

UFRRJ

INSTITUTO DE FLORESTAS

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

DISSERTAÇÃO

**PROPOSTA DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE
ENERGÉTICA PARA A MATRIZ DE GERAÇÃO EÓLICA DO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO**

Josiele Batista da Cruz

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**PROPOSTA DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE
ENERGÉTICA PARA A MATRIZ DE GERAÇÃO EÓLICA DO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO**

JOSIELE BATISTA DA CRUZ

*Sob orientação do Professor Doutor
Gustavo Bastos Lyra*

*e Coorientação do Professor Doutor
Ednaldo Oliveira dos Santos*

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável, Área de Concentração em Meio Ambiente, Sustentabilidade e Conservação dos Recursos Naturais.

SEROPÉDICA, RJ
Janeiro de 2018

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C955p Cruz, Josiele Batista da, Josiele Batista da Cruz,
1991-
Proposta de indicadores de sustentabilidade
energética para a matriz de geração eólica do estado do
Rio de Janeiro / Josiele Batista da Cruz Cruz,
Josiele Batista da. - 2018.
84 f. : il.

Orientador: Gustavo Bastos Lyra Lyra, Gustavo
Bastos.
Coorientador: Ednaldo Oliveira dos Santos Santos,
Ednaldo Oliveira dos.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Práticas em Desenvolvimento Sustentável , 2018.


1. Indicadores. 2. Energia eólica. 3.
Desenvolvimento sustentável. I. Lyra, Gustavo Bastos,
Gustavo Bastos Lyra, 1975-, orient. II. Santos,
Ednaldo Oliveira dos, Ednaldo Oliveira dos Santos,
1969-, coorient. III Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Práticas
em Desenvolvimento Sustentável . IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

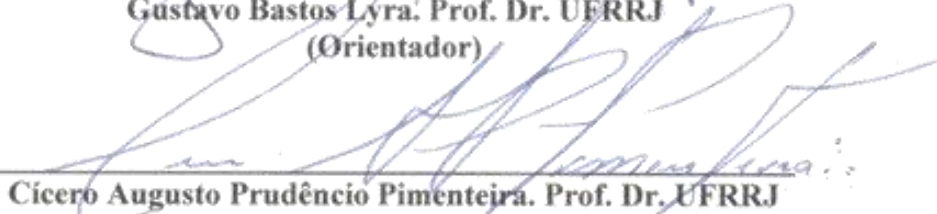
JOSIELE BATISTA DA CRUZ

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável da UFRRJ.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/01/2018




Gustavo Bastos Lyra. Prof. Dr. UFRRJ
(Orientador)



Cícero Augusto Prudêncio Pimenteira. Prof. Dr. UFRRJ
(Membro Interno)



Fábio Souto de Almeida. Prof. Dr. UFRRJ
(Membro Interno)



Márcio Cataldi. Prof. Dr. - UFF
(Membro Externo)

*Para meus pais, Cláudio e Josemary,
por todo amor, dedicação,
cuidado e apoio incondicional.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Gustavo Bastos Lyra e Ednaldo Oliveira dos Santos por toda a ajuda e confiança no meu potencial e por acreditarem na minha capacidade de superação.

Ao Prof. Dr. Cícero Augusto Prudêncio Pimenteira que me apresentou a esse Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável me possibilitando alcançar novos horizontes e oportunidades. E por todo o carinho e atenção durante todo este processo.

Ao meu chefe, Juvenal de Souza Brasil Neto, por toda a compreensão nestes momentos finais do mestrado e apoio para que eu chegasse a esse momento. Obrigada pelo entusiasmo em me apresentar como “futura Mestre” da Secretaria de Meio Ambiente.

Ao meu pai, Cláudio José, por todas as madrugadas que me levastes ao ponto de ônibus para que esse momento se concretizasse. À minha mãe, Josemary Batista, por todas as conversas e conselhos para que eu mantivesse a calma e não desistisse. Por todos os momentos que vocês, meus pais, me disseram que o final desse caminho seria a vitória. Essa vitória é nossa!

A minha irmã, Júlia Batista, por sempre me apoiar, incentivar e se preocupar comigo. E por todos os abraços e orações.

Ao meu namorado, Bruno Gomury, pelo incentivo desde o início deste projeto, pela compreensão, paciência e apoio incondicional em toda esta trajetória. Pelas palavras de calma e carinhos nos momentos mais difíceis e por acreditar em mim quando nem eu mais acreditava.

A minha amiga, Olga Gomes, por abrir as portas do seu lar para que eu fosse sua hóspede, pelas conversas descontraídas e pelos conselhos certos.

A minha amiga, Camilla Lírio, que esse mestrado me proporcionou para a vida toda. Obrigada por me abrigar no seu lar e por emprestar seus pais, Ricardo e Márcia Lírio, todas as segundas e terças durante o período de aulas. Muito obrigada pelas risadas, pelos conselhos e por segurar minha barra nos momentos penosos desses dois anos.

A minha amiga, Taila Sâmea, por toda a paciência em ouvir meus lamentos e me ajudar a encontrar a solução quando ninguém mais podia. Obrigada por estar ao meu lado me apoiando e acreditando em mim. Pelas risadas e conquistas em dupla.

Aos demais familiares e amigos que sempre torceram por mim e que de alguma forma contribuíram para essa conquista.

A Deus, que me amparou e sustentou todos os dias até aqui.

*“Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte,
não temeria mal algum, porque tu estás comigo;
a tua vara e o teu cajado me consolam.”
(Salmos 23:4)*

RESUMO

CRUZ, Josiele Batista da. **Proposta de Indicadores de Sustentabilidade Energética para a Matriz de Geração Eólica do Estado do Rio de Janeiro**. 2018. 84p. Dissertação (Mestrado em Práticas em Desenvolvimento Sustentável). Instituto de Florestas, Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2018.

O Brasil é o quarto país que mais investe em energia eólica no mundo, sendo a fonte que mais cresce em termos de geração de energia no território brasileiro. O objetivo principal deste estudo foi propor indicadores de sustentabilidade energética para o estado do Rio de Janeiro, com base nos principais impactos ambientais causados por empreendimentos de geração de energia eólica. Para tal, realizou-se o levantamento de sistemas de indicadores de sustentabilidade socioeconômica e ambiental utilizados por instituições e empresas nacional e internacional ligadas à pesquisa sobre energia e após identificação dos sistemas de indicadores mais relevantes a esse estudo foram adaptados às especificidades do estado do Rio de Janeiro. Foi identificado que a maioria das instituições ligadas à pesquisa sobre energia estudada utiliza os Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável (IEDS), propostos pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Como resultado, foram definidos 27 indicadores baseados na AIEA e demais sistemas pesquisados. Alguns destes indicadores foram adaptados às peculiaridades do Estado e do setor de energia eólica. Os 27 indicadores foram divididos nas três principais dimensões do desenvolvimento sustentável: social, econômica e ambiental. Assim, espera-se que os indicadores aqui propostos sirvam como instrumento de planejamento para tomada de decisão e mensuração dos impactos causados pela construção e operação de usinas eólicas no estado do Rio de Janeiro a fim de direcionar estratégias para o alcance do desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Indicadores, Energia eólica, Desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

CRUZ, Josiele Batista da. **Proposal of Energy Sustainability Indicators for the Wind Energy Generation Matrix of the State of Rio de Janeiro.** 2018. 84p. Masters Dissertation of Development Practice, Instituto de Florestas, Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2018.

