

Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil

Innovation and sustainability in energy production: the case of wind power generating system in Brazil

Thiago Cavalcante Nascimento¹

Andréa Torres Barros Batinga de Mendonça²

Sieglinde Kindl da Cunha³

Resumo

Este artigo tem por objetivo verificar como as ações do sistema setorial brasileiro de energia eólica se relacionam com as perspectivas econômicas, sociais e ambientais que caracterizam inovações sustentáveis. Argumenta que as questões energéticas estão no cerne do desenvolvimento humano ao longo de sua história e que, em decorrência do atual cenário de mudanças climáticas, o desenvolvimento de fontes alternativas de energia é de vital importância na contemporaneidade. Metodologicamente, o estudo pode ser considerado exploratório e descritivo em relação aos fins e bibliográfico no que diz respeito aos meios. Foram utilizados dados primários de agências nacionais, regionais e mundiais de energia eólica para aumentar a consistência das informações coletadas e do trabalho como um todo. Os resultados evidenciam que o sistema setorial de energia eólica está estruturado em torno de uma série de instituições públicas, autarquias, associações de pesquisa e outros *stakeholders* que demonstram crescente interesse no desenvolvimento do setor no país. Os dados indicam, ainda, que os valores alcançados ao longo dos últimos leilões de energia eólica têm evidenciado o potencial de competitividade dessa fonte energética em comparação com as demais. Conclusivamente, é possível verificar que os pilares da sustentabilidade podem ser visualizados ao longo de praticamente todas as questões envolvendo a implantação de novas usinas eólicas, mas que a dimensão econômica ainda é a de maior destaque, tornando as dimensões sociais e ambientais dependentes da capacidade dessa modalidade de energia competir com outras.

Palavras-chave: Energia eólica. Sistema setorial. Inovação. Sustentabilidade.

Abstract

This paper aims to determine how actions by the Brazilian wind power generating system are related to the economic, social, and environmental prospects characterizing sustainable innovations. It argues that energy issues are at the core of human development throughout its history and that, due to the current climate change scenery, the development of alternative energy sources is of paramount importance nowadays. Methodologically, the study may be regarded as

Artigo submetido em 30 de julho de 2012 e aceito para publicação em 13 de agosto de 2012.

¹ Professor Assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); Doutorando em Administração pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Endereço: Rua Urbano Lopes, 60, apto 1701, Cristo Rei, CEP 80050-520, Curitiba – PR, Brasil. E-mail: thiagocn1@hotmail.com

² Doutoranda em Administração pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Endereço: Rua Sanito Rocha, 135, apto 1604, Cristo Rei, CEP 80050-380, Curitiba – PR, Brasil. E-mail: deatorres@gmail.com

³ Doutorado em Ciência Econômica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professora Sênior do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professora do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Positivo. Endereço: Rua Rui Arzua Pereira 64, Abranches, CEP 82130-190, Curitiba - PR. Email: skcunha21@gmail.com

exploratory and descriptive with regard to its purposes and as bibliographic with regard to its means. Primary data from national, regional, and global wind power agencies were used to improve the consistency of information gathered as well as the work as a whole. The results show that the wind power generating system is structured around a series of public institutions, autarchies, research associations, and other stakeholders which demonstrate an increasing interest in developing the sector in the country. Data also indicate that the values achieved in the last wind power auctions have shown the competitiveness potential of this energy source when compared to the other ones. In Conclusion, one can see that the pillars of sustainability may be observed in virtually all matters concerning the implementation of new wind power farms, but the economic dimension is still the most prominent one, making the social and environmental dimensions dependent on the ability of this energy source to compete with the others.

Keywords: Wind power. Generating system. Innovation. Sustainability.

Introdução

A produção e disseminação de energia estão no cerne de questões envolvendo o desenvolvimento econômico ao longo da história da humanidade. Exemplos podem ser verificados na primeira revolução industrial por meio da introdução da máquina a vapor no sistema produtivo, bem como na segunda revolução industrial e em outros momentos históricos, como a crise econômica mundial da década de 1970, chamada por Arienti (2003) de crise do regime de acumulação e modo de regulação fordista. Para o autor, a crise mundial de 1970 se deu por inúmeros fatores, incluindo questões relacionadas à energia, decorrentes do posicionamento adotado pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) em elevar os preços do petróleo no mercado internacional.

A partir desse momento histórico, questões relacionadas à dependência dessa *commodity* fizeram emergir discussões sobre a importância do papel da energia na indução de desenvolvimento, que contemporaneamente apontam para a possibilidade de países criarem vantagens competitivas em decorrência do dinamismo tecnológico com que usam seus recursos energéticos, tendo em vista a busca por emparelhamento (*catching up*) a países desenvolvidos (PÉREZ, 2010).

As matrizes energéticas, em predominância, fazem uso acentuado de combustíveis fósseis ou minerais, ou seja, não renováveis, como o petróleo, carvão, gás natural e urânio para produção de energia nuclear (BARBIERI, 2007). Esse tipo de padrão de produção e consumo de energia tem gerado, ao longo da história, uma série de efeitos ambientais, como a emissão de poluentes locais e gases de efeito estufa, colocando em risco a sustentabilidade ou suprimento de longo prazo do planeta (GOLDEMBERG e LUCON, 2007). Destaca-se, que os poluentes emitidos ao longo desses processos não se concentram, necessariamente, em contexto regional, podendo atingir outros países em decorrência da relação de interdependência entre os ecossistemas (BARBIERI, 2007).

Os efeitos provocados por esses padrões de produção e consumo têm levado as sociedades, empresas e instituições públicas a pensar de forma mais intensiva sobre questões relacionadas à sustentabilidade em diferentes perspectivas, como econômica, social e ambiental em busca de uma nova forma de desenvolvimento, pautada pelo desenvolvimento sustentável, conforme estabelecido pela *Brundtland Commission* (BARBIERI, 2007; BLACKBURN, 2007; ELKINGTON, 2012).

Nessa perspectiva, pressupõe-se que a demanda excessiva por geração de energia reduz oportunidades de desenvolvimento e prejudica o meio ambiente (COHEN, 2002) e, em um cenário no qual se verifica uma tendência de crescimento na demanda de energia mundial, principalmente em decorrência da melhoria da qualidade de vida nos países emergentes, eleva-se a preocupação com os inúmeros aspectos de planejamento de políticas energéticas (MARTINS, GUARNIERI e PEREIRA, 2008).

É nessa linha de raciocínio que uma série de alternativas em relação à geração de energia vem sendo desenvolvidas ao longo dos últimos anos, levando em consideração questões ambientais, tecnológicas, políticas e sociais, como a energia hidroelétrica, termoeétrica, biomassa, de marés, eólica, entre outras (ABRAMOWSKI e POSORSKI, 2000; MARTINS, GUARNIERI e PEREIRA, 2008; BRASIL, 2010).

Dentre as inúmeras possibilidades de energias renováveis que produzem reduzidos impactos ambientais e não emitem gases de efeito estufa, as fontes eólicas têm despontado como uma das mais interessantes em termos de produção, segurança de fornecimento e sustentabilidade ambiental (GWEC, 2008; EWEA, 2010). Outra questão pertinente ao financiamento de parques eólicos consiste na crença de que os avanços tecnológicos do setor e a crescente demanda por esse tipo de energia também têm gerado implicações socioeconômicas (MARTINS, GUARNIERI e PEREIRA, 2008).

Os países emergentes têm apresentado elevado potencial de produção de energia eólica, mas enfrentam barreiras decorrentes de falta de experiência, ausência de recursos, atrasos tecnológicos e métodos para seleção dos locais adequados para implantação das turbinas de captação e transformação de energia cinética em eletricidade, o que corresponde a um cenário significativamente diferente do enfrentado por países desenvolvidos (ABRAMOWSKI e POSORSKI, 2000).

Como desdobramento das atuais pressões sociais, políticas e institucionais, significativa parcela dos países emergentes passou a buscar desenvolver ou adquirir tecnologias mais limpas de energia, tendo em vista uma aproximação com a definição de desenvolvimento sustentável cunhada pela *Brutland Commission*. Tendo isso em vista, este artigo tem por objetivo verificar como as ações do sistema setorial brasileiro de energia eólica se relacionam com as perspectivas econômicas, sociais e ambientais que caracterizam inovações sustentáveis.

Referencial Teórico

O referencial teórico deste artigo está estruturado em torno de uma discussão sobre o conceito de inovação e a caracterização de um sistema setorial de inovação. Em seguida, apresenta a relação contemporânea entre os temas inovação e sustentabilidade. Por fim, apresenta, de forma sucinta, a evolução da indústria de energia eólica, resgatando sua origem e principais características.

Sistema setorial de inovação

Entre os inúmeros debates que cercam a sociedade moderna, um dos poucos consensos que se consegue verificar em estudiosos das mais diversas áreas diz respeito à inovação como um fator determinante para a competitividade e o desenvolvimento de nações, regiões, setores, empresas e até indivíduos (CASSIOLATO e LASTRES, 2000; VELOSO FILHO e NOGUEIRA, 2006).

Dessa forma, o **Manual de Oslo** afirma que uma maior conscientização da importância da inovação fez com que ela fosse incluída na agenda política da maioria dos países desenvolvidos, com foco básico em políticas de ciência e tecnologia e aspectos de políticas industriais. “O novo pensamento sobre inovação fez surgir a importância dos sistemas e levou a uma abordagem mais integrada da formulação e implantação de políticas ligadas à inovação” (OECD, 2004, p. 32).

