplo, regulatórias, econômicas (de mercado), modelagem de negócios e tecnológicas. As barreiras tecnológicas dizem respeito aos altos custos das tecnologias, que se justificam principalmente pela ausência de justificativa econômica para a utilização de SAEs por parte das concessionárias. Para redução de custos e para tornar a tecnologia mais competitiva, é necessário investir na pesquisa de tecnologias de armazenamento de energia. Essa pesquisa pode ser orientada para atender necessidades dos sistemas de energia a custos os mais baixos possíveis (Silva e Bortoni, 2016).

Assim, entende-se que a Hype Cycle para armazenamento de energia reflete bem o comportamento atual da tecnologia no país. Como ela acabou de sair da sua fase de Pico de Expectativas, faz sentido que esteja cara, coerente com a baixa competitividade frente às alternativas de mercado.

Uma maneira de incentivar a pesquisa sobre armazenamento de energia no Brasil é através de financiamento de programas de P&D na área, com o objetivo de fomentar o desenvolvimento tecnológico – uma vez que o aumento da produção poderia contribuir para a queda no preço das alternativas de armazenamento (Silva e Bortoni, 2016). Assim, entende-se que há uma necessidade de reunir esforços governamentais, de universidades e da comunidade financeira de maneira geral para realizar o avanço desta tecnologia no país.

Em relação a *smart grids*, sua implementação no Brasil está relacionada, principalmente, com a busca de eficiência comercial e energética, o aumento da confiabilidade do sistema elétrico, a segurança operacional e sistêmica e a sustentabilidade econômica e ambiental.

Eficiência comercial e energética são obtidas através da redução de perdas técnicas e comerciais, bem como na melhoria da qualidade da energia disponibilizada ao consumidor e a melhor gestão de seu consumo. A confiabilidade do sistema elétrico aumenta com a interoperabilidade entre os componentes da rede e subestações, gestão de ativos e planejamento das capacidades de geração, transmissão e distribuição de energia. Por fim, a segurança operacional e sistêmica pode ser alcançada através do controle de acesso à rede, da redução de perdas por fraudes e da gestão para contingências (Santos, 2019).

Os maiores desafios para implementação de *smart grids* estão relacionados com o alto teor de complexidade do sistema, além de depender do contexto em que a rede inteligente se aplica – transmissão, distribuição ou microrredes (Santos, 2019). Porém, como já foi amplamente discutido neste trabalho, o *smart grid* é uma realidade e as mudanças estruturais do setor associadas à sua implementação são iminentes. Assim, por mais que existam desafios a serem superados, não se vê, atualmente, uma alternativa para o futuro do setor elétrico mundial.

A Hype Cycle para *smart grids* mostra que a tecnologia está no Vale da Desilusão, para o ano de 2019. O setor elétrico brasileiro está passando por essa transição, que é complexa e exige uma reestruturação de toda a cadeia do setor. Assim, faz sentido que a tecnologia esteja passando por este momento de baixas expectativas, pois são necessários estudos para avaliar quais mudanças estruturais e regulatórias devem ser implementadas para que a tecnologia de redes inteligentes possa alcançar proporções de grande escala no país.

A implantação de veículos elétricos no Brasil também possui barreiras para enfrentar. Especificamente para os veículos puramente elétricos, é necessário haver uma infraestrutura de abastecimento que exige uma reestruturação profunda da estrutura atual no país. Além disso, a autonomia desta modalidade de veículo elétrico ainda não possui grande autonomia (BNDES, 2018).

Para superar essas barreiras e incentivar a difusão de veículos híbridos e elétricos, uma série de medidas podem ser tomadas para tornar a solução economicamente atraente como, por exemplo, incentivando projetos de P&D em baterias, células a combustível e veículos elétricos, bem como o estabelecimento de normas mais rígidas de redução de emissões no setor de transportes e a padronização de componentes como o carregador veicular (BNDES, 2018).