Brazil is the fourth country that invests more in wind energy in the world, being the source that grows the most in the Brazilian territory. The main objective of this study is to propose indicators of energy sustainability for the state of Rio de Janeiro based on the main environmental impacts caused by wind power generation projects. To do so, the survey of systems of indicators of socioeconomic and environmental sustainability used by national and international institutions and companies linked to energy research was carried out, and after identifying the most relevant indicator systems for this study were adapted to the specifics of the state of Rio de Janeiro. It was identified that most of the institutions involved in research on energy are using the Energy Indicators for Sustainable Development (EIDS) proposed by the International Atomic Energy Agency (IAEA). As a result, 27 indicators based on the IAEA and other surveyed systems were proposed. Some of these indicators were adapted to the peculiarities of the State and the wind energy sector. The 27 indicators were divided into the three main dimensions of sustainable development: social, economic and environmental. Thus, it is hoped that the indicators proposed here serve as a planning tool for decision-making and measurement of the impacts caused by the construction and operation of wind farms in the state of Rio de Janeiro in order to direct strategies for achieving sustainable development.

Key words: Indicators, Wind energy, Sustainable development.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Potência instalada em MW de energia eólica no Brasil no ano de 2013.....	21
Tabela 2: Potência instalada em MW de energia eólica no Brasil nos anos 2014, 2015 e 2016.	21
Tabela 3: Evolução da potência eólica instalada no Brasil.	23
Tabela 4: Geração e Representatividade da Fonte Eólica por região do Brasil.	24
Tabela 5: Potencial eólico <i>onshore</i> e <i>offshore</i> do Estado do Rio de Janeiro.....	25
Tabela 6: Potencial Eólico <i>Onshore</i> do estado do Rio de Janeiro por integração por faixa de velocidade.....	26
Tabela 7: Potencial Eólico <i>Offshore</i> do estado do Rio de Janeiro por integração por faixas de velocidade.....	26
Tabela 8: Potencial Eólico Estimado por integração por faixas de velocidade para Área 1. ...	49
Tabela 9: Potencial Eólico Estimado por integração por faixas de velocidade para Área 2. ...	50
Tabela 10: Potencial Eólico Estimado por integração por faixas de velocidade para Área 3. .	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dimensões, Tema e Subtema dos IEDS da AIEA (2005).....	55
Quadro 2: Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável propostos pela AIEA (2005).	55
Quadro 3: Dimensão ambiental dos indicadores de sustentabilidade energética propostos por Cavalcanti (2015).	57
Quadro 4: Dimensão econômica dos indicadores de sustentabilidade energética propostos por Cavalcanti (2015).	57
Quadro 5: Dimensão social dos indicadores de sustentabilidade energética propostos por Cavalcanti (2015).	58
Quadro 6: Indicadores Sociais Aplicáveis ao Setor Elétrico Brasileiro.	58
Quadro 7: Indicadores Econômicos Aplicáveis ao Setor Elétrico Brasileiro.	59
Quadro 8: Indicadores Ambientais Aplicáveis ao Setor Elétrico Brasileiro.	59
Quadro 9: Indicadores Ambientais para geração eólica propostos por Garcia <i>et al.</i> (2016)....	60
Quadro 10: Panorama geral dos indicadores sociais considerados para este estudo e equivalência com os indicadores da AIEA.	63
Quadro 11: Panorama geral dos indicadores econômicos considerados para este estudo e equivalência com os indicadores da AIEA.	64
Quadro 12: Panorama geral dos indicadores ambientais considerados para este estudo e equivalência com os indicadores da AIEA.	65
Quadro 13: Indicadores de Sustentabilidade Energética da Dimensão Social para geração de energia eólica no Estado do Rio de Janeiro	66
Quadro 14: Indicadores de Sustentabilidade Energética da Dimensão Econômica para geração de energia eólica no Estado do Rio de Janeiro	68
Quadro 15: Indicadores de Sustentabilidade Energética da Dimensão Ambiental para geração de energia eólica no Estado do Rio de Janeiro	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Participação de cada fonte de energia na matriz elétrica brasileira..	19
Figura 2: Ranking da Capacidade instalada de energia eólica em 2016..	23
Figura 3: Vista em perspectiva do estado do Rio de Janeiro.	24
Figura 4: Áreas mais promissoras para instalação de empreendimentos eólio-elétricos no Rio de Janeiro.	25
Figura 5: Dimensões tradicionais das turbinas eólicas no mercado atual comparado com as dimensões da aeronave <i>Boeing 747</i> .	28
Figura 6: Impactos relacionados a componentes do meio ambiente na fase de implantação dos empreendimentos de geração eólica.	41
Figura 7: Emissões de CO ₂ evitadas em 2016.	43
Figura 8: Localização do Estado do Rio de Janeiro na região Sudeste do Brasil.	49

LISTA DE SIGLAS

ABEEOLICA - Associação Brasileira de Energia Eólica
AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica
AIT - Instituto de Tecnologia da Ásia
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG – Banco de Informações de Geração
BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBEE - Centro Brasileiro de Energia Eólica
CELPE - Companhia Energética de Pernambuco
CO₂ - Dióxido de carbono
CRA - Centro de Recursos Ambientais
CSD - *Commission on Sustainable Development*
CUBE - *Citizen's Utilities Board*
FINAME - Agência Especial de Financiamento Industrial
GEE - Gases de Efeito Estufa
GW - Gigawatt
GWEC - *Global World Energy Council*
HIFI - *HELIO Index for Investors*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KW - Quilowatt
KWh - Quilowatt-hora
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MW - Megawatt
N - Norte
NE - Nordeste
OCDE - Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU - Organização das Nações Unidas
PCH - Pequena Central Hidrelétrica
PE - Pernambuco
PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROEOLICA - Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

REN21 - Rede de Energias Renováveis para o Século XXI

S - Sul

SE - Sudeste

SEP - *Smart Energy Path*

SEW - *Sustainable Energy Watch*

SIN - Sistema Interligado Nacional

TIPEE - *Traitement de l'information pour les politiques énergétiques et l'écodéveloppement*

TWh - Terawatt-hora

UICN - União Internacional para a Conservação da Natureza

VAR - *Vulnerability, Adaptation and Resilience*

WWF - *World Wide Fund for Nature*

ZEE - Zona Econômica Exclusiva

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Geral	18
1.1.2 Específicos.....	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 Participação da Energia Eólica na Matriz Energética do Brasil	19
2.2 Potencial Eólico do Estado do Rio de Janeiro	24
2.3 Regulamentação do Setor da Energia Eólica no Brasil: Programas de Incentivo à Energia Eólica.....	27
2.3.1 PROINFA	29
2.3.2 Principais benefícios do PROINFA e da fonte de produção de energia eólica	30
2.4 Sustentabilidade na Produção das Energias Renováveis	32
2.5 Sustentabilidade Energética.....	35
2.5.1 Contextualização dos Indicadores de Sustentabilidade Energética.....	35
2.6 Impactos ambientais da energia eólica	41
2.6.1 Gases intensificadores do Efeito Estufa	43
2.6.2 Fauna e Avifauna.....	43
2.6.3 Poluição Sonora e Impacto Visual.....	44
2.6.4 Uso do Solo	44
2.6.5 Alterações Microclimáticas	45
2.6.6 Desenvolvimento Local.....	45
2.6.7 Interferência eletromagnética	46
2.6.8 Erosão do solo	47
2.6.9 Recursos hídricos.....	47
3 MATERIAL E MÉTODOS	48
3.1 Caracterização da Área de Estudo	48
3.2 Procedimentos Metodológicos.....	52
3.2.1 Pesquisa bibliográfica	52
3.2.2 Identificação de sistemas de indicadores de sustentabilidade energética.....	52
3.2.3 Elaboração dos indicadores de sustentabilidade.....	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental Energética ...	54
4.2 Identificação e Adaptação dos Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade Energética ..	62
4.3 Dimensão Social.....	66
4.4 Dimensão Econômica.....	68

4.5 Dimensão Ambiental	71
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, observa-se preocupação global com o meio ambiente, principalmente, após a revolução industrial e devido ao aumento das pressões econômicas e sociais, relacionadas ao crescimento populacional, ao progresso tecnológico e ao desenvolvimento humano, sobre os recursos naturais (INATOMI e UDAETA, 2005).