As percepções de causalidade de processos inovativos na dinâmica econômica têm significativa influência dos escritos de Schumpeter (1985). Para autores como Katz (1986), Lemos (2000) e Cassiolato e Latres (2005), e as contribuições de Schumpeter sobre inovação tecnológica e desenvolvimento econômico estruturaram as bases dos estudos contemporâneos sobre inovação. Em sua obra clássica, Schumpeter (1985)

afirma que as inovações podem ocorrer através de uma série de novas combinações, como introdução no mercado de um novo bem, um novo processo de produção, abertura de um novo mercado, a descoberta de uma nova fonte de matéria-prima e o desenvolvimento de novas formas organizacionais.

Com base na proposição de novas combinações de Schumpeter (1985), uma série de concepções sobre inovação passou a ganhar destaque, como a de Pérez (2004), que considera a inovação um fato econômico que consiste na aplicação comercial de uma invenção, ou de Lundvall (1988), que retrata o tema em uma perspectiva mais ampla, abordando a inovação como um processo de aprendizado interativo que assume um papel importante no contexto atual, marcado por grandes transformações e pela interdependência de políticas de todas as competências necessárias para o alcance da competitividade.

Nessa perspectiva, Storper (2000) afirma que o processo de inovação requer, muitas vezes, a interação entre os agentes, através do desenvolvimento de competências específicas para o relacionamento dos atores e capacitações técnicas. Vários autores, como Dosi (1988; 2007), Freeman (1995), Lundvall et al. (2002), Malerba (2002) e Nelson (2004; 2006a) corroboram com essa abordagem conceitual, analisando o papel da inovação na competição, no aprofundamento de características setoriais e nacionais, o papel da pesquisa e dos arranjos institucionais, o desenvolvimento de sinergias coletivas, entre outros pontos de destaque.

A corrente teórica dessa linha de raciocínio segue o que Nelson e Winter (2004) e Nelson (2006b) consideram natureza evolucionária da inovação, na qual o desenvolvimento econômico seria o resultado de coevoluções tecnológicas, empresariais e institucionais. Ainda é possível afirmar que a natureza evolucionária da inovação influencia as mudanças tecnológicas por meio do desenvolvimento de capacidades tecnológicas, a partir do aprimoramento e uso das tecnologias, decorrentes de abordagens históricas e aspectos evolutivos, nos quais o desenvolvimento ao longo do tempo é influenciado por ações de *feedback* que caracterizam a trajetória tecnológica das organizações e dos sistemas setoriais em que se encontram inseridas (JOHNSON, EDQUIST e LUNDVALL, 2003; LALL, 2005).

Entre os diversos sistemas que se estruturam em torno da concepção evolucionária, é possível destacar o que Malerba (2002, p. 4) conceitua como sistema setorial de inovação, definindo-o como um “conjunto de agentes heterogêneos que realizam interações mercantis e não mercantis para geração, adoção e uso de (novas e estabelecidas) tecnologias para criação, produção e utilização de (novos e estabelecidos) produtos que pertencem a um setor (produtos setoriais)”.

Três componentes específicos fazem parte da caracterização de um sistema setorial de inovação e se relacionam ao domínio de conhecimentos e tecnologias específicas dos componentes do sistema, aos agentes e relações e as instituições presentes no sistema (MALERBA, 2002; 2003). O primeiro componente se relaciona ao conjunto de conhecimentos e tecnologias específicas que diferenciam empresas de um setor para outro; o segundo, sobre os agentes e relações, destaca a característica de heterogeneidade que envolve os diversos agentes como usuários, fornecedores, agências governamentais e departamentos de pesquisa e desenvolvimento e; por fim, o conjunto das instituições de um sistema setorial trata daquilo que rege as interações entre os agentes e podem se dar em forma de normas, rotinas, hábitos, práticas, regras, leis, entre outras (CASSIOLATO e LASTRES, 2000; MALERBA, 2002; 2003).

Os sistemas de inovação e as relações entre seus agentes específicos influenciam os processos de aprendizagem tecnológica e o desenvolvimento de suas capacidades, bem como a região ou localidade onde os sistemas estão inseridos, em decorrência das interações com outras redes de empresas, universidades, clientes, fornecedores e outros agentes que influenciam o processo de inovação (DUTRÉNIT, 2004).

Destaca-se que a abordagem sistêmica da inovação foca na interdependência e não linearidade dos processos de desenvolvimento, em que as inovações nas empresas não ocorrem de forma isolada, mas por meio de interações com outras organizações, através de uma relação econômica e social complexa no meio em que estão inseridas (CASSIOLATO e LASTRES, 2000; JOHNSON, EDQUIST e LUNDVALL, 2003).

A importância da dinâmica que envolve a inovação na sociedade contemporânea está ganhando uma nova dimensão ao se relacionar com uma temática que ganha cada vez mais espaço nas diferentes esferas da sociedade – a sustentabilidade. Segundo Elkington (2012) a “onda” da sustentabilidade leva as empresas a pensar no desenvolvimento de uma vantagem competitiva, uma vantagem sustentável, em que poderão obter melhores posições e fatias de mercado decorrentes da possibilidade de atuação em mercados mais abertos, tanto em nível nacional como internacional.

A relação entre as duas temáticas pode ser verificada de forma direta e indireta em uma série de trabalhos, como os de Barbieri (2007), Andersen (2008), Delgado et al. (2008), Carrillo-Hermosilla, Gonzalez e Konnola (2009), Foxon e Andersen (2009) e Maçaneiro e Cunha (2010), e a seção a seguir explora, de forma sucinta, a relação entre os temas.

Sustentabilidade e inovação

A maior parte dos estudos envolvendo essas temáticas se apoia em uma perspectiva de desenvolvimento sustentável. Isso fica claro no trabalho de Carrillo-Hermosilla, Gonzalez e Konnola (2009), ao argumentar que o incremento do interesse em buscar inovações que possibilitem um desenvolvimento sustentável tem permeado diversas esferas que passaram a acreditar na possibilidade de se alcançar desenvolvimento econômico em uma perspectiva de conhecimento e respeito à dependência em relação ao meio ambiente. Para os autores, a relação entre inovação e sustentabilidade poderia contribuir para o desenvolvimento de maneiras limpas de consumo e produção, em busca de otimização dos recursos ambientais.

A relação entre os temas ocorre em um momento de crescente discussão nos ambientes acadêmicos e profissionais sobre sustentabilidade, em busca de uma concepção para o tema mais humana, ética e transparente, na forma de condução dos negócios e atividades que influenciam a vida dos seres humanos (VAN MARREWIK, 2003).

O histórico da temática tem grande influência em torno de ações desenvolvidas pela Conferência para o Desenvolvimento Humano, das Nações Unidas, em Estocolmo, em 1972, e uma série de outros eventos, que giram em torno de desastres ambientais, como o derramamento de óleo no Alasca e o acidente nuclear em Chernobyl, questões sociais como a segregação racial do regime do Apartheid, na África do Sul, e perspectivas econômicas decorrentes das crises do petróleo nas décadas de 1970 e 1980 (SAMPAIO, 2004; VAN BELLEN, 2004; BLACKBURN, 2007; CARRILLO-HERMOSILLA, GONZALEZ e KONNOLA, 2009).

Essas questões foram amplamente discutidas pela Comissão de Brundtland, em 1987, resultando na publicação de um relatório que define o termo desenvolvimento sustentável como uma forma de desenvolvimento que busca satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras em suprir suas próprias necessidades (FUSSLER e JAMES, 1996; BARBIERI, 2007; BLACKBURN, 2007).

Outros eventos também se destacaram nesse contexto, como a Conferência das Nações Unidas para o meio ambiente e desenvolvimento no Rio de Janeiro, em 1992, também conhecida como Cúpula da Terra ou Rio 92, que resultou na criação da Carta da Terra com 27 princípios que deveriam subsidiar as ações dos países signatários, a formulação e assinatura do Protocolo de Kyoto em 1997 e a conferência Rio +10 em 2002 (VILLA, 2009). Em junho de 2012 no Rio de Janeiro, governantes e chefes de Estados, o sistema ONU e a sociedade civil, participaram da Rio +20 que abordou dois temas principais “a economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza” e “a estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável” e culminou na publicação do relatório oficial “The future we want” reafirmando o compromisso dos países com o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2012).

Alguns autores destacam a definição do conceito *Triple Bottom Line* (TBL) por Elkington em 1987 e publicado oficialmente em 2000 e 2002, relacionando três pilares para analisar o fenômeno sustentabilidade: perspectiva econômica, social e ambiental (VAN MARREWIJK, 2003; BLACKBURN, 2007; BARBIERI et al., 2010; ELKINGTON, 2012).

Savitz e Weber (2006) acrescentam que a formação de um *triple bottom line* pode ser refletida em termos de aumento no valor da empresa, que pode ser obtido por meio de ganhos em torno de seu capital social, humano e ambiental, que podem ser mensurados através de diversos elementos, como pode ser verificado na simplificação desenvolvida pelos autores, exposta no Quadro 1.

Quadro 1

Aspectos possíveis de mensurar no *triple bottom line*

Pilar econômico	Pilar ambiental	Pilar social
Vendas, receitas, retornos sobre investimentos	Qualidade do ar	Práticas de emprego
Impostos pagos	Qualidade da água	Impactos na comunidade
Fluxos monetários	Uso de energia	Direitos humanos
Criação de empregos	Produção de lixo	Responsabilidade na produção

Fonte: Savitz e Weber (2006, p. xiii).

Nesse contexto, a inovação e a sustentabilidade se relacionam em uma perspectiva de desenvolvimento de produtos e serviços que agreguem valor aos consumidores enquanto diminuem os impactos ambientais das atividades econômicas, tendo em vista maiores níveis de eficiência ambiental, produção mais limpa e a incorporação de mecanismos de padronização e controle como as certificações ISO (FUSSLER e JAMES, 1996; KEMP e FOXON, 2007; OCDE, 2009).