Ainda segundo o BNDES (2018), uma outra maneira de incentivar a difusão de veículos elétricos pode ser aplicada pelo lado da demanda, através de um incentivo monetário ao comprador – desconto no preço, abatimento de impostos etc. –, uma vez que o preço destes veículos costuma ser maior, principalmente devido a uma menor escala de produção. Por fim, existem outros tipos de incentivos não monetários, como o estacionamento preferencial, por exemplo, que podem contribuir na tomada de decisão do consumidor.

Em 2018, foram vendidos 1,98 milhão de veículos elétricos no mundo, aumentando o estoque global para 5,12 milhões. As vendas de veículos elétricos aumentaram 68%, mais que o dobro do crescimento médio das vendas ano a ano necessário para atingir o nível de Cenário de Desenvolvimento Sustentável até 2030 (IEA, 2019). Desde 2012, o mercado de veículos elétricos vem crescendo, em média, 58% ao ano, contra 3%, em média, do mercado de convencionais (BNDES, 2018).

Apesar de haver uma forte presença de montadoras tradicionais no mercado de veículos híbridos e elétricos, os BEVs abrem oportunidades para novas empresas, uma vez que uma tração puramente elétrica é mais simples e um motor elétrico tem menos componentes que um motor a combustão interna. Assim, derruba-se uma barreira a entrada na indústria automotiva, aumentando o potencial de novas empresas desenvolvendo soluções próprias em *powertrain* elétrico e armazenamento de energia (BNDES, 2018).

No Brasil, a disponibilidade de veículos elétricos e híbridos ainda é muito restrita, com um baixo histórico de vendas associado a uma baixa disponibilidade de modelos, apesar de o mercado automobilístico brasileiro ser um dos maiores do mundo (BNDES, 2018). Uma das possíveis razões para isso é a falta de infraestrutura no país e a baixa autonomia dos veículos, além dos preços acima dos modelos tradicionais.

Como apontado pelo BNDES (2018), existe uma grande oportunidade no Brasil de integrar tecnologias relacionadas à eletrificação veicular com o desenvolvimento do uso de combustíveis, já em estágio avançado no país. Se esta integração fosse bem-sucedida, seria possível fortalecer as bases locais de pesquisa e desenvolvimento, fornecendo ao mundo uma solução ambientalmente relevante para redução de emissão no setor de transportes.

A eletrificação é uma realidade que não se aplica somente aos transportes, mas outros setores, na tentativa global de redução de emissões de gases de efeito estufa. Os veículos elétricos e híbridos, apesar de terem se desenvolvido fortemente nos últimos anos, ainda precisam ganhar em eficiência e autonomia, além da redução de custos, de forma a se tornarem mais competitivos no mercado. Dessa forma, ainda existe um caminho a ser percorrido, mas a transição dos veículos tradicionais a queima de combustível já iniciou e é irreversível.

Apesar de o Brasil estar um pouco atrasado em relação às projeções mundiais de substituição de frotas de veículos convencionais para os elétricos, já começou a ocorrer o desenvolvimento da tecnologia no país, inclusive com instalação de eletropostos. Dessa forma, é possível afirmar que a Hype Cycle para veículos elétricos desenvolvida neste trabalho consegue apresentar com suficiente fidelidade o nível de maturidade da tecnologia no país, uma vez que a tecnologia já passou pelo seu Pico de Expectativas, porém, ainda percorrerá um significativo caminho até alcançar seu Platô de Produtividade – que também corresponde a projeção nacional para substituição da frota convencional pela de veículos elétricos e híbridos.

No PDE (Plano Decenal de Expansão) de 2019, a projeção de geração de energia eólica para 2029 é de 39,5 GW, representando um crescimento de 163,3% em relação ao ano de 2019 (EPE, 2019). A geração de energia eólica, apesar de intermitente, funciona muito bem em complementariedade com as fontes solar e hídrica. Segundo Castro et al. (2018), um desafio associado à geração de energia eólica no Brasil se refere à coordenação entre a expansão do parque gerador e o sistema de transmissão, isto é, a dificuldade de escoamento da produção nos parques eólicos devido a atrasos na expansão da rede de transmissão. Dessa forma, é necessário que haja um replanejamento do sistema de transmissão por parte das entidades responsáveis de maneira a permitir a expansão eólica no país. Associado a esta questão, também é necessário aprimorar as ferramentas de previsão dos ventos, para que estes possam ser mais adequadamente mapeados.