Para minimizar os efeitos negativos das atividades antrópicas sobre os recursos naturais e integrar o desenvolvimento econômico e social à questão ambiental, criou-se o conceito de desenvolvimento sustentável. Na busca por esse desenvolvimento sustentável, esforços nos âmbitos político e científico são conduzidos para que os impactos causados pela degradação e uso intensivo dos recursos naturais, principalmente os não renováveis, sejam minimizados (ANEEL, 2008).

No cenário de contínuo crescimento populacional e econômico, o aumento da demanda por energia no Planeta é inevitável. Por conseguinte, a expansão dos países desenvolvidos e em desenvolvimento exige aumento no fornecimento de energia de forma contínua e segura para os mais diversos setores, sejam instalações residenciais, comerciais e industriais, assim como áreas rurais (TOLMASQUIM et al. 2007).

Apesar da expressiva expansão no consumo de energia representar melhoria na qualidade de vida, como também crescimento econômico, esse crescimento apresenta aspectos negativos, tais como, a extenuação dos recursos imprescindíveis à produção de energia, impacto ao meio ambiente, além da necessidade de altos investimentos para descoberta de novas fontes e construção de novas usinas para geração de energia (ANEEL, 2008).

No Brasil, a principal fonte de geração elétrica provém da energia hidráulica, apesar da grande capacidade de geração e provir de fonte renovável, não pode ser considerada totalmente 'limpa', devido aos impactos ambientais e sociais negativos envolvidos. Destaca-se entre os impactos, o alagamento de extensas áreas cultiváveis ou com vegetação nativa, principalmente ao considerar que o maior potencial hidrelétrico brasileiro se encontra na Amazônia. Cabe ressaltar que até recentemente o alagamento dessas áreas era realizado sem a retirada da vegetação, o que com o tempo resultava na emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) dos reservatórios, como por exemplo, o gás metano (PEREIRA et al. 2006).

Os alagamentos não só afetam a biodiversidade, mas também induz ao deslocamento humano e de animais dessas áreas, o que causa impactos sociais e ambientais. Além desses impactos negativos, a capacidade de geração das usinas hidrelétricas no Brasil está cada vez mais comprometida, sendo vulnerável à variabilidade e, ou as mudanças climáticas, o que força a busca por diversificação e complementaridade da matriz energética nacional (VIANA et al., 2015).

A geração de energia elétrica a partir do calor produzido pela queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, óleo, gás natural) ou por outras fontes de calor (fissão nuclear) é uma alternativa estratégica à hidráulica dada a atual crise hídrica. Porém, as usinas termoelétricas são mais poluentes que as hidroelétricas, devido à queima de combustíveis fósseis, o que resulta em grande quantidade de emissões de gases poluentes para a atmosfera (dióxido de enxofre, monóxido de carbono, entre outros) (INATOMI e UDAETA, 2005). Além disso, o acionamento das termoelétricas geram altos custos e, conseqüentemente, uma energia mais cara para a população (ABEEOLICA, 2016).

Com a sexta maior reserva de urânio do mundo (PEREIRA et al. 2006), o Brasil apresenta expressivo potencial para a energia nuclear. Contudo, diversos questionamentos a respeito dos riscos de acidentes nas usinas nucleares e a forma de acondicionamento dos rejeitos radioativos gerados inibem a utilização dessa forma de energia.

Alternativa, e em franca expansão, o grupo das fontes renováveis, também denominadas de “outras fontes” ou “energias limpas”, abrangem, principalmente o vento, Sol, mar, geotérmica, biomassa, esgoto, lixo e dejetos animais. Ditas ambientalmente corretas por apresentarem baixo grau de impactos ambientais, principalmente por não produzirem diretamente GEE ou poluentes atmosféricos (dióxido de enxofre, monóxido de carbono, material particulado, entre outros), tais fontes possibilitam a diversificação e redução da dependência dos combustíveis fósseis, além de atuarem como fontes complementares às grandes usinas hidrelétricas (ANEEL, 2008).

Por ser um recurso amplamente disponível, renovável, perene, independente de exportação e custo de suprimento, o vento se apresenta como alternativa de fonte de energia renovável. Além de não emitir diretamente GEE, os parques eólicos podem ser instalados em locais isolados que apresentem a constância e a velocidade dos ventos em abundância e dessa forma favorecem a geração de energia, como aferidos em diversos pontos da costa brasileira, de cadeias montanhosas e até mesmo em alto mar. Apesar de ser um sistema intermitente, apresenta-se como excelente opção às hidrelétricas, visto que os ventos fluem com maior intensidade na época de seca, ou seja, quando há baixo aproveitamento hidráulico, principalmente no Nordeste brasileiro (CD/CAEAT, 2012 apud VIANA et al., 2015).

Outra vantagem associada à geração de energia eólica é a possibilidade de utilização do solo das áreas de instalação dos parques para outros fins, como a criação de gado e agricultura (TOLMASQUIM, 2016).

Considerando o atual interesse da sociedade moderna pelas energias renováveis, originado pela necessidade de diversificação das fontes de suprimento de energia assim como da complementaridade entre as fontes, garantia da segurança energética e combate às mudanças climáticas, a energia eólica tem se destacado tanto no âmbito internacional quanto nacional.

De acordo com a Associação Brasileira dos Produtores de Energia Eólica (ABEEOLICA), o Brasil é o quarto país que mais investe em energia eólica no mundo, embora as regiões central e amazônica não apresentem condições satisfatórias para a geração elétrica a partir do vento. Especificamente na região Sul são produzidos 1,8 GW de energia, enquanto no Nordeste brasileiro, a produção chega a aproximadamente 7,6 GW, que corresponde atualmente a mais de 80% da energia gerada por esse tipo de fonte no país (ABEEOLICA, 2016).

Embora reconhecida como fonte de geração de energia limpa, inesgotável, ambientalmente correta e com inúmeros benefícios ao meio ambiente, social e econômico, a construção e operação de usinas eólicas causam diversos impactos nos meio físico, biótico e socioeconômico.

Mesmo sendo a fonte que mais cresce no território brasileiro, para que essa alternativa de geração de energia tenha maior participação na matriz energética brasileira é necessário, principalmente, maior financiamento para a construção de mais linhas de transmissão e disponibilização de infraestruturas para distribuição de energia, além de investimentos em tecnologia de turbinas a fim de suprir a demanda da construção de parques, como também a capacitação de profissionais especializados (MOREIRA, 2012, apud VIANA et al., 2015).

Entretanto, atualmente a participação do governo no setor eólico se restringe aos leilões de instalação dos parques e à compra da energia, cabendo aos investidores privados a função de financiar os avanços na expansão da energia eólica (IHU, 2012a, apud VIANA et al., 2015).

Para alcançar desenvolvimento econômico sustentável em escala global, o uso moderado de recursos, tecnologia, incentivos econômicos apropriados e estratégias de planejamento de políticas em níveis local e nacional são imprescindíveis. O monitoramento regular dos impactos das políticas e estratégias adotadas desempenha papel essencial ao

evidenciar se tais recursos promovem o desenvolvimento sustentável ou se necessitam de ajustes (AIEA, 2005).