Em 2004, o *Environmental Technology Action Plan* (ETAP) intensificou a discussão acerca do relacionamento entre a questão ambiental e o imperativo da inovação, definindo eco-inovação como uma forma de atuação organizacional que busca produzir, assimilar ou explorar “novos produtos, processos produtivos, serviços ou métodos de gestão e negócios, cujo objetivo, por todo ciclo de vida, é prevenir ou reduzir substancialmente riscos ambientais, poluição e outros impactos negativos no uso de recursos” (OCDE, 2009, p. 38).

Kemp e Foxon (2007), ao fazer uma revisão de definições, propõem que o conceito de eco-inovação não esteja relacionado apenas às inovações que se relacionam à redução de impactos ambientais, mas que também se direcione a produção, aplicação ou exploração de um bem, serviço, processo produtivo, estrutura organizacional e modelo de gestão que seja novo para a empresa ou para o usuário e, que resulte ao longo do seu ciclo de vida, na redução de riscos ambientais, poluição e impactos negativos do uso de recursos (incluindo energia) comparado com alternativas relevantes.

Barbieri et al. (2010, p. 151) ampliam essa visão afirmando que uma inovação sustentável “traz benefícios econômicos, sociais e ambientais, comparados com alternativas pertinentes”, sendo essa a concepção de eco-inovação que estruturou o desenvolvimento do estudo, visto que traz a discussão para uma perspectiva mais ampla, que não se restringe a questões de ordem ambiental.

A relação entre a sustentabilidade ambiental, o desempenho econômico e a competitividade tem sido fortemente debatida por muitos anos, mas permanece incerta, sem um consenso entre os estudiosos, sendo possível identificar na literatura, duas formas de ver essa relação (CARRILLO-HERMOSILLA, GONZALEZ e KONNOLA, 2009).

A primeira consiste em uma perspectiva tradicionalista, ou neoclássica, que vê essa relação como um *trade-off* entre o desempenho ambiental e a competitividade. Dessa forma, a regulação ambiental teria como propósito maximizar o bem-estar social, fazendo com que empresas poluidoras se responsabilizassem pelos custos de externalidades negativas que venham a produzir, e sendo assim, como consequência, essas políticas ambientais teriam um impacto inverso na competitividade, impondo mais custos às empresas (CARRILLO-HERMOSILLA, GONZALEZ e KONNOLA, 2009).

A segunda perspectiva é a revisionista, na qual essa relação é vista de forma mais dinâmica, dando ênfase ao papel central da tecnologia e da inovação na competitividade organizacional e em seu desempenho econômico e ambiental. Dessa forma, melhor desempenho ambiental pode ocorrer por meio de menores custos de produção, aumentando a competitividade através da eficiência, produtividade e novas oportunidades de mercado (CARRILLO-HERMOSILLA, GONZALEZ e KONNOLA, 2009).

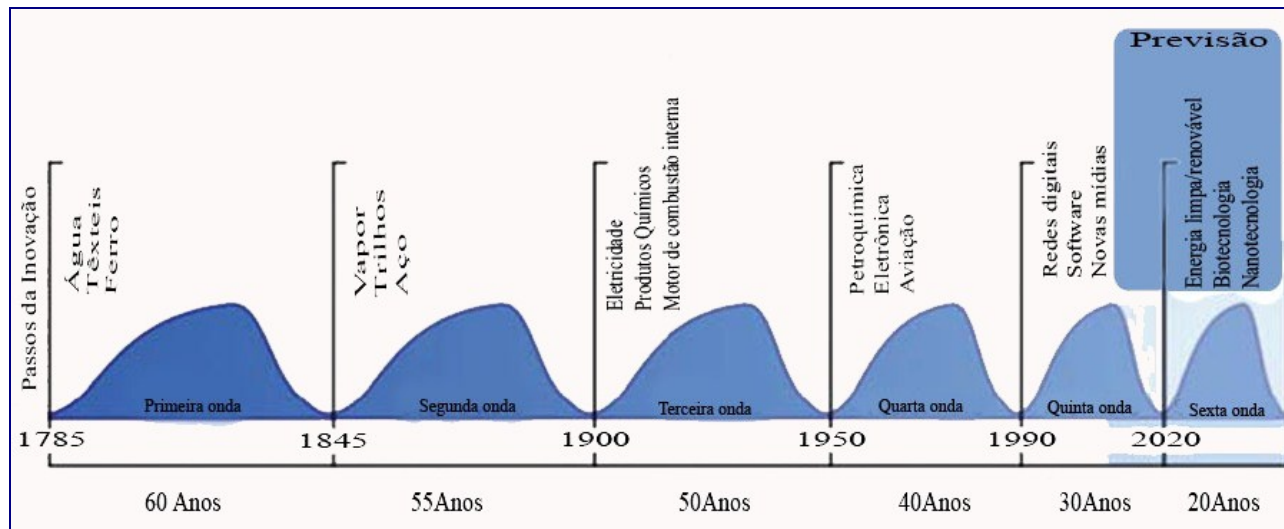
A relação entre as duas temáticas pode ser verificada de forma direta e indireta em uma série de trabalhos, como os de Barbieri (2007), Kemp e Foxon (2007), Andersen (2008), Carrillo-Hermosilla, Gonzalez e Konnola (2009), Foxon e Andersen (2009) e Maçaneiro e Cunha (2010) que desenvolvem suas argumentações com base em uma perspectiva evolucionária de inovação e desenvolvimento sustentável.

Levando em consideração os diferentes impactos que uma eco-inovação pode causar, Barbieri et al. (2010) afirmam que os resultados econômicos são mais fáceis de visualizar e prever, visto que existem diversos instrumentos desenvolvidos para esse fim e que são utilizados por empresas inovadoras, enquanto os resultados de âmbito social e ambiental são mais difíceis de ser observados e avaliados de forma prévia, uma vez que envolvem uma maior quantidade de variáveis, interações e aspectos de incerteza

A relação da discussão da sustentabilidade, assim como coloca Elkington (2012), a respeito dos três pilares, segue uma linha em que não se deve vê-la como definida para uma organização isolada, mas, sim, para um sistema econômico-social-ecológico completo e, dessa forma, faz sentido a relação com os sistemas de inovação e o relacionamento que ele pressupõe em termos de instituições, corporações, conhecimentos e agentes diversos. De acordo com Elkington (2012, p. 275), “para atingir um desempenho excepcional da linha dos três pilares, são necessários novos tipos de parcerias econômicas, sociais e ambientais”, desenvolvidas a longo prazo e decisivas na transição para a sustentabilidade.

Inserida nessa dinâmica de inovações, sustentabilidade e desenvolvimento econômico, a energia eólica se destaca como uma das mais competitivas e promissoras fontes de energia renovável, mas também produz efeitos ambientais como barulho, invasão visual, acidentes com pássaros e radiação eletromagnética, que são evitáveis e significativamente inferiores aos efeitos ambientais proporcionados por outras fontes de energia, principalmente em decorrência dos avanços tecnológicos proporcionados por uma dinâmica de inovação que busca, cada vez mais, reduzir esses impactos (JUNFENG, PENGFEI e HU, 2010). Conforme destacam Maxwell (2009) e Pérez (2004; 2010), as questões energéticas podem vir a se tornar a próxima onda de inovação, ou seja, o desenvolvimento de novos paradigmas e trajetórias tecnológicas que, na visão de autores evolucionários, pode contribuir para a formulação de políticas de *catching up*. A Figura 1 apresenta, graficamente, a evolução dessas ondas na visão de um dos autores.

Figura 1
As ondas da inovação



Fonte: Maxwell (2009).

Com o *status* de fonte de energia renovável de maior potencial econômico, as usinas de energia eólica desempenham um papel importante que não se relaciona apenas à segurança energética das nações, reduzindo sua dependência de combustíveis fósseis, mas também implica desenvolvimento econômico, redução da pobreza, controle da poluição atmosférica e redução de emissão de gases, contribuindo diretamente, para um desenvolvimento mais sustentável, visto que pode reduzir as emissões de dióxido de carbono com finalidades energéticas em uma relação de 600 toneladas para cada GWh de energia gerada (JUNFENG, PENGFEI e HU, 2010).

Evolução da indústria de energia eólica

A produção de energia eólica tem despontado ao longo dos últimos anos como uma das principais alternativas renováveis de energia, no entanto, a tecnologia que dá início à evolução dessa indústria não é algo recente. De acordo com Martins, Guarnieri e Pereira (2008), a transformação de energia cinética em energia mecânica (base de funcionamento do sistema eólico) já vem sendo utilizado pela humanidade há mais de 3.000 anos, através de moinhos de vento utilizados para a moagem de grãos e bombeamento de água para atividades agrícolas.

O posicionamento histórico indicado pelos autores ainda é controverso em relação a outros trabalhos que buscam precisar a origem dessa tecnologia. Amarante et al. (2001), por exemplo, adotam uma postura de maior imparcialidade, afirmando que os primeiros aproveitamentos da força do vento pelo homem é de data imprecisa, podendo remontar a milhares de anos na região do Oriente.

Apesar do longínquo início da atividade eólica, é no período da Idade Média que a humanidade passa a utilizar as forças do vento de forma mais acentuada, contribuindo com o desenvolvimento da navegação e, com os interesses das Cruzadas financiadas pelos senhores feudais e a Igreja Católica (AMARANTE et al., 2001).

Registros mais precisos sobre a utilização e desenvolvimento dessa tecnologia datam do século XIV e indicam que a Holanda já havia realizado uma significativa evolução técnica e de capacidade de produção de

energia mecânica com base na força dos ventos, culminando no desenvolvimento de moinhos utilizados para a moagem de grãos, serrarias e bombeamento de água, resultando em uma rápida expansão da tecnologia para os países europeus até a invenção e expansão do uso da máquina a vapor, o que colocou os moinhos de vento em desuso (AMARANTE et al., 2001).