Como já mencionado anteriormente, a viabilização da expansão eólica no Brasil foi só foi possível por conta de incentivos como os leilões de energia. Porém, nos últimos anos, verificou-se uma redução da contratação de energia elétrica através dos leilões de energia, consequência da crise econômica e política que reduziu sua demanda. Assim, graças à redução de atividade no ACR (Ambiente de Contratação Regulado), as atividades dos principais players da indústria eólica também foram afetadas. Espera-se uma retomada no ritmo de crescimento a partir do próximo ano (Castro et al., 2018).

Apesar de a redução de contratação no ACR, associado à possibilidade de contratação com consumidores livres em função da competitividade da modalidade, o principal entrave para a expansão de energia eólica no ACL (Ambiente de Contratação Livre) é o modelo de financiamento. No ACL, não há contratos de longo prazo compatíveis com o financiamento de longo prazo, isto é, compatíveis com os contratos de financiamento

oferecidos pelo BNDES, importante fonte de empréstimos no setor elétrico de maneira geral e, portanto, para a geração eólica. Ainda assim, acredita-se que o ACL é uma importante ferramenta de expansão do setor elétrico (Castro et al., 2018).

Ainda segundo Castro et al. (2018), a alteração do modelo de contratação das usinas eólicas – que a partir do próximo leilão serão comercializadas por quantidade e não mais por disponibilidade – também é um assunto que vem sendo amplamente discutido por autoridades e especialistas do setor. Apesar de ter sido uma notícia bem recebida pelo setor eólico, o contrato das eólicas será sazonalizado de acordo com a curva de geração projetada pelo empreendedor.

Dessa forma, é possível perceber mudanças e oportunidades no setor elétrico eólico, além da modalidade *offshore* que, apesar de não competitiva com a *onshore*, apresenta maior fator de capacidade e ventos mais estáveis (Castro et al., 2018). Assim, a modalidade de geração eólica, depois de uma significativa fase de crescimento e desenvolvimento, se encontra em um período de mudanças de mercado, bem como de exploração de novas possibilidades, fazendo com que seja possível crer em sua manutenção como uma das principais fontes de geração de energia elétrica limpa e renovável do país.

Este contexto está coerente com a curva Hype Cycle construída para a tecnologia de geração eólica, já que a tecnologia já passou pelo seu Pico de Expectativas e está bastante próxima do Vale da Desilusão. Esta posição na curva no momento atual do país pode representar as mudanças que o setor vem sofrendo, para que, em seguida, a tecnologia possa voltar a crescer na Rampa da Iluminação.

6 Conclusão

A metodologia utilizada para a construção das curvas Hype Cycle neste trabalho apresentou resultados satisfatórios considerando o momento atual de maturidade tecnológica no Brasil. Porém, existem limitações na metodologia que podem ser levantadas como sugestões para trabalhos futuros, para que sejam superadas.

A primeira delas é a necessidade de análise subjetiva para avaliação dos artigos pesquisados, o que dificulta a automatização do processo. É uma sugestão de trabalhos futuros a implementação de algoritmos de *machine learning* e inteligência artificial, na tentativa de automatizar a construção da curva, de forma a tornar o processo mais eficiente e menos suscetível ao erro humano.

Além disso, também não foi possível corrigir o período em que a curva fica negativa. Como este valor negativo ocorreu sempre na fase do Vale da Desilusão (*Through of disillusionment*), pode-se interpretar o valor negativo como sendo uma expectativa inferior àquela do início da análise, no caso, o ano de 2009. Assim, não necessariamente se trata de um erro, mas uma consequência das escolhas feitas ao aplicar a metodologia como, por exemplo, o período de análise.

Também é importante ressaltar a escolha da base de dados. Apesar de a base WoS ser bastante extensa, não foi possível encontrar artigos para a tecnologia *blockchain* aplicada ao setor energético. Para garantir a coerência do trabalho, a busca por artigos foi realizada na mesma base, para todas as tecnologias. Porém, a mesma busca por artigos deste assunto foi realizada no Google Scholar, apresentando milhares de resultados. O estudo não poderia ser realizado nesta base, pelas limitações que já foram aqui apresentadas, mas é importante perceber que, ao considerar uma única base de pesquisa, o resultado acaba se tornando enviesado ou limitado.