Assim, é indispensável medir o estado de desenvolvimento de um país e acompanhar o seu progresso ou a falta deste em direção à sustentabilidade. Portanto, existe a necessidade imediata de informações que respaldem políticas, investimentos e ações eventualmente corretivas (AIEA, 2005).

Considerando a capacidade e potencial expansão dessa fonte energética no país, torna-se de suma importância a busca e definição de um sistema de indicadores de mensuração, acompanhamento e gestão da sustentabilidade de empreendimentos eólicos.

Além disso, tratando-se de combustíveis energéticos e tecnologias associadas à sua produção e demais serviços de energia, é essencial considerar as questões econômicas, sociais e consequências ambientais. Os formuladores de políticas precisam de métodos para medir e avaliar os efeitos atuais e futuros do uso de energia na saúde humana, ar, solo, água e na biodiversidade (AIEA, 2005).

Logo, é necessário mensurar se o uso atual de energia é sustentável e, se não, como mudá-lo para que isso ocorra. Este é o principal objetivo dos indicadores de sustentabilidade energética apresentados neste estudo, que aborda questões pertinentes dentro das três dimensões principais do desenvolvimento sustentável: econômico, social e ambiental.

Portanto, este trabalho apresenta-se como uma proposta de indicadores de sustentabilidade energética elaborados e adaptados a partir da compilação de três estudos principais, citados no item 2.4.2 que nortearam a definição dos indicadores propostos mais a frente. Tais indicadores foram construídos não só a partir da literatura estudada, como também a partir da identificação dos principais impactos causados pela geração de energia a partir da fonte eólica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Propor indicadores de sustentabilidade energética para o estado do Rio de Janeiro com base nos principais impactos ambientais causados por empreendimentos de geração de energia eólica.

1.1.2 Específicos

- a. Realizar levantamento de sistemas de indicadores de sustentabilidade socioeconômica e ambiental utilizados por instituições e empresas ligadas à pesquisa sobre energia.
- b. Identificar sistemas de indicadores de sustentabilidade energética e adaptá-los às especificidades do estado do Rio de Janeiro, de acordo com as localidades para a construção de plantas eólicas.
- c. Propor indicadores de sustentabilidade energética que sirvam como instrumento de planejamento para tomada de decisão e mensuração dos impactos causados pela construção e operação de usinas eólicas no estado do Rio de Janeiro a fim de direcionar estratégias para o alcance do desenvolvimento sustentável.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Participação da Energia Eólica na Matriz Energética do Brasil

O Brasil, assim como os demais países em expansão e crescimento econômico e demográfico, exige aumento no fornecimento e geração de energia. Entretanto, é um país privilegiado por dispor de diversas fontes de energia em abundância (Figura 1), sejam renováveis ou não renováveis, e possui uma das matrizes energéticas mais “limpas” do mundo, baseada principalmente em usinas hidrelétricas (ALVES, 2009; VIANA et al., 2015).

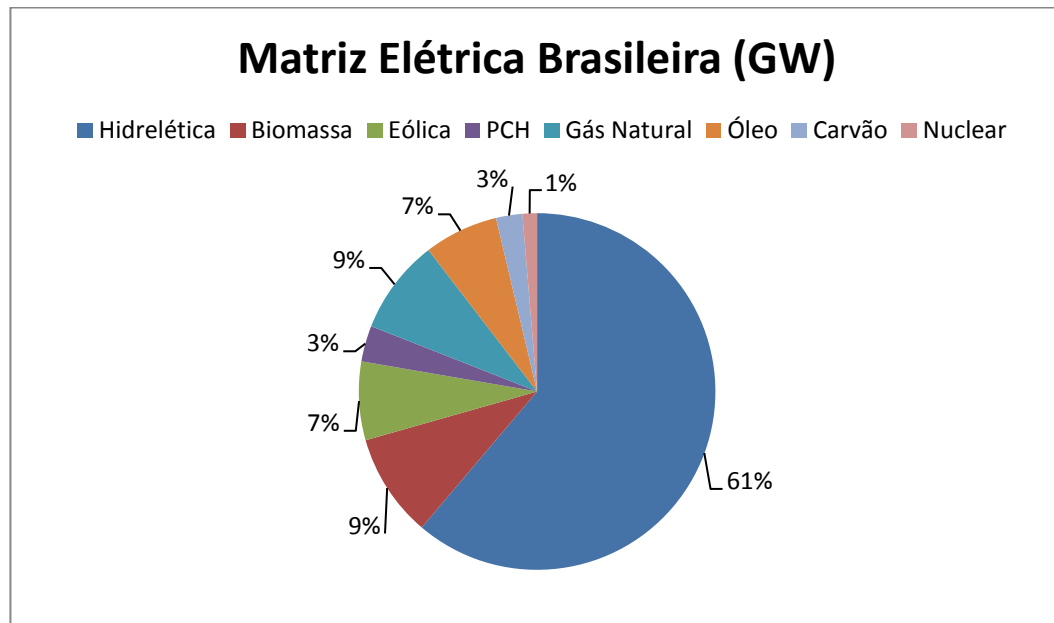


Figura 1: Participação de cada fonte de energia na matriz elétrica brasileira. Fonte: ANEEL/ABEEOLICA (2016).

Apesar do acelerado crescimento do uso da energia eólica como fonte de geração elétrica, o aumento do uso de gás natural e a descoberta recente de grandes quantidades de petróleo na camada do pré-sal, mesmo representando substanciais ganhos econômicos e garantia de suprimento de derivados do petróleo em longo prazo, também simbolizam maiores contribuições nas emissões de GEE, mudanças climáticas e impactos ao meio ambiente (VIANA et al., 2015).

Ao longo da crise energética enfrentada pelo Brasil em 2001, houve grandes investimentos na construção e operação de usinas eólicas, principalmente na região Nordeste, devido ao extenso potencial de ventos na região, com destaques para o litoral dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte (ALVES, 2009).

Estudos do potencial eólico brasileiro indicam capacidade de geração acima de 143,5 GW, embora ainda não haja concordância sobre tais valores, pesquisas e levantamentos locais, regionais e nacionais direcionam à comercialização da energia eólica no País (ANEEL, 2005).

De acordo com Alves (2009), em 2001 o Brasil apresentava 2,4 MW de potência, com aumento para 912,28 MW em 2002 e de 1.554,8 MW em 2003, no entanto, em 2004 reduziu para 850 MW. Esse acréscimo de potência instalada no ano de 2003 ressalta a importância do

Estado em oferecer incentivos regulatórios que favoreçam a expansão das fontes de geração de energia elétrica. O autor completa ainda que se todas as outorgas em energia eólica estivessem em atividade, o Brasil possuiria 19,2 % de energia em sua matriz, tornando-se assim, um País com a sustentabilidade e diversidade em energias renováveis cada vez mais expressivas, em particular a energia eólica.

Em 2009, havia em operação no País, 1.567 empreendimentos de energias renováveis, gerando potência de 95.744,495 MW (Megawatts). Assim, espera-se que com o término da construção de 77 empreendimentos e mais 505 outorgados, a potência seja aumentada em mais 27.041,487 MW (ALVES, 2009).

Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001), a potencial eólico brasileiro é estimado em 143,5 GW ou 272,2 TWh/ano. As regiões brasileiras de maior destaque são Nordeste, Sudeste e Sul com estimativas de potencial de 75, 29,7 e 22,8 GW, respectivamente. Para a realização das medições dos ventos foram utilizadas torres de 50 metros e áreas que tivessem velocidades médias anuais iguais ou superiores a 6 m/s.