Mesmo no período de ascensão da máquina a vapor, a energia eólica que se encontrava em declínio no continente europeu ganhou novo fôlego nos Estados Unidos em 1863, em decorrência da abolição da escravidão. Nessa época, houve a disseminação de uma nova forma de cata-vento, denominada Cata-vento Multipá, para bombeamento de água. Esse cata-vento conseguiu elevada aceitação, criando uma indústria formada por várias empresas que escoavam centenas de milhares de unidades desse cata-vento por ano, possibilitando um rápido desenvolvimento dessa indústria e um significativo avanço tecnológico que culminou na criação de aerogeradores para o carregamento de baterias e permitiu que moradores de áreas rurais do país passassem a ter acesso à energia elétrica (AMARANTE et al., 2001).

Entretanto, foi a partir de experiências de estímulo ao mercado, realizadas na Califórnia (década de 1980), Dinamarca e Alemanha (década de 1990), que o aproveitamento eólico-elétrico atingiu escala de contribuição mais significativa ao sistema elétrico, em termos de geração e economicidade. O desenvolvimento tecnológico passou a ser conduzido pelas nascentes indústrias do setor, em regime de competição, alimentadas por mecanismos institucionais de incentivo – especialmente via remuneração pela energia produzida. Características também marcantes desse processo foram: (a) devido à modularidade, o investimento em geração elétrica passou a ser acessível a uma nova e ampla gama de investidores; (b) devido à produção em escalas industriais crescentes, o aumento de capacidade unitária das turbinas e novas técnicas construtivas, possibilitaram-se reduções graduais e significativas no custo por *kilowatt* instalado e, conseqüentemente, no custo de geração (AMARANTE et al., 2001, p. 14).

A crescente dependência da humanidade por recursos energéticos e questões como mudança climática, poluição e os impactos econômicos decorrentes da dependência de combustíveis fósseis estimulou ainda mais os investimentos em energias renováveis, dentre as quais a energia eólica se destaca (JUNFENG et al., 2006).

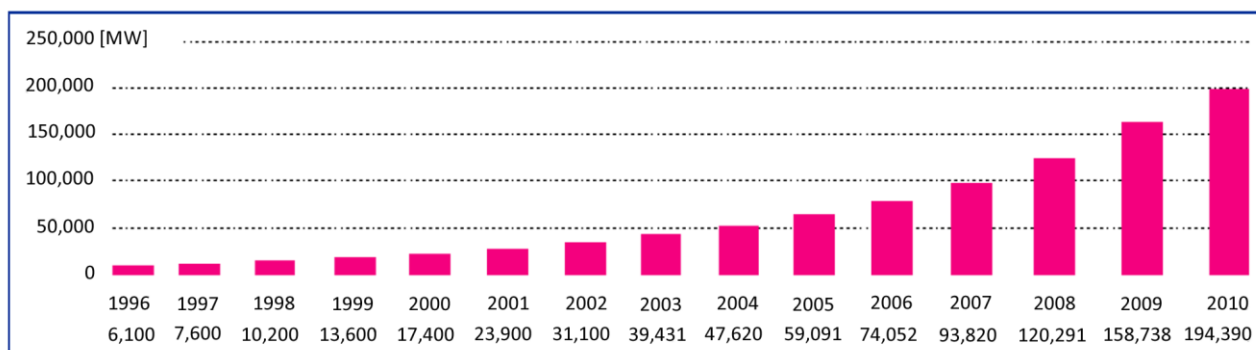
Mesmo com os avanços ao longo da história dessa tecnologia, a estrutura básica de funcionamento não foi alterada e Martins, Guarnieri e Pereira (2008) a descrevem como uma estrutura de captação por meio de pás que giram por meio do impacto direto do vento, transformando a energia cinética em energia mecânica e, posteriormente, em elétrica por meio de um rotor instalado em cada turbina.

Analisando o passado recente da humanidade, é possível resgatar a primeira crise do petróleo como um evento de significativa importância para o setor elétrico e para o início do movimento ambiental contemporâneo, tendo em vista a dependência mundial de combustíveis fósseis e os impactos causados por essa dependência, acentuados com uma nova crise do petróleo da década de 1980 que forçou governos ao redor do mundo a iniciar políticas de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias alternativas de energia, tendo como base a capacidade de renovação dos insumos (JUNFENG et al., 2006).

Inserida nesse cenário, a indústria de energia eólica ganhou destaque como exemplo de produção limpa de energia e a disponibilidade gratuita de seu combustível – o vento. Isso fez com que em 2005 o setor obtivesse mais de US\$ 10 bilhões em investimentos e empregasse mais de 150 mil pessoas (JUNFENG et al., 2006). Essa realidade contribuiu para o desenvolvimento de incentivos de diversas formas para o setor, estimulando investimentos e tornando essa modalidade de energia mais interessante economicamente. A figura a seguir apresenta a capacidade cumulativa instalada de produção global de energia eólica de 1996 a 2010 segundo dados da *Global Wind Energy Council* (GWEC).

Figura 2

Capacidade cumulativa de produção global de energia eólica



Fonte: GWEC (2010).

Os dados apresentados na Figura 2 corroboram o cenário exposto com Junfeng et al. (2006) e evidencia a tendência de crescimento do setor ao longo do período de 15 anos exposto. Essa tendência de crescimento pode ser alvo de análises para o desenvolvimento de políticas setoriais específicas para os países com interesse no desenvolvimento das tecnologias envolvendo esse tipo de produção de energia e, em decorrência do cenário contemporâneo, também podem realizar ações de *benchmarking* em busca de melhores práticas que sejam adequadas à realidade de cada país.

Há de se salientar que, em decorrência da crescente capacidade instalada ao longo dos países com políticas voltadas para o incentivo de projetos eólicos, o mercado passou a empregar de forma direta em 2009, apenas na China, 150 mil pessoas, o que corresponde a toda a mão de obra do setor em nível mundial em 2005 (JUNFENG et al., 2006; JUNFENG, PENGFEI e HU, 2010).

De acordo com Junfeng, Pengfei e Hu (2010), a produção de energia eólica conseguiu alcançar um patamar de relevância, que mesmo durante a crise econômica mundial de 2008, continuou crescendo em ritmo acelerado com taxas de aproximadamente 32% de expansão e 41% em 2009. Para os autores, este crescimento ainda está fortemente baseado na instalação de turbinas eólicas em terra, que representa mais de 98% de todas as instalações até 2010, no entanto, o potencial de produção de energia *offshore* demonstra significativo potencial e representam atualmente apenas 1,3% da capacidade instalada.

A tendência de expansão do setor e a possibilidade de barateamento das turbinas, em decorrência de ganhos de escala, têm contribuído para que novos países passem a instalar usinas eólicas em seus territórios, possibilitando que em 2009 mais de 100 países já possuíssem parques eólicos instalados (JUNFENG, PENGFEI e HU, 2010).

Procedimentos Metodológicos

Inserido em uma perspectiva evolucionária, este estudo teve por objetivo verificar se as ações empreendidas no sistema setorial de energia eólica do Brasil se encontram alinhadas às perspectivas sociais, ambientais e econômicas que autores como Kemp e Foxon (2007) e Barbieri et al. (2010) afirmam se relacionar à inovações sustentáveis.

Para a consecução do objetivo proposto, o estudo pode ser considerado exploratório e descritivo em relação aos fins e bibliográfica no que se refere ao meio de investigação utilizado ao longo do processo e análise de dados (VERGARA, 2006b).

Tendo em vista a natureza exploratória e descritiva do estudo, não foram especificadas categorias de análise para a coleta de dados no levantamento bibliográfico, uma vez que se buscou identificar ações desenvolvidas no setor que se relacionassem com a perspectiva evolucionária da inovação e as relações potenciais destas com questões econômicas, sociais e ambientais.

As principais fontes de dados bibliográficos foram, no Brasil, de natureza pública, com destaque para a Agência Nacional de Energia Elétrica e o Ministério de Minas e Energia e organizações mundiais como a *Global Wind Energy Council* e a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), que dispõem de uma série de informações sobre inovação e a trajetória de evolução do setor em inúmeros países.

A escolha do método bibliográfico se deu por este possibilitar que o investigador tenha acesso a uma cobertura mais ampla do fenômeno e pela percepção de que o estudo de um setor requer a coleta de uma série de informações esparsas que dificilmente poderiam ser coletadas em um único trabalho de campo (GIL, 2010).

Apesar do resgate histórico de algumas ações e do contexto do sistema de inovação do setor no Brasil, o estudo não pode ser classificado como historiográfico, já que seu enfoque no passado não se restringe ao estudo da história do setor em sua essência (VERGARA, 2006a), mas na contextualização das tecnologias, agentes e instituições que marcam o desenvolvimento econômico e tecnológico do setor e as principais questões que passam por esse processo, relacionadas à sustentabilidade.

Nesse sentido, acredita-se que o método utilizado foi o mais adequado para a análise da sistemática proposta, tendo em vista a fidedignidade das informações fornecidas pelas fontes citadas, possibilitando, diante do retrato exposto, verificar a evolução do setor, sua situação atual, projeções e perspectivas em torno de questões envolvendo inovação e sustentabilidade.