Como foi amplamente discutido, a curva Hype Cycle permite a análise de maturidade de tecnologias, configurando uma ferramenta de apoio à tomada de decisão do investidor. Em um contexto fortemente marcado pela transição energética, no qual as grandes empresas do setor precisam investir em novas tecnologias de energia limpa, compreender o nível de maturidade dessas tecnologias permite que o investidor possa escolher não só em qual tecnologia investir, mas também qual o momento mais adequado para realizar este investimento. Como o trabalho foi baseado em uma pesquisa de *startups* de *cleantech*

no Brasil, entende-se que as tecnologias aqui representadas são de interesse das grandes empresas instaladas em território nacional.

O objetivo principal deste trabalho foi o de construir uma ferramenta de suporte para a tomada de decisão de investidores de grandes empresas do setor elétrico que desejam investir em startups de cleantech. Como foi exposto no Capítulo 4 – Análise de Resultados, as curvas Hype Cycle construídas neste trabalho representam suficientemente bem o nível de maturidade em que as tecnologias se encontram no Brasil no momento atual. Apesar de haver algumas críticas e sugestões de melhorias para a metodologia aplicada, é possível confirmar que a Hype Cycle é um importante instrumento de apoio na tomada de decisão do investidor. Isso acontece porque, ao estudar o nível de maturidade das tecnologias no país, o investidor pode escolher o melhor momento para realizar o investimento.

No caso da tecnologia de armazenamento de energia, para o ano de 2019, a tecnologia acabou de passar pelo seu pico de expectativas, indo para o Vale da Desilusão. O investidor que desejar investir nesta tecnologia deverá ter em mente que vai demorar um tempo para que ele obtenha o seu retorno, uma vez que a tecnologia ainda passará por um vale de baixas expectativas antes de voltar a crescer. No mesmo referencial de tempo, a tecnologia de *smart grids* se encontra exatamente neste vale, o que significa que em pouco tempo as expectativas sobre ela voltarão a crescer (“Rampa de Iluminação” ou “*Slope of Enlightenment*”), até que ela fique madura e encontre a sua estabilidade. Sendo assim, é um bom momento para investir nesta tecnologia, uma vez que, por se encontrar no vale da curva, ela pode estar mais barata, pois as expectativas sobre ela são menores. Porém, em não muito tempo, o investidor terá o seu retorno financeiro.

Ainda estabelecendo o ano de 2019 como referência, as tecnologias de veículos elétricos e de geração eólica se encontram em momentos parecidos com a de armazenamento de energia. No caso dos veículos elétricos, a tecnologia se encontra mais próxima do Vale da Desilusão, o que pode ser atrativo para alguns investidores que estão dispostos a lidar com um período um pouco maior de retorno do seu investimento. Porém, para eólica que, assim como para armazenamento de energia, acabou de passar pelo seu Pico de Expectativas, pode não ser um bom momento para investimento, uma vez que a tecnologia ainda levará um tempo para chegar no Vale da Desilusão.

Como principal contribuição deste trabalho, além da proposição da metodologia e construção das curvas, entende-se que são as críticas à metodologia apresentada, de forma a permitir que trabalhos futuros possam utilizar este como ponto de partida e possibilidade de aprimoramento.

7 Referências Bibliográficas

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). “Geração Distribuída” (2015). Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em 03 de setembro de 2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). „Unidades Consumidoras com Geração Distribuída“ (2019). Disponível em: http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qcJG%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2. Acesso em: 14 de janeiro de 2020.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). “Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída” (2019). Disponível em:

https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877. Acesso em 17 de janeiro de 2020.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). “Revisão das regras de geração distribuída entra em consulta pública” (2019). Disponível em:

https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/revisao-das-regras-de-geracao-distribuida-entra-em-consulta-publica/656877. Acesso em 17 de janeiro de 2020.

Alstone, P., Gershenson, D., Kammen, D. “Decentralized energy systems for clean electricity access” (2015).