O potencial bruto mundial de produção de energia eólica é 30 vezes maior do que o consumo elétrico global, onde a capacidade de geração eólica mundial foi avaliada em torno de 500.000 TWh/ano. De todo o potencial disponível, somente 53.000 TWh, aproximadamente 10%, é efetivamente aproveitado, mesmo assim, representa quatro vezes o consumo elétrico global (ANEEL, 2005; ALVES, 2009).

Ortiz e Kampel (2011) demonstraram que o potencial de energia eólica *offshore* a ser explorado na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Brasil, é em torno de doze vezes maior do que no continente. Tais valores ultrapassam em mais de quatro vezes o valor do total de energia produzida no País, o que demonstra que a energia eólica pode servir não só como fonte complementar à energia hidrelétrica, mas como fonte principal na matriz energética nacional, substituindo as demais fontes de geração elétrica a partir de recursos não-renováveis.

Os parques eólicos marinhos se apresentam como importante recurso para o desenvolvimento sustentável do Brasil. Dispondo de tamanho potencial *offshore*, há também vantagens socioambientais que tornam tal investimento mais atrativo, como ausência de barreiras naturais, impactos ambientais minimizados e menores restrições de áreas, tais como a não apropriação de áreas habitadas, o que evitaria a necessidade de deslocamento humano (ORTIZ; KAMPEL, 2011).

À medida que o desenvolvimento do setor elétrico brasileiro depende principalmente de incentivos governamentais, que atraíam o interesse de empreendedores, um importante instrumento coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, se destaca e muda o quadro nacional no uso de fontes alternativas de energia. O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA) foi criado não só para subsidiar o desenvolvimento de fontes renováveis no Brasil, mas também para assegurar a diversificação na matriz energética brasileira (ANEEL, 2005; ALVES, 2009).

Importante para a consolidação da energia eólica na matriz elétrica do Brasil, no ano de 2012 registraram-se os índices mais elevados de geração de energia pelas centrais eólicas no País, principalmente por representar um marco relevante para a fase competitiva da fonte após a entrega dos parques eólicos vendidos no 2º Leilão de Energia de Reserva de 2009 (ABEEOLICA, 2012).

Com crescimento de aproximadamente 73% de potência e acréscimo de 40 parques eólicos em relação ao ano de 2011, que apresentava apenas 68 parques de 1.450 MW, o ano de 2012 encerrou com 2.507,8 MW de potência eólica instalada, distribuída por 108 parques eólicos. Tais valores representam em média, o abastecimento de cerca de 2,5 milhões de residências por mês, considerando uma média de três pessoas por residência, a qual pode-se estimar que cerca de 7,5 milhões de pessoas foram atendidas (ABEEOLICA, 2012).

O ano de 2013 foi marcado pela instalação de mais 34 parques eólicos nos estados do Rio Grande do Norte (632 MW), Bahia (198 MW), Ceará (72,2 MW) e Rio Grande do Sul (46 MW) que somaram 948,2 MW de potência (Tabela 1). Assim, o ano de 2013 terminou com 3.466,07 MW de potência eólica instalada distribuída em 142 parques eólicos, o que configurou crescimento de 37,82% de potência em relação a dezembro de 2012 (ABEEOLICA, 2013).

Tabela 1: Potência instalada em MW de energia eólica no Brasil no ano de 2013.

ESTADO	POTÊNCIA (MW)
RN	632
BA	198
CE	72,2
RS	46
TOTAL	948,2

Fonte: ABEEOLICA (2013).

Com o incremento de 948,2 MW de capacidade instalada, a fonte eólica passou a compor 3% da matriz elétrica brasileira sendo responsável pela geração de 6.338 GWh. A geração média de 2013 foi de 723,5 MW médios e o recorde foi em novembro, quando atingiu a marca de 994 MW médios (ABEEOLICA, 2013).

Em 2014, os estados do Rio Grande do Norte (751,64 MW), Rio Grande do Sul (654,88 MW), Ceará (595,31 MW), Bahia (343,80 MW), Pernambuco (79,90 MW) e Piauí (70,00 MW) foram contemplados com a instalação de 96 novas usinas eólicas, agregando de forma geral, 2.495,52 MW de potência à matriz elétrica brasileira (Tabela 2). Cabe destacar os estados de Pernambuco e Piauí que até então não tinham implantação eólica e que existem, pelo menos, quatro atualmente (ABEEOLICA, 2014).

Tabela 2: Potência instalada em MW de energia eólica no Brasil nos anos 2014, 2015 e 2016.

Estados	Anos			Potência (MW)
	2014	2015	2016	
RN	751,64	687,56	640,00	
RS	654,88	438,89	126,60	
CE	595,31	48	485,03	
BA	343,80	687,50	278,95	
PE	79,90	272,65	273,59	
PI	70,00	617,10	209,80	
SC	--	2,10	--	
TOTAL	2.495,52	2.753,80	2.013,97	

Fonte: Boletim Anual de Geração Eólica da ABEEOLICA dos anos 2014, 2015 e 2016.

Com um total de 238 usinas, o ano de 2014 terminou com 5.972,09 MW de potência eólica instalada, o que caracterizou crescimento de 72% de potência em relação a dezembro de 2013. Tal evolução energética representou a capacidade instalada de 2,50 GW e passou a compor 4,4% da matriz energética brasileira (ABEEOLICA, 2014).

A fonte eólica gerou 12,04 TWh de energia em 2014, com valor 89,9% superior à geração realizada em 2013. A geração média de 2014 foi de 1.370,3 MW médios e o recorde foi em outubro, quando a geração atingiu 2.155,0 MW médios e pela primeira vez, ultrapassou, a geração verificada das Pequenas Centrais Hidrelétricas, que geraram no mesmo mês 2.063 MW médios (ABEEOLICA, 2014).

Segundo o relatório de 2015 do *Global Wind Market Report*, do GWEC (*Global World Energy Council*), o Brasil apresenta capacidade de vento três vezes maior que a necessidade de eletricidade do País. À medida que alguns países giram em torno de 25%, o Brasil passa dos 50% e, alcança até fatores acima de 70% nas épocas de melhores ventos. Assim, o fator de capacidade e qualidade dos ventos brasileiros apresentados a cada ano colocam o País em posição de destaque no panorama mundial de geração de energia eólica. Portanto, o Brasil possui alguns dos melhores ventos e fatores de capacidade acima da média do Planeta (ABEEOLICA, 2017).

Em 2015 foram instaladas 111 novas usinas eólicas, o que caracterizou um novo e importante recorde para o Brasil, onde mais de cem usinas haviam ficado prontas no intervalo de um ano. As novas usinas representaram 2.753,80 MW de potência à matriz de energia nacional (Tabela 2). Os estados beneficiados com os novos empreendimentos foram Rio Grande do Norte (687,56 MW), Bahia (687,50 MW), Piauí (617,10 MW), Rio Grande do Sul (438,89 MW), Pernambuco (272,65 MW), Ceará (48,00 MW) e Santa Catarina (2,10 MW). Importante salientar que os estados de Pernambuco e Piauí mantiveram o incremento da capacidade eólica, como ocorreu em 2014 (ABEEOLICA, 2015).

Com um total de 349 usinas, o ano de 2015 terminou com 8.725,88 MW de potência eólica instalada, o que significou incremento de 46% de potência em relação a dezembro de 2014, quando a capacidade instalada era de 5.972,09 MW. Com acréscimo de 2,75 GW de capacidade instalada, o total eólico passou a configurar 6,2% da matriz elétrica brasileira, sendo responsável pela geração de 21,37 TWh. Os quatro estados com maior participação na geração eólica no respectivo ano foram Rio Grande do Norte (7,18 TWh), Ceará (4,62 TWh), Bahia (4,01 TWh) e Rio Grande do Sul (3,33 TWh) (ABEEOLICA, 2015).