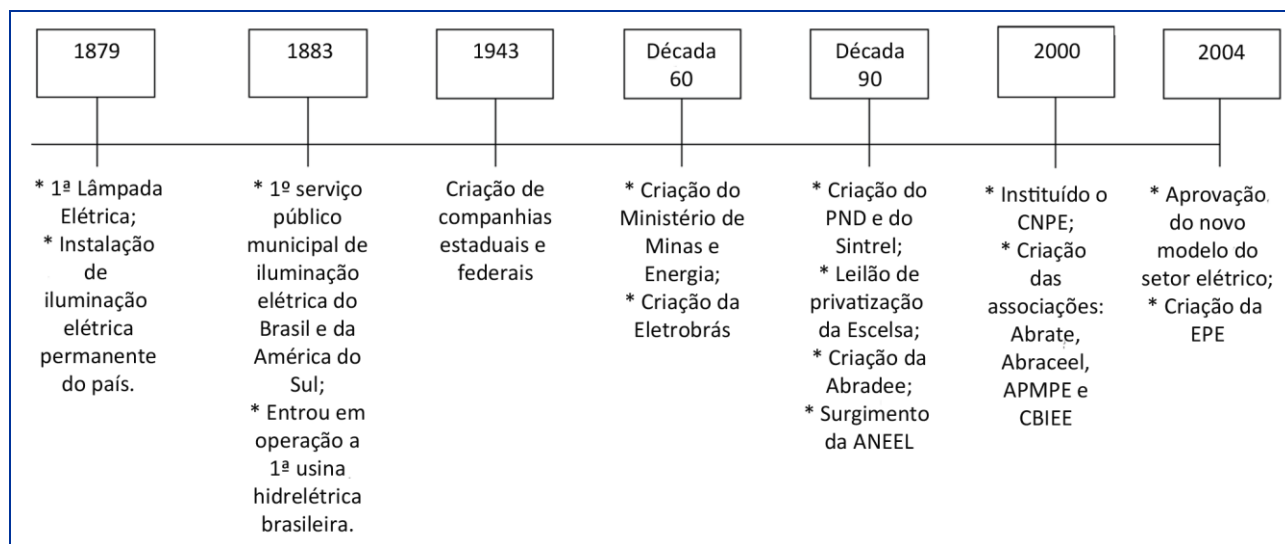
Apresentação e Discussão dos Resultados

O desenvolvimento de políticas públicas no Brasil segue os pressupostos assegurados na Constituição de 1988, que garante como função do Estado o planejamento de ações e direcionamento de indicativos para o setor privado. Essa realidade se evidencia no setor de energia, por meio do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), para formulação de políticas e diretrizes para um “desenvolvimento nacional equilibrado”, cabendo ao Ministério Federal de Minas e Energia a implementação das políticas para o setor energético e a coordenação do planejamento energético nacional (BRASIL, 2010, p. 9).

Ao longo de um estudo com o intuito de identificar a estrutura e a trajetória do sistema setorial de energia elétrica no Brasil, Cunha et al. (2008) realizaram um sistemático ordenamento dos principais marcos relacionados à evolução da energia elétrica no país, relacionando esses marcos com a origem da energia elétrica e a invenção da primeira lâmpada utilizando essa forma de energia.

Figura 3

Marcos da evolução da energia elétrica



Fonte: Adaptado de Cunha et al. (2008, p.5)

Apesar da evolução apresentada por Cunha et al. (2008), o setor elétrico brasileiro passa por significativas mudanças a partir da década de 1990, seguindo uma tendência mundial de reestruturação, que tinha por objetivo desenvolver um setor mais competitivo, através do aumento da participação da iniciativa privada e a ampliação das possibilidades de financiamento (SANTOS, 2003). Nessa linha de raciocínio, é possível afirmar que o setor de energia brasileiro segue, neste momento histórico, outros segmentos, impulsionados por mudanças nas diretrizes governamentais mundiais que buscavam novas propostas para melhorar os níveis de crescimento nacionais impactados pela crise do estado keynesiano (ARIENTI, 2003).

Entre as principais ações públicas do setor neste período destaca-se o surgimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), com a missão de proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e que promova benefícios para a sociedade, por meio de instrumentos de regulação e fiscalização. Além disso, a instituição promove e incentiva o desenvolvimento de pesquisas no setor elétrico por meio do periódico intitulado **Revista Pesquisa e Desenvolvimento**, da Aneel.

De acordo com a Agência, as mudanças ocorreram como uma consequência do esgotamento do modelo de energia elétrica vigente no país até meados da década de 1990, fortemente caracterizado pela inadimplência e ineficiência operacional das concessionárias públicas, além da constante utilização das tarifas do setor como um mecanismo de controle inflacionário, forçando o Governo Federal a iniciar uma reforma estrutural no setor por meio de privatizações (ANEEL, 2008).

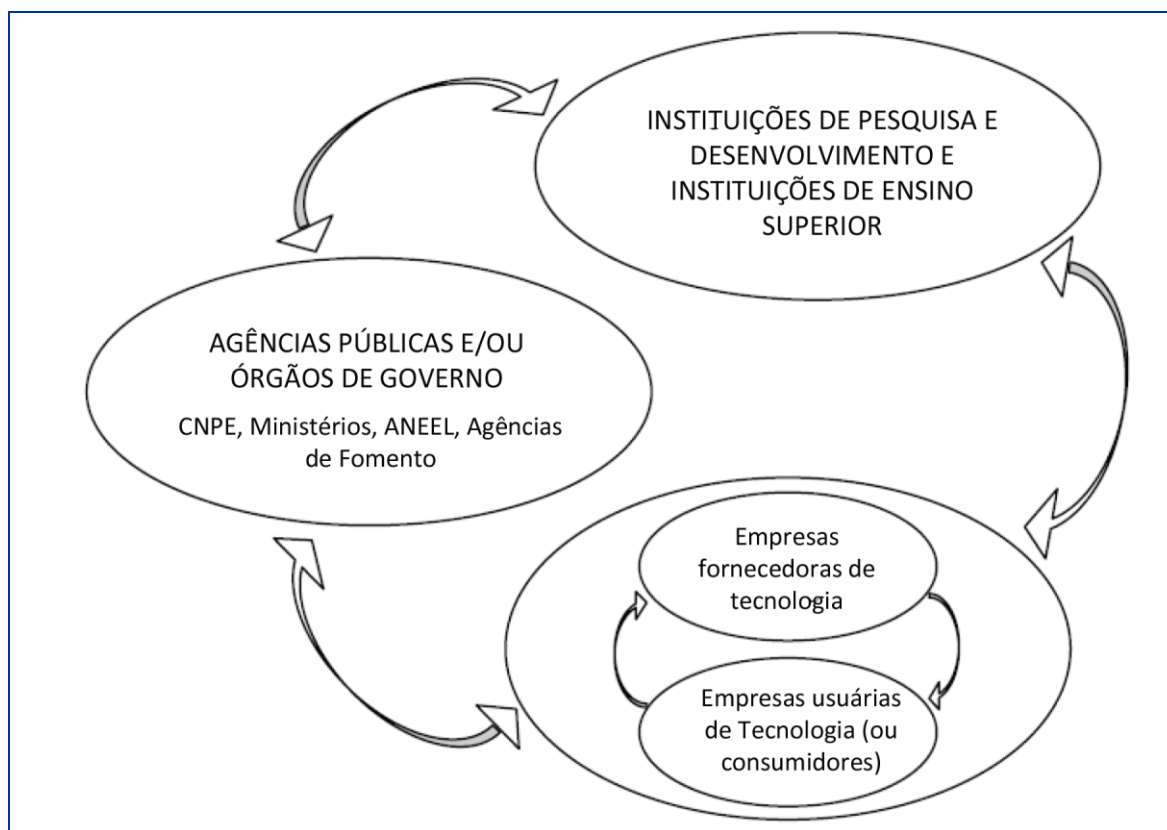
Ao longo da investigação do sistema setorial de energia elétrica nacional, Cunha et al. (2008) elencam outras agências importantes no desenvolvimento de políticas, regulamentação e estímulo às atividades de pesquisa e desenvolvimento. Para os autores, é possível destacar a atuação do Ministério de Minas e Energia (MME), responsável por assuntos relacionados à energia elétrica, gás natural, petróleo, combustíveis renováveis, geologia e mineração, por meio de autarquias, como a Aneel, empresas públicas, como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e sociedades de economia mista, como a Eletrobras.

Cada um desses agentes desenvolve papéis relevantes ao longo do sistema setorial de energia elétrica, em decorrência da especificidade de funções exercida por cada um, que se relacionam a uma série de fatores como o aumento da capacidade de geração de energia, realização de estudos para subsidiar a formulação, planejamento e implementação de ações por parte do MME.

Esse cenário fez com que diferentes modelos de negócios no setor de energia elétrica surgissem, dando origem a pressões competitivas entre as empresas do setor, de forma a estimular o desenvolvimento de pesquisas e a busca por inovações como fator de diferenciação entre as empresas (SANTOS, 2003). Inserido nessa perspectiva, o sistema setorial de inovação do setor elétrico pode ser visualizado conforme exposto na Figura 4.

Figura 4

Sistema de inovação tecnológica do setor de energia



Fonte: CGEE (2002).

Ao buscar descrever a dinâmica do sistema setorial de energia elétrica, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) (2002) afirma que as mudanças ocasionadas no setor elétrico também alteraram as prioridades e interesses das atividades de pesquisa e desenvolvimento no setor.