Australian Renewable Energy Agency (ARENA). “Commercial Readiness Index for Renewable Energy Sectors” (2014).

Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES). “Veículos elétricos: um mercado em ascensão” (2018). Disponível em:

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/veiculos-eletricos>. Acesso em 27 de janeiro de 2020.

Barkenbus, Jack. “Our electric automotive future: CO2 savings through a disruptive technology” (2015).

Bellido, M. M. H., Mendonça, H. L., Fonseca, M. V. A., Pereira Jr., A. O. “Maturity-based analysis of emerging technologies in the Brazilian Power Sector” (2019).

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). “Pré-Adesão e tipos de comunhão – Critérios para aderir ao mercado livre de energia elétrica” (sem data). Disponível em:

https://www.ccee.org.br/portal/faces/aceso_rapido_header_publico_nao_logado/faq/faq_detalhe?categoriaFaqId=CCEE_383107&contentId=CCEE_386128&assuntoFaqId=CCEE_383105&_adf.ctrl-state=by3rnqiof_14&_afLoop=161260392627932#!%40%40%3FcategoriaFaqId%3DCCEE_383107%26_afLoop%3D161260392627932%26contentId%3DCCEE_386128%26assuntoFaqId%3DCCEE_383105%26_adf.ctrl-state%3Dby3rnqiof_18. Acesso em 25 de janeiro de 2020.

Castro, N., Oliveira, C., Chaves, A. C. “A energia eólica no Brasil: Desafios e perspectivas” (2018).

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). “Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional” (2012).

Copenhagen Cleantech Cluster. “DENMARK: A EUROPEAN SMART GRID HUB” (2017).

Cumming, D., Henriques, I., Sadorsky, P. “'Cleantech' Venture Capital around the world” (2016).

DOE, Department of Energy. “How Distributed Wind Works” (2020). Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/wind/how-distributed-wind-works>. Acesso em: 13 de janeiro de 2020.

DOE, Department of Energy. “Distributed Wind” (2020). Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/wind/distributed-wind>. Acesso em: 13 de janeiro de 2020.

Dubos, Gregory F., Saleh, Joseph H., Braun, Robert. “Technology Readiness Level, Schedule Risk, and Slippage in Spacecraft Design” (2008).

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). “Recursos Energéticos Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético” (2018).

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). “Balanço Energético Nacional” (2019).

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). “Plano Decenal de Expansão de Energia - 2029” (2019). Disponível em:

<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-422/PDE%202029.pdf>. Acesso em 27 de janeiro de 2020.

Facto Consultoria em Energia e Meio Ambiente Ltda. “Mecanismos de Suporte a Geração de Energia Renovável – Políticas de Incentivo e Modelos de Negócio” (2019).

Falcão, D. M. „SMART GRIDS E MICROREDES: O FUTURO JÁ É PRESENTE“ (2009).

Fenn, J., Raskino M. “Mastering the Hype Cycle – How to Choose the Right Innovation at the Right Time” (2008).

Ferraço, Anaide Luzia. “Transição Energética no Brasil: entraves e possibilidades no âmbito institucional” (2016). Disponível em:

<https://openaccess.leidenuniv.nl/bitstream/handle/1887/37814/Tese%20versão%20oficial%20.pdf?sequence=1>. Acesso em 31 de agosto de 2018.

Freire, Wagner. “Geração distribuída atinge 200MW no Brasil” (2017). Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53044781/geracao-distribuida-atinge-200-mw-no-brasil>. Acesso em 03 de setembro de 2018.

Gaddy, B., Sivaram, V., Jones, T., Wayman, L. “Venture Capital and Cleantech: The wrong model for energy innovation” (2016).

Gartner. "Understanding Gartner's Hype Cycle" (2003).

Gouvêa, R. L. P., da Silva, P. A. „Desenvolvimento do setor eólico no Brasil“ (2018).

Graffy, E., Kihm, S. “Does Disruptive Competition Mean a Death Spiral for Electric Utilities” (2014).

Greco, M., Locatelli, G., Lisi, S. “Open innovation in the power & energy sector: Bringing together government policies, companies’ interests, and academic essence” (2017).