De acordo com o relatório anual do *Global Wind Energy Council* (GWEC) do ano de 2015, o Brasil foi apontado como o quarto país com o maior crescimento em energia eólica no mundo naquele ano. Em termos mundiais, o País alcançou a 10ª posição dentre as maiores capacidades instaladas acumuladas e, com potencial para superar o nono colocado, a Itália, em pouco tempo. Nesse mesmo ano, o investimento total na indústria eólica foi de R\$ 16,5 bilhões. Deve ser ressaltado que nos últimos seis anos, o valor dos investimentos acumulados ultrapassa mais de R\$ 48 bilhões (ABEEOLICA, 2017).

No ano de 2016, foram instaladas 81 novas usinas eólicas, num total de 2.013,97 MW. A maioria dos novos empreendimentos contemplou a região Nordeste, nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Sul, na região Sul (ABEEOLICA, 2016).

Com 430 usinas no total, o ano de 2016 encerrou com 10,75 GW de potência eólica instalada (Tabela 3), um crescimento de 23,06%. Acrescida com 2,01 GW de nova capacidade instalada, o total eólico garantiu à fonte uma participação de 7,10% da matriz energética nacional (ABEEOLICA, 2016).

Tabela 3: Evolução da potência eólica instalada no Brasil.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Usinas em operação	68	108	142	238	349	430
Potência Acumulada (MW)	1.450	2.507,8	3.466,07	5.972,09	8.725,88	10.739,85

Fonte: ABEEOLICA (2016).

Em 2016, o ranking mundial elaborado pelo GWEC (*Global World Energy Council*) colocou o Brasil a frente da Itália, que ocupava nesse ano a nona posição. Em relação ao *ranking* da nova capacidade instalada no ano, o Brasil está na quinta posição (Figura 2), após a instalação de 2 GW de nova capacidade em 2016. Nesta categorização, o Brasil caiu uma posição, sendo ultrapassado pela Índia, que instalou 3,6 GW de nova capacidade em 2016. Outra informação relevante observada foi que o Brasil alcançou a 3ª posição com maior atrativo para destino de investimentos em energia renovável entre 58 países pesquisados (ABEEOLICA, 2016).

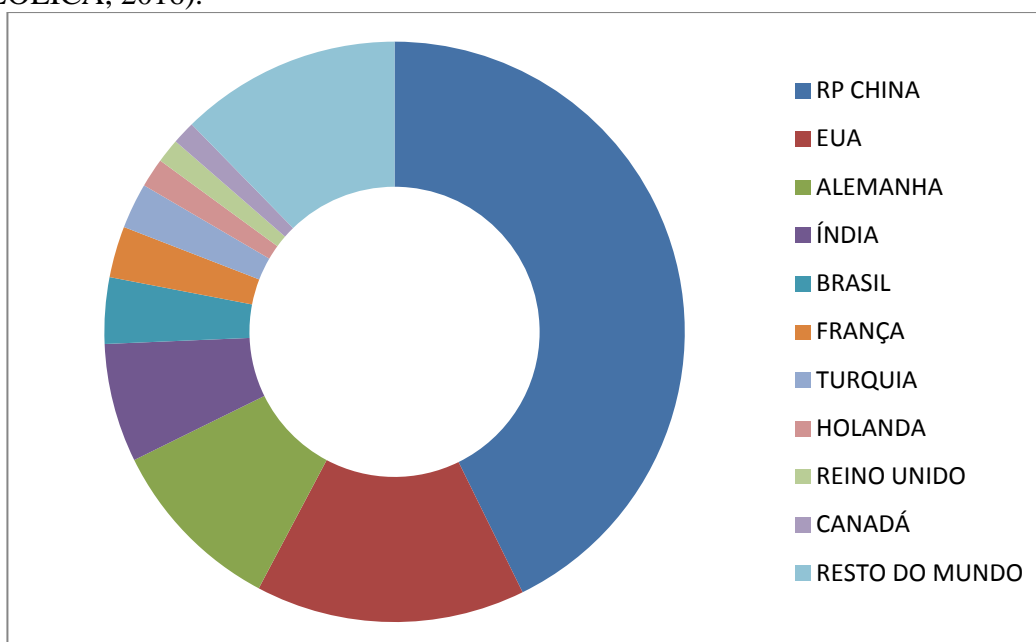


Figura 2: Ranking da Capacidade instalada de energia eólica em 2016. Fonte: GWEC apud ABEEOLICA (2016).

A capacidade instalada de 10,75 GW é composta por 10,22 GW de parques em operação comercial (95,11%), 0,17 GW de operação em teste (1,59%) e 0,35 GW de parques aptos a operar (3,30%). Ao todo, 33,15 TWh de energia eólica foram gerados ao longo de 2016. Rio Grande do Norte (10,59 TWh), Bahia (6,08 TWh), Ceará (5,87 TWh), Rio Grande do Sul (4,56 TWh) e Piauí (2,91 TWh) foram os cinco estados com maior geração em 2016 (ABEEOLICA, 2016).

O Rio Grande do Norte é o primeiro colocado no ranking nacional de geração por estado, seguido por Ceará, Bahia, Rio Grande do Sul, Piauí, Pernambuco, Santa Catarina, Paraíba, Rio de Janeiro, Sergipe e Paraná, o que garante a região Nordeste o primeiro lugar na geração e representatividade da fonte eólica no Brasil, seguido pelas regiões Sul e Sudeste, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Geração e Representatividade da Fonte Eólica por região do Brasil.

Região	2015		2016		% de crescimento
	Geração (TWh)	Representatividade	Geração (TWh)	Representatividade	
Sudeste	0,08	0,40%	0,07	0,20%	-10%
Sul	3,59	17,40%	4,83	15,10%	35%
Nordeste	16,95	82,20%	27,17	84,70%	60%
Total	20,62	--	32,07	--	55,50%

Fonte: Boletim Anual de Energia Eólica (2016).

Percebe-se na Tabela 4 que a região Sudeste sofreu leve alteração tanto em geração como em representatividade, a qual se deve ao fato de que a região Sudeste possui apenas uma planta instalada de geração eólica e a variação de energia, portanto, reflete apenas a condição climática da região, que foi ligeiramente menos favorável em 2016.

De acordo com o site oficial da ABEEOLICA, existem 468 usinas eólicas instaladas no Brasil, o que corresponde a 11,72 GW de capacidade instalada (equivalente a não emissão de 20.235.936 T/ano de CO₂), embora ainda existam 6,25 GW de capacidade em construção.

Importante elemento a ser considerado é a complementaridade da geração de energia hidro e eólico-elétrica, dado que a região Nordeste apresenta maior potencial eólico quando há diminuição de disponibilidade hídrica (ANEEL, 2009).

2.2 Potencial Eólico do Estado do Rio de Janeiro

De maneira histórica, o potencial eólico do estado do Rio de Janeiro (Figura 3) vem sendo aproveitado por meio de cataventos para uso nas áreas salinas das cidades de Cabo Frio e São Pedro D'Aldeia, localizados na região dos Lagos. Atualmente, os ventos do Estado também servem à geração de energia elétrica.