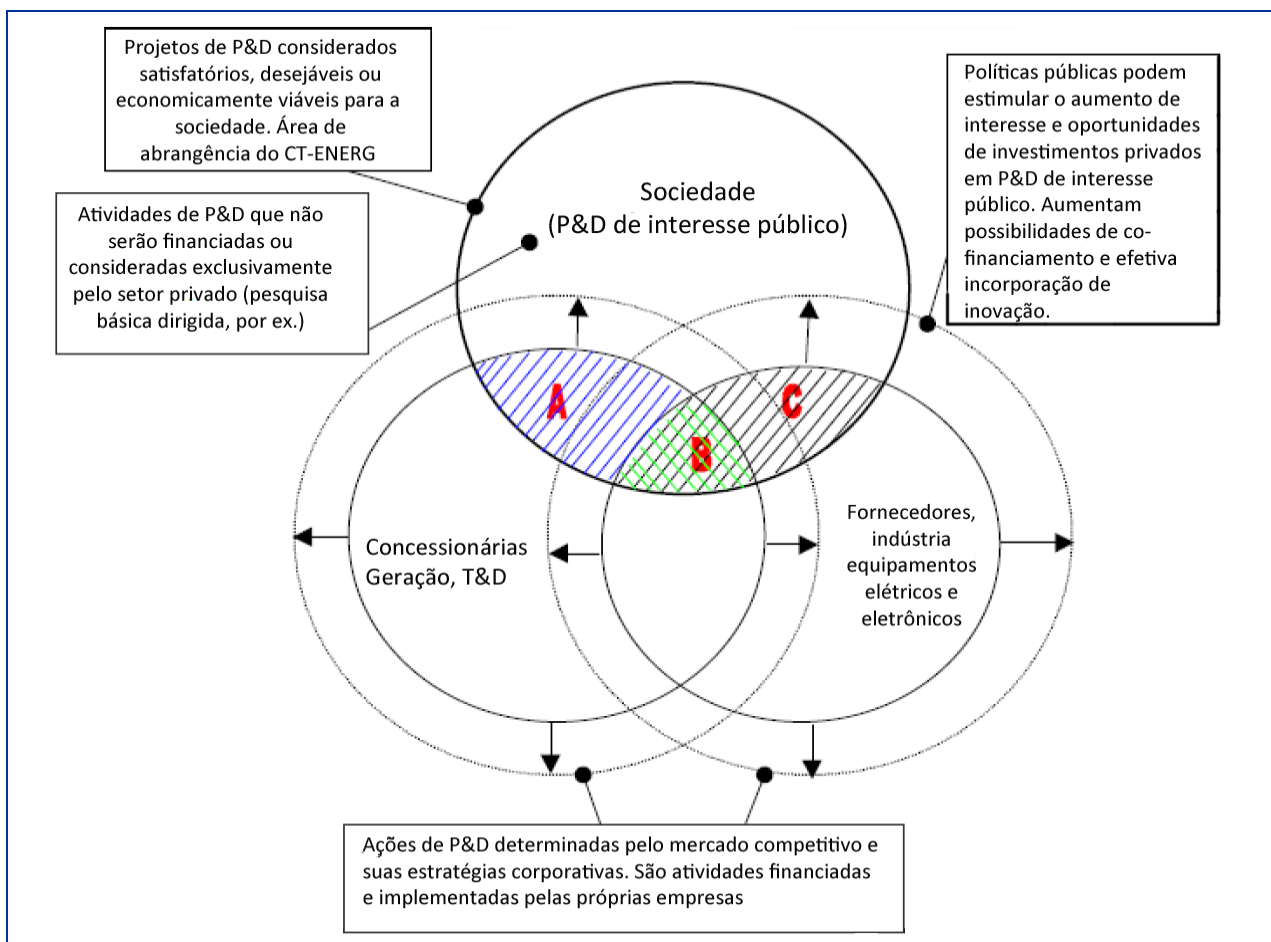
É possível verificar que, pelo menos em parte, atividades de pesquisa e desenvolvimento realizadas por empresas do setor, são financiadas por recursos governamentais para o desenvolvimento de inovações que possam resultar em diferenciais competitivos em relação às empresas do setor. A argumentação desenvolvida em torno dessa modalidade de financiamento recai na percepção de que internacionalmente as atividades de P & D têm contribuído para a melhoria dos produtos já existentes e desenvolvimento de novos produtos por parte das empresas fornecedoras de energia e fabricantes de equipamentos (CGEE, 2002).

De acordo com Santos (2003, p. 62), grande parte das mudanças ocasionadas no setor também pode ser creditada aos avanços da economia da informação, por meio de progressos na área de infraestrutura de rede de informação. Para o autor, mesmo com as mudanças no marco regulatório e dinâmica do setor, não é possível afirmar que a formação de alianças ou arranjos contratuais seja algo novo, pois a inter-relação entre os agentes é inevitável em decorrência da natureza do produto do setor, ou seja, a energia. Dessa forma, “a inovação no funcionamento da estrutura setorial se traduz nos arranjos operacionais, comerciais ou contratuais, de natureza informacional e não de natureza física”.

Para o CGEE (2002), é possível destacar, no sistema setorial de energia elétrica do Brasil, três agentes principais envolvidos no processo de pesquisa e desenvolvimento do setor, conforme elementos descritos por Malerba (2002; 2003): a sociedade, as concessionárias de eletricidade e as indústrias de equipamentos de base para o setor elétrico e equipamentos eletroeletrônicos, conforme é possível verificar na Figura 5.

Figura 5

Relacionamento entre os agentes de P & D do setor elétrico



Fonte: CGEE (2002).

Como é possível verificar na Figura 5, os círculos representam os interesses relacionados às atividades de P & D dos diferentes agentes, que deverão ser apoiados por financiamentos públicos desde que também se configurem em interesses da sociedade, conforme a representação das letras “A”, “B” e “C” (CGEE, 2002).

Nessa dinâmica, é possível considerar o setor produtivo como um *stakeholder* de fundamental importância no processo, visto que é através dele que as inovações financiadas pelo Governo são incorporadas e podem criar processos de melhor eficiência energética e mercado para as tecnologias desenvolvidas (CGEE, 2002).

Inserido nesse contexto, o CGEE (2002) elenca uma série de iniciativas que podem nortear o desenvolvimento de ações no setor de energia, como a diversificação da matriz energética nacional e o desenvolvimento de tecnologias que produzam menor impacto ambiental e de maior alcance social e contribuam para o uso racional e eficiente da energia.

É nesse cenário de dinamismo e busca por novas fontes de energia que tem se desenvolvido o setor de energia eólica no Brasil, através dos últimos anos, com destaque para o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), instituído por meio do Decreto n. 5.025, de 2004. Esse programa tem por objetivo aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN).

Em decorrência das preocupações governamentais em incentivar o desenvolvimento de pesquisas e financiamento de empresas com interesse em produzir energia eólica no país e tecnologias de fornecimento para o setor, o Proinfa foi estendido até o final de 2011 para possibilitar o alcance das metas estabelecidas e não alcançadas para o final de 2010 (BRASIL, 2010; GWEC, 2010).

Ainda é possível verificar indícios do interesse do governo brasileiro no uso dessa fonte de energia no Plano Decenal de Expansão de Energia para 2019, que destaca o potencial da energia eólica como alternativa renovável que pode contribuir para a diversificação da matriz energética do país que se encontra significativamente dependente de recursos hidráulicos que se alteram ao longo das diferentes estações, principalmente em períodos de inverno (BRASIL, 2010; GWEC, 2010). Nesse sentido, as estações de maior incidência de ventos no Brasil estão alinhadas com os períodos de menor capacidade de produção de energia por meio de fontes hidráulicas, tornando a energia eólica complementar ao sistema predominante no Brasil.

De acordo com dados fornecidos pela GWEC (2010), o Brasil possui um elevado potencial de geração de energia eólica, principalmente nas regiões Norte e Nordeste. De acordo com a instituição, estudos iniciais desenvolvidos em 2001 evidenciaram que o potencial de geração de energia eólica no Brasil era de aproximadamente 143 GW para torres de 50 metros e, por meio de novos estudos realizados entre 2008 e 2009, foi identificado um potencial de aproximadamente 350 GW, o que representa uma capacidade superior a três vezes a demanda energética no país até o final de 2010 que equivalia a 113,4 GW, evidenciando a contribuição que essa fonte de energia pode dar para a matriz energética brasileira.

A competitividade da energia eólica no mercado brasileiro foi verificada em 2009, conforme relata o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), por meio de leilões voltados para energia de reserva no país que buscavam maior diversificação da matriz energética brasileira em termos de fontes renováveis. Os estados de maior destaque na captação de recursos por meio desses leilões foram o Rio Grande do Norte, Ceará, Rio Grande do Sul, Bahia, Paraná e Piauí (BRASIL, 2010).

O leilão de 2009, coordenado pela Aneel, estabeleceu como preço mínimo o valor de R\$ 189,00/MWh e conseguiu, por meio da concorrência entre empresas do setor, o preço de R\$ 148,00/MWh, resultando na contratação de 71 projetos de energia eólica para produção de 1.800 MW de energia através das seguintes empresas: GE, IMPSA Wind, Siemens, Suzlon, Vestas e Wobben/Enercon (GWEC, 2010).

O Plano Decenal de Expansão e Energia relata que a energia eólica se destacou contra todas as previsões de mercado que indicavam que esse tipo de energia não teria níveis satisfatórios de competitividade. O documento afirma que existiam, até a publicação do material, 54 usinas eólicas em funcionamento em decorrência das ações permitidas pelo Proinfa (BRASIL, 2010).

Em agosto de 2010 a Aneel realizou novo leilão para pequenas centrais hidroelétricas, biomassa e energia eólica e o resultado alcançado em termos de preços foi ainda mais satisfatório do que o leilão de 2009, alcançado o valor de R\$ 134,00/MWh para a contratação de 50 projetos com capacidade de produção de 1.519 MW que deverão estar plenamente implementados nos 20 anos subsequentes e iniciar a entrega de energia a partir de janeiro de 2013 (GWEC, 2010). No mesmo dia foi operacionalizado um novo leilão e mais 20 projetos foram contratados totalizando 528 MW que deverão ser entregues em setembro de 2013 a um preço igual a R\$ 123,00/MWh (GWEC, 2010).