Hernandes, L. J. „O avanço da mobilidade elétrica e a era da recarga inteligente“ (2019). Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/o-avanco-da-mobilidade-eletrica-e-a-era-da-recarga-inteligente/>. Acesso em: 10 de janeiro de 2020.

Ibrahim, H., Ilinca, A., Perron, J. “Energy storage systems—Characteristics and comparisons” (2007).

International Energy Agency (IEA). “Tracking Transport” (2019). Disponível em: <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2019/electric-vehicles#abstract>. Acesso em 27 de janeiro de 2020.

Kongjeen, Y., Bhummkittipich, K. „Modeling of Electric vehicle loads for power flow analysis based on PSAT“ (2016).

Lane, Eric L. "Chapter 1: Clean Tech IP Is for Real" (2011).

Lopes, Y., Fernandes, N. C., Muchaluat-Saade, D. C. “Geração Distribuída de Energia: Desafios e Perspectivas em Redes de Comunicação” (2015).

Lucas, A., Bonavitacola, F., Kotsakis, E., Fulli, G. „Grid harmonic impact of multiple electric vehicle fast charging“ (2015).

Malaguti, Gustavo. “Regulação do setor elétrico brasileiro: da formação da indústria de energia elétrica aos dias atuais” (2009).

Maloney, Peter. “N.Y. utilities eye use of blockchain in the power sector” (2018). Disponível em: <https://www.publicpower.org/periodical/article/ny-utilities-eye-use-blockchain-power-sector>. Acesso em 17 de janeiro de 2020.

Mankins, John C. “Technology Readiness Levels” (1995).

Makins, John C. “Technology readiness and risk assessments: A new approach” (2009).

Mendonça, Hudson Lima. “Startups de Energia: Identificando os Padrões Vencedores Durante a Transição Energética” (2018).

Ministério de Minas e Energia (MME). “Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro” (2017).

O’Leary, Daniel E. “The Impact of Gartner’s Maturity Curve, Adoption Curve, Strategic Technologies on Information Systems Research, with Applications to Artificial Intelligence, ERP, BPM, and RFID” (2009).

Patterson, Brian. “DC, Come Home” (2012).

Pereira, Amaro. “A Transição Energética e a Nova Realidade do Setor Elétrico” (2016). Disponível em:

<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/19189/Coluna%20Opinio%20Amaro%20Pereira.pdf>. Acesso em 31 de agosto de 2018.

Qian, K., Zhou, C., Yuan, Y. „Impacts of high penetration level of fully electric vehicles charging loads on the thermal ageing of power transformers“ (2015).

Rodríguez, Carlos Roberto Cervantes. “Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede” (2002).

Santos, V. S. A. R. “IMPLANTAÇÃO DE SMART GRID NO BRASIL: POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES” (2019).

Sasaki, Hiroshi. “SIMULATING HYPE CYCLE CURVES WITH MATHEMATICAL FUNCTIONS: SOME EXAMPLES OF HIGH-TECH TRENDS IN JAPAN” (2015).

Silva, C. F. F. Y., Bortoni, C. E. “SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM REDES INTELIGENTES: CARACTERÍSTICAS, OPORTUNIDADES E BARREIRAS” (2016).

Souza, L. H. V., Cavalcante, A. M. G. „Towards a sociology of energy and globalization: Interconnectedness, capital, and knowledge in the Brazilian solar photovoltaic industry“ (2016).

Steinert, M., Leifer, L. “Scrutinizing Gartner’s Hype Cycle approach” (2010).

Stenzel, T., Frenzel, A. “Regulating technological change – The strategic reactions of utility companies towards subsidy policies in the German, Spanish and UK electricity markets” (2008).

WWF-Brasil. “WWF lança relatório mundial sobre tecnologia limpa e Brasil cai 5 posições em relação a 2014” (2017). Disponível em:
<https://www.wwf.org.br/informacoes/?58642/WWF-lana-relatrio-mundial-sobre-tecnologia-limpa-e-Brasil-cai-5-posies-em-relao-a-2014>. Acesso em 03 de setembro de 2018.