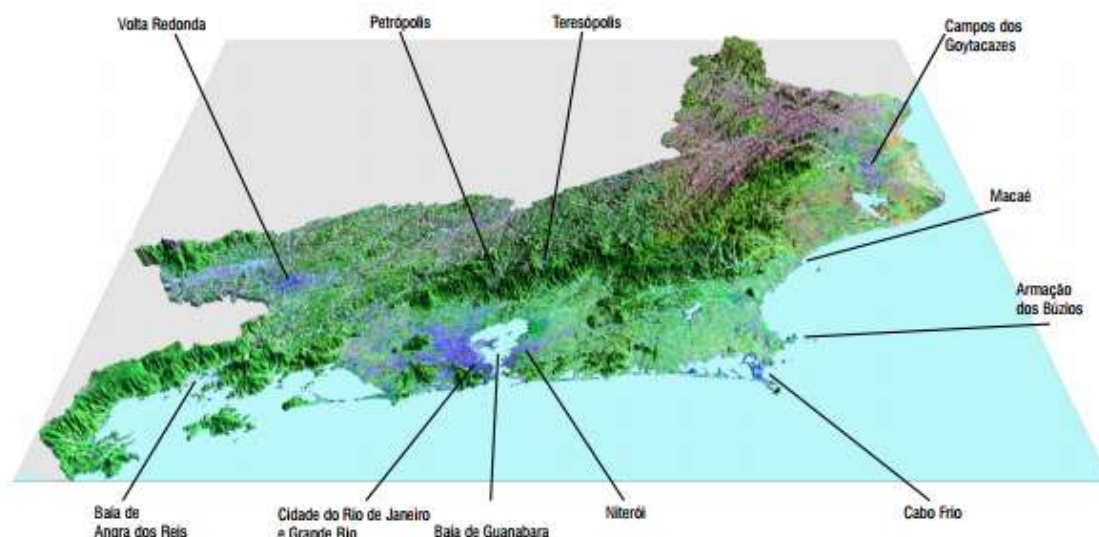


Figura 3: Vista em perspectiva do estado do Rio de Janeiro. Fonte: Atlas Eólico do Rio de Janeiro (2002).

As regiões que apresentam ventos médios anuais mais intensos no Estado localizam-se no litoral Norte Fluminense, na Região dos Lagos (Cabo Frio e Búzios), e também na região Serrana, polígono Pirai-Vassouras-Petrópolis. Os ventos mais intensos ocorrem de setembro a novembro, e os mais brandos, nos meses de abril a junho, conforme visto na Figura 4 (Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro, 2002).

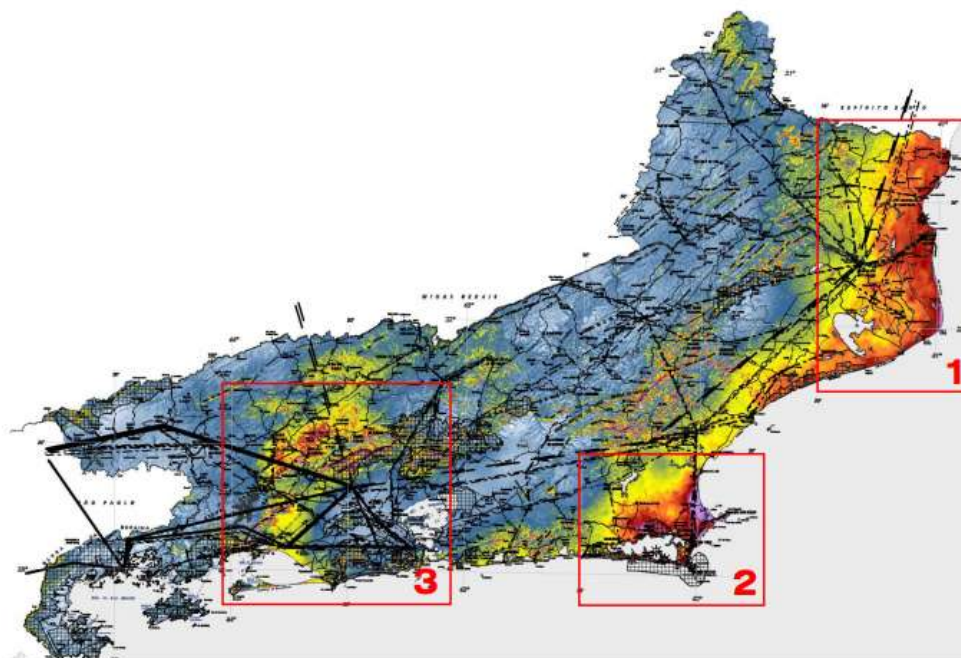


Figura 4: Áreas mais promissoras para instalação de empreendimentos eólico-elétricos no Rio de Janeiro. Fonte: Atlas Eólico do Rio de Janeiro (2002).

De acordo com o Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro, áreas em terra (*onshore*) com ventos iguais ou superiores a 7,0 m/s, com alturas de 50, 75 e 100 m, apresentam potencial estimado de 0,75 GW; 1,52 GW e 2,81 GW, respectivamente. Ao considerar um limiar de velocidade de 6,5 m/s, este potencial aumenta consideravelmente para 1,96 GW; 5,16 GW e 8,44 GW. Sobre a água (*offshore*), estima-se um potencial de 0,42 GW, 0,52 GW, 0,57 GW, para ventos iguais ou superiores a 6,5 m/s, nas três alturas supracitadas (Tabelas 5, 6 e 7) (Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro, 2002).

Tabela 5: Potencial eólico *onshore* e *offshore* do Estado do Rio de Janeiro.

Altura (m)	Onshore		Offshore
	Vento 7,0 m/s	Vento 6,5 m/s	
50	0.75 GW	1.96 GW	0.42 GW
75	1.52 GW	5.16 GW	0.52 GW
100	2.81 GW	8.44 GW	0.57 GW

Fonte: Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro (2002).

Tabela 6: Potencial Eólico *Onshore* do estado do Rio de Janeiro por integração por faixa de velocidade.

POTENCIAL EÓLICO ONSHORE					
Altura (m)	Vento (m/s)	Área (km²)	Potência Instalável (MW)	Fator de Capacidade	Energia Anual (GWh)
50	5.5-6.0	3792	5688	0,192	9556
	6.0-6.5	2728	4092	0,230	8257
	6.5-7.0	807	1210	0,269	2853
	7.0-7.5	268	402	0,304	1070
	7.5-8.0	111	167	0,334	488
	8.0-8.5	59	88	0,366	283
	> 8.5	59	89	0,414	323
75	5.5-6.0	4278	6417	0,220	12350
	6.0-6.5	3781	5671	0,267	13264
	6.5-7.0	2424	3636	0,307	9776
	7.0-7.5	640	960	0,344	2891
	7.5-8.0	218	326	0,374	1069
	8.0-8.5	85	128	0,399	446
	> 8.5	74	110	0,443	428
100	5.5-6.0	4534	6802	0,221	13148
	6.0-6.5	3633	5449	0,264	12598
	6.5-7.0	3751	5627	0,311	15329
	7.0-7.5	1315	1973	0,346	5983
	7.5-8.0	377	566	0,380	1884
	8.0-8.5	109	163	0,402	575
	> 8.5	74	111	0,441	430

Fonte: Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro (2002).

O Sistema Elétrico Brasileiro apresentava capacidade total instalada de 82,3 GW até o final de 2002, sendo o total de recursos hídricos inventariados e estimados no Brasil em 143,4 GW. Só o estado do Rio de Janeiro, possuía a época 5,54 GW de capacidade instalada, tendo adicionalmente, 2,63 GW de usinas termelétricas em construção. No ano 2000, o consumo de energia elétrica no Estado foi de 31,4 TWh ao passo que a estimativa de geração eólica anual é de 2,16 TWh, 4,84 TWh e 8,87 TWh nas alturas de 50, 75, e 100m, para faixas de velocidade acima de 7,0 m/s (Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro, 2002).

Tabela 7: Potencial Eólico *Offshore* do estado do Rio de Janeiro por integração por faixas de velocidade. (Continua).