A viabilidade econômica e natural para o desenvolvimento do setor em consonância com outras formas de energia renovável contribui para que não sejam previstos novos investimentos em fontes fósseis de energia, além dos que já foram licitados ou se encontram em fase de construção (BRASIL, 2010). Isso evidencia o posicionamento do Governo Federal Brasileiro em torno do desenvolvimento e expansão de tecnologias renováveis de energia, sendo possível verificar, na tabela a seguir, a evolução da capacidade instalada para produção de energia eólica no país em comparação com outros países da América Latina inseridos no GWEC.

Tabela 1

Evolução da capacidade instalada de produção de energia eólica (em MW) nos países da América Latina listados no *Global Wind Energy Council*

País	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Brasil	0	0	22	29	29	29	237	247	341	606	931
Chile	0	0	0	0	0	0	2	20	20	168	172
México	0	0	0	0	0	3	85	85	85	202	519

Fonte: Elaborado pelos autores (2012)

Tendo em vista a afirmação de Junfeng, Pengfei e Hu (2010) de que cada GW de energia eólica gerada contribui para que seja evitado o lançamento de 600 toneladas de dióxido de carbono com finalidade energética na atmosfera, é possível verificar, segundo dados da Tabela 1, que a produção dos 931 MW instalados no Brasil até dezembro de 2010 seria responsável por evitar que aproximadamente 559 toneladas de dióxido de carbono fossem lançadas na atmosfera.

Levando-se em consideração o potencial eólico do país de 350 GW, conforme destaca o GWEC (2010), é possível afirmar que se plenamente instalados esse valor seria cerca de três vezes a demanda de energia do país e seria responsável por evitar que 210 mil toneladas de dióxido de carbono fossem lançadas na atmosfera. No entanto, é importante destacar que mesmo que houvesse demanda no país para que tal volume de energia eólica fosse produzida, dificilmente todo o potencial de produção seria alcançado, visto que inúmeras áreas que poderiam ser utilizadas para a instalação de usinas eólicas são urbanas, impossibilitando a instalação nessas regiões.

Ainda é possível destacar, de acordo com dados do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), que o volume de CO² lançado na atmosfera, pelo Brasil, até 2019 irá aumentar aproximadamente 65% em comparação com as projeções de emissões para o ano de 2010 e que o volume de emissões relacionado à queima de combustíveis fósseis para fins energéticos cairá para a metade do volume emitido em 2005 (BRASIL, 2010).

Nesse sentido, o PDE ressalta a importância das fontes renováveis de energia para a redução gradual das emissões de gases de efeito estufa, destacando o valor do engajamento de expansão de fontes renováveis

como a eólica para essas reduções, em decorrência de sua viabilidade econômica e das questões relacionadas à sustentabilidade que a envolve (BRASIL, 2010).

É possível observar um crescente interesse por parte de investidores nessa modalidade de energia no país tendo em vista questões que envolvem os atores do sistema setorial de inovação, levando em consideração os seguintes aspectos: projeções de mercado, premissas conjunturais estabelecidas pelo Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) e pelo Grupo Executivo do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), potencial econômico e distribuição geográfica dos recursos naturais do país (BRASIL, 2010).

O ingresso de novos atores no segmento tem favorecido a competição nos leilões e o crescimento da produção desse tipo de energia no país. De acordo com a GWEC (2010), historicamente, apenas um fabricante de turbinas se encontrava no mercado brasileiro e, mais recentemente, o setor atraiu uma série de empresas estrangeiras que se tornaram elegíveis para financiamento por parte do BNDES. Em decorrência da demanda por esse tipo de energia e dos contratos assumidos, a GE e a Alstom Wind já iniciaram a construção de plantas industriais no país, enquanto a Gamesa e a Suzlon anunciaram que também irão estabelecer fábricas específicas para o setor, visto que a Siemens já possui uma planta industrial no país (GWEC, 2010). A construção desses complexos visa a suprir não apenas os fatores já mencionados de demanda, mas, também, outros países na América Latina e Estados Unidos, em decorrência da expectativa de crescimento de demanda por esse tipo de energia também nesses países (GWEC, 2010).

A projeção de investimentos até 2019 é da ordem de R\$ 175 bilhões no setor energético geral, levando-se em consideração usinas já concebidas e autorizadas e novas usinas, que sozinhas representariam R\$ 108 bilhões. Destacando-se que do montante total, aproximadamente 27% serão investidos em pequenas centrais hidrelétricas (PCH), biomassa e eólica (BRASIL, 2010). Essa política de incentivo ao desenvolvimento de projetos renováveis de energia tem contribuído para a liderança brasileira no segmento de energia eólica na América Latina, com tendência de rápido crescimento nos próximos anos (JUNFENG, PENGFEI e HU, 2010). Em termos de capacidade de produção de energia para cada fonte utilizada no Brasil, é possível verificar os impactos desses investimentos ao longo dos próximos anos, por meio das projeções apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2

Projeção da evolução das diversas fontes de energia no Brasil, em MW

Fonte	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Hidroelétrica ^(a)	85.483	86.295	88.499	89.681	94.656	100.476	104.151	108.598	116.699
Urânio	2.007	2.007	2.007	2.007	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412
Gás natural	9.356	9.856	11.327	11.533	11.533	11.533	11.533	11.533	11.533
Carvão	2.485	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205
Óleo combustível	4.820	5.246	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864
Óleo diesel	1.903	1.703	1.356	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149
Gás de processo	687	687	687	687	687	687	687	687	687
PCH	4.116	4.116	4.516	5.066	5.566	5.816	6.066	6.416	6.966
Biomassa	6.083	6.321	6.671	7.071	7.421	7.621	7.771	8.121	8.521

Continuação da Tabela 2

Eólica	1.436	3.241	3.641	4.041	4.441	4.841	5.241	5.641	6.041
Total^(b)	118.376	122.677	130.773	133.304	140.934	147.604	152.079	157.626	167.077

Fonte: BRASIL (2010).

Notas: (a) Inclui a estimativa de importação da UHE Itaipu não consumida pelo sistema elétrico paraguaio.

(b) Não considera a autoprodução.

Além dos benefícios de redução de emissões e a viabilidade econômica que a competição do setor tem proporcionado, ainda foi possível verificar que a indústria eólica no país detinha, segundo informações do site oficial do *Global Wind Energy Council*, 13.500 pessoas empregadas diretamente no setor. Dessa forma, destaca-se o impacto social que a exploração da atividade pode ter para o país, contribuindo para geração de novos postos de trabalho que podem promover uma maior inclusão social no país. Essa perspectiva é corroborada por Salles (2004), tendo em vista a argumentação do autor de que parques eólicos em áreas rurais geram empregos diretos e indiretos, além de possibilitar que as áreas entre turbinas sejam utilizadas para criação de animais.

Como é possível verificar, por meio da trajetória da produção de energia eólica, o Brasil vem se empenhando, por meio de políticas, planos, programas e ações, aumentar a capacidade de oferta de energia que leve em consideração aspectos ambientais, sociais e econômicos, que vem sendo possibilitada pela adoção de inovações conceituais, técnicas, regulamentares e operacionais dos agentes setoriais públicos e privados (BRASIL, 2010).

Retomando as Figuras 4 e 5, sobre o relacionamento entre os atores do sistema setorial de inovação tecnológica do setor elétrico e os agentes envolvidos na dinâmica de P & D do setor, é possível identificar que os desafios da sustentabilidade ambiental no setor se direcionam diretamente ao relacionamento entre os agentes de fornecimento de energia em conjunto com a sociedade, de forma indissociável (BRASIL, 2010).

Considerações Finais

Tendo em vista o exposto, foi possível verificar que os benefícios ambientais que as inovações no setor eólico brasileiro vêm passando se relacionam à exploração de novas fontes de matéria-prima para a produção de energia, contribuindo para a redução de gases poluentes e redução da dependência de combustíveis fósseis. Além de se estruturar uma forma complementar para a energia hidráulica, tendo em vista o aumento de potencial de produção de energia eólica em períodos de seca.

Ainda foi possível constatar que as questões institucionais que regem o sistema nacional de energia e o sistema setorial de energia eólica têm possibilitado e incentivado a viabilização de projetos eólicos, ressaltando os benefícios econômicos, ambientais e sociais que o fortalecimento dessa indústria pode proporcionar ao país.

Mesmo assim, é importante destacar que as políticas setoriais devem buscar um crescimento mais rápido da produção de energia eólica, de forma a utilizar as potencialidades do país e encorajar a realização de investimentos sustentáveis e pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias, pautadas em elevados padrões de qualidade que estimulem a competição nacional, barateando o preço da energia no país.

A priorização dos investimentos em fontes renováveis de energia, com destaque para a eólica, tem contribuído para que as eco-inovações do setor perpassem as perspectivas sociais, ambientais e econômicas que Kemp e Foxon (2007) e Barbieri et al. (2010) afirmam se relacionar às inovações sustentáveis.

Nesse sentido, foi possível verificar que os pilares da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) podem ser visualizados ao longo de praticamente todas as questões envolvendo a implantação de novas usinas eólicas. No entanto, é importante destacar que as questões econômicas estão no cerne das discussões e é por meio da viabilidade econômica dessas usinas que questões ambientais e sociais também são beneficiadas. Dessa forma, essa modalidade de energia tem se mostrado cada vez mais competitiva em decorrência do barateamento de equipamentos e da escala que o setor ganhou ao redor do globo, que demanda, cada vez mais, esse tipo de energia e outras de natureza renovável. Mesmo assim, os projetos ainda são caros e o retorno dos investimentos se dá no longo prazo, como destaca o GWEC (2010). Isso evidencia a necessidade de estímulos governamentais para o fortalecimento do setor, principalmente em países como o Brasil, que, ao longo dos anos, tem utilizado uma série de fontes públicas para o financiamento parcial de projetos de energia no país e, fortalecer a dinâmica desse setor, poderia dar ao país posicionamento de destaque na possível “nova onda” de paradigmas e trajetórias tecnológicas apontadas por Pérez (2010), possibilitando a realização de um *catching up* do país em relação às nações desenvolvidas.

Para pesquisas futuras, seria interessante desenvolver estudos que avançassem no sentido de estabelecer categorias analíticas em torno de uma maior compreensão sobre o desenvolvimento tecnológico do setor, políticas, demandas sociais, impactos ambientais e potencial econômico que possibilite uma comparação sistemática com outros países, ampliando os conhecimentos em torno do setor e o papel da inovação em seu desenvolvimento recente.

Referências

- ABRAMOWSKI, J.; POSORSKI, R. Wind energy in developing countries. **DEWI Magazine**, n. 16, p.46-53, February, 2000.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Relatório Aneel 10 anos**. Brasília, DF: Aneel, 2008.
- AMARANTE, O. A. C. et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, DF: MME, 2001.
- ANDERSEN, M. M. Eco-innovation: towards a taxonomy and a theory. In: DRUID CONFERENCE: ENTREPRENEURSHIP AND INNOVATION – ORGANIZATIONS, INSTITUTIONS AND REGIONS, 25, 2008, Copenhagen. **Anais...** Copenhagen: DRUID, 2008, p.1-16.
- ARIENTI, W. L. Do estado keynesiano ao schumpeteriano. **Revista de Economia Política**, v. 23, n. 4, p. 97-113, out./dez. 2003.
- BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.
- _____. et al. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. **Revista de Administração de Empresas**, v. 50, n. 2, p. 146-154, 2010.
- BLACKBURN, W. R. **The sustainability handbook: the complete management guide to achieving social, economic and environmental responsibility**. Washington: ELI Press, 2007.
- BRASIL. **Plano decenal de expansão de energia 2019**. Brasília, DF: MME/EPE, 2010.
- _____. **Rio +20**. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20>. Acesso em: 20 jul. 2012.
- CARRILLO-HERMOSILLA, J.; GONZALEZ, P. D. R.; KONNOLA, T. **Eco-innovation: when sustainability and competitiveness shake hands**. New York: Palgrave Macmillan, 2009.

CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. Sistemas de inovação: políticas e perspectivas. **Parcerias Estratégicas**, n. 8, p.237-255, 2000.

_____. Sistema de inovação e desenvolvimento: as implicações políticas. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, n. 1, p. 34-45, 2005.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Diretrizes estratégicas para o fundo setorial de energia**. Brasília, DF: MCT, 2002.

COHEN, C. A. M. J. **Padrões de consumo: desenvolvimento, meio ambiente e energia no Brasil**. 2002. 224 p. Tese (Doutorado em Ciência em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

CUNHA, J. C. et al. Sistema setorial de inovação e energia elétrica no Brasil. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 25., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília, DF: Anpad, 2008, p.1-16.

DELGADO, N. A. et al. Empreendedorismo orientado para a sustentabilidade: as inovações no caso da Volkmann. **Cad. EBAPE.BR**, v. 6, n. 3, p.1-21, set. 2008.

DOSI, G. Sources, procedures, and microeconomics effects of innovation. **Journal of Economic Literature**, v. 26, p. 1120-1171, 1988.

_____. Technological innovation, institutions and human purposefulness in socioeconomic evolution: a preface to Christopher Freeman “Systems of innovation. Selected essays in evolutionary economics”. **Working Paper Series**, Pisa, p.1-10, 2007.

DUTRÉNIT, G. Building technological capabilities in latecomer firms: a review essay. **Science, Technology & Society**, v. 9, n. 2, p.209-241, 2004.

ELKINGTON, J. **Sustentabilidade: canibais com garfo e faca**. Edição histórica de 12 anos. São Paulo: M. Books, 2012.

EWEA. **Powering Europe: wind energy and the electricity grid**. Brussels: EWEA, 2010.

FOXON, T.; ANDERSEN, M. M. The greening of innovation systems for eco-innovation: towards an evolutionary climate mitigation policy. In: DRUID SUMMER CONFERENCE: INNOVATION, STRATEGY AND KNOWLEDGE. **Anais...** p. 1-35, Copenhagen: DRUID, 2009.

FREEMAN, C. The national system of innovation in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, Cambridge, v. 19, p. 5-24, 1995.

FUSSLER, C.; JAMES, P. **Driving eco innovation: a breakthrough discipline for innovation and sustainability**. London: Pitman Publishing, 1996.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL – GWEC. **Global wind energy outlook 2008**. Brussels: GWEC, 2008.

_____. **Global Wind report: annual market update 2010**. Brussels: GWEC, 2010.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p.7-20, 2007.

JOHNSON, B.; EDQUIST; C.; LUNDVALL, B. A. **Economic development and the national system of innovation approach**. In: FIRST GLOBELICS CONFERENCE. 1, 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Redesist, 2003, p.1-24.

- JUNFENG, L. et al. **A study on the pricing policy of wind power in China**. Brussels: GWEC, 2006.
- _____. ; PENGFEI, S.; HU, G. **China wind power outlook 2010**. Bélgica: GWEC, 2010.
- KATZ, J. **Importación de tecnología, aprendizaje y industrialización dependiente**. México: Fondo de Cultura Económica, 1986.
- KEMP, R.; FOXON, T. J. **Tipology of eco-innovation**. In: MEI project: measuring eco-innovation. European Commission, 24 p. ago. 2007.
- LALL, S. A mudança tecnológica e a industrialização nas economias de industrialização recente da Ásia: conquistas e desafios. In: KIM, L.; NELSON, R. R. (Org.). **Tecnologia, aprendizado e inovação: as experiências das economias de industrialização recente**. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2005, p.25-100.
- LEMOS, C. Inovação na era do conhecimento. **Parcerias Estratégicas**, n. 8, p.157-179, 2000.
- LUNDEVALL, B. A. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation. In: Dosi, G. et al. (Ed.). **Technical change and economic theory**. London: Printer Publishers, 1988, p. 349-369.
- _____. et al. National systems of production, innovation and competence building. **Research Policy**, v. 31, p. 213–231, 2002.
- MAÇANEIRO, M. B.; CUNHA, S. K. Eco-inovação: um quadro de referência para pesquisas futuras. In: SIMPÓSIO DE INOVAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO. 26., 2010, Vitória. **Anais...** Vitória: Anpad, 2010, p.1-17.
- MALERBA, F. Sectorial systems of innovation and production. **Research Policy**, v. 31, p. 247-264, 2002.
- _____. Sectoral system and innovation and technology policy. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 2, n. 2, p.329-375, 2003.
- MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p.1304-1 a 1304-13, 2008.
- MAXWELL, I. E. **Managing sustainable innovation: the driver for global growth**. New Zealand: Springer, 2009.
- NELSON, R. R. The changing institutional requirements for technological and economy catch up. In: DRUID Summer Conference 2004 on Industrial dynamics, innovation and development. **Anais...** Elsinore: DRUID, p. 1-15, jun, 2004.
- _____. **As fontes do crescimento econômico: clássicos da inovação**. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2006a, p. 427-469.
- _____. **Economic development from the perspective of evolutionary economic theory**. Tallinn: Tallinn University of Technology, 2006b. (Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics, n. 2).
- _____. ; WINTER, S.G. In search of useful theory of innovation. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 3 n. 2, p. 237-282, 2004.
- Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE. **Manual de Oslo: proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica**. Rio de Janeiro: Finep, 2004.
- _____. **Eco-innovation in industry: enabling green growth**. Paris: OECD, 2009.
- PÉREZ, C. Technological revolutions, paradigm shifts and socio-institutional change. In: REINERT, E. **Globalization, economic development and inequality: an alternative perspective**. Cheltenham: Edward Elgar, 2004, 337p.

_____. Technological dynamism and social inclusion in Latin America: a resource-based production development strategy. **Cepal Review**, Santiago, v. 100, p. 121-141, abril, 2010.

SALLES, A. C. N. **Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração eólica**. 2004. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

SAMPAIO, C. A. C. A construção de um modelo de gestão que promove o desenvolvimento sustentável. **Cad. EBAPE.BR**, v. 2, n. 3, p.1-12, dez. 2004.

SANTOS, G. F. **A evolução da indústria de energia elétrica e a estratégia do grupo Iberdrola no Brasil**. 2003. 124 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003.

SAVITZ, A. W.; WEBER, K. **The triple bottom line: how today's best-run companies are achieving economic, social and environmental success – and how you can too**. São Francisco: Jossey-Bass, 2006.

SCHUMPETER, J. **A teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1985.

STORPER, M. **Globalization and knowledge flows: an industrial geographer's perspective in regions, globalization and the knowledge-based economy**. In: DUNNING, J. (Ed.). *Regions, globalization, and the knowledge-based economy*. Oxford: Oxford University Press, 2000, p.42-62.

VAN BELLEN, H. M. Indicadores de sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação. **Cad. EBAPE.BR**, v. 2, n. 1, p.1-14, mar. 2004.

VAN MARREWIJK, M. Concepts and definitions of CSR and corporate sustainability: between agency and communion. **Journal of Business Ethics**, v. 44, p. 95-105, 2003.

VELOSO FILHO, F. A.; NOGUEIRA, J. M. O sistema nacional de desenvolvimento científico e tecnológico e a promoção econômica de regiões e localidades no Brasil. **Estudos Geográficos**, v. 4, n. 2, p. 1-15, 2006.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006a.

_____. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2006b.

VILLA, A. O. M. **Gestão da inovação na indústria brasileira de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos: uma análise sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável**. 2009. 169 p. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) – Pós-Graduação em Política Científica e Tecnológica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.