POTENCIAL EÓLICO OFFSHORE					
Altura (m)	Vento (m/s)	Área (km²)	Potência Instalável (MW)	Fator de Capacidade	Energia Anual (GWh)
50	5.5-6.0	16	24	0,206	44
	6.0-6.5	98	146	0,240	308

Tabela 7. Continuação

	6.5-7.0	146	220	0,280	539
	7.0-7.5	98	146	0,319	409
	7.5-8.0	34	51	0,352	157
	> 8.0	0	0	0,000	0
	5.5-6.0	1	1	0,242	2
	6.0-6.5	45	67	0,279	163
75	6.5-7.0	163	245	0,316	679
	7.0-7.5	124	185	0,357	580
	7.5-8.0	59	89	0,395	308
	> 8.0	1	1	0,418	3
	5.5-6.0	0	0	0,000	0
	6.0-6.5	13	20	1,282	49
100	6.5-7.0	154	230	1,321	648
	7.0-7.5	146	219	1,357	684
	7.5-8.0	75	112	0,399	392
	> 8.0	5	7	0,421	25

Fonte: Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro (2002).

Em outubro de 2010, o primeiro parque eólico da Região Sudeste, denominado de Gargaú, foi inaugurado no município de São Francisco de Itabapoana, região Norte do estado do Rio de Janeiro, cerca de aproximadamente 350 km da capital. O município norte-fluminense é o segundo maior em extensão territorial do Estado (com cerca de 1.254 km²) e possui pouco mais de 41 mil habitantes (IBGE, 2017).

O Parque Eólico de Gargaú ocupa uma área de 500 ha de extensão, embora apenas 1,7 ha do total sejam de área construída. Cada uma das 17 torres, com 80 metros de altura, é composta por três pás de 30 m de extensão. A Praia de Gargaú, local escolhido para a construção deste Parque Eólico, concorreu com Arraial do Cabo, na Região dos Lagos, após cinco anos de análise técnica e estudos detalhados sobre os ventos das regiões. Além disso, a cidade norte-fluminense foi escolhida principalmente por ser uma planície e existirem poucas construções nas redondezas e o baixo impacto ambiental das construções. Este Parque tem capacidade de geração de 28 MW de energia por dia, o suficiente para abastecer uma cidade com cerca de 80 mil habitantes. Toda a energia produzida segue para uma central e depois é distribuída por todo o Brasil, dentro do sistema interligado nacional.

2.3 Regulamentação do Setor da Energia Eólica no Brasil: Programas de Incentivo à Energia Eólica

Em 1992, a primeira turbina eólica, com capacidade de 225 KW entrou em operação na América do Sul, localizada no arquipélago de Fernando de Noronha, no estado de Pernambuco, no Brasil. Portanto, com o começo da operação comercial do primeiro aerogerador instalado em território brasileiro, a energia eólica teve seus primeiros indícios. Tal operação foi possível devido a parceria entre a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), por meio do financiamento do instituto de pesquisas dinamarquês *Folkecenter*.

No entanto, nos dez anos seguintes, poucos avanços se sucederam na consolidação da energia eólica como alternativa para a geração de eletricidade no país. Principalmente por dois fatores: falta de políticas e o alto custo da tecnologia. Devido à crise energética de 2001, foi aprovada a criação do Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA) para incentivar a contratação de empreendimentos de geração de energia eólica no Brasil.

O PROEÓLICA, criado pela Resolução 24/2001 da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, tinha o objetivo de propiciar a implantação de 1.050 MW de energia a partir dos ventos até dezembro de 2003, com garantias de incentivos econômicos especiais a empreendimentos que tivessem autorização pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e que começassem a funcionar até dezembro de 2002. Em virtude desse Programa, mais de 3 GW (Gigawatts) de potência foram analisados em empresas de geração de eletricidade eólica (ALVES, 2009).

O principal objetivo do Programa era a contratação de 1.050 MW de projetos de energia eólica até o final de 2003, mas como não apresentou resultados satisfatórios, foi substituído pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Além de fomentar o desenvolvimento das fontes renováveis na matriz energética, o Programa facilitou a fixação da indústria de componentes e turbinas eólicas no país (Figura 5). Nesta fase, já se pensava na possibilidade da complementaridade sazonal entre fontes hídrica e eólica.

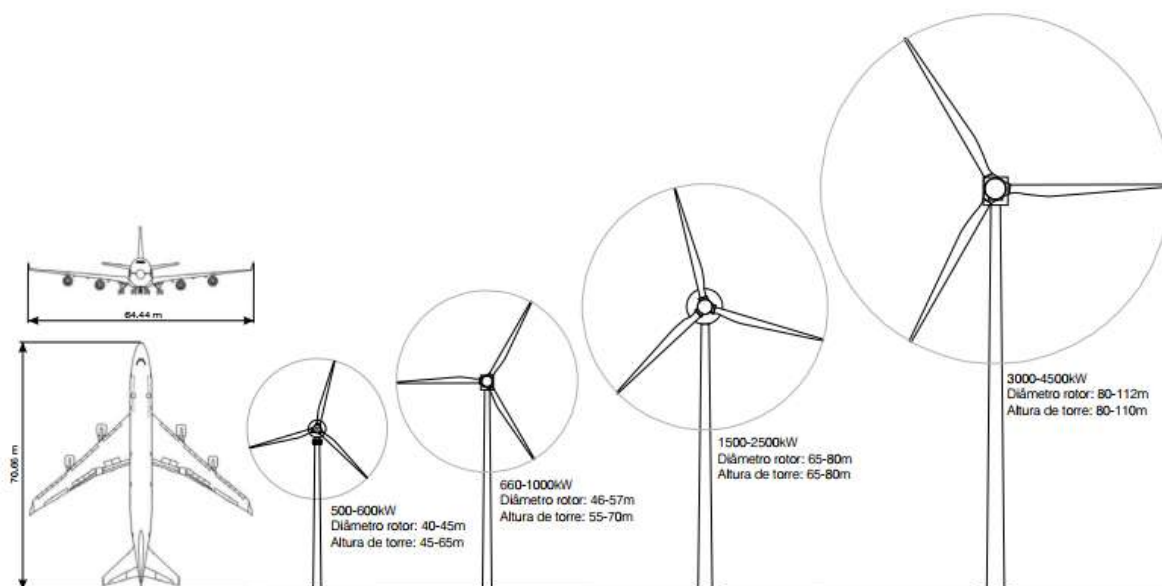


Figura 5: Dimensões tradicionais das turbinas eólicas no mercado atual comparado com as dimensões da aeronave *Boeing 747*. Fonte: Atlas Eólico do Rio de Janeiro (2002).

A energia eólica no Brasil tem recebido grandes investimentos, principalmente, desde o ano de 2010 após o primeiro leilão competitivo ocorrido em dezembro de 2009, e de sucessivos leilões de 2010 a 2013. Somando os 1,3 GW contratados no PROINFA, em 2004, aos resultados dos leilões competitivos, foram contratados 13,8 GW dessa fonte, com destaque para a contratação de 4,7 GW nos leilões de 2013.

Deve ser salientado que o setor eólico é extremamente novo no Brasil, uma vez que os parques eólicos nacionais cresceram substancialmente apenas nos últimos seis anos. Isso ocorreu principalmente em consequência da promoção de uma cadeia produtiva local eficiente com a produção de grande parte das máquinas e equipamentos utilizados no mercado eólico

em território brasileiro, além do cumprimento pelos fabricantes dos prazos fixados para a nacionalização de sua produção, de acordo com as regras de financiamento do Programa FINAME (Programa de Financiamento da Produção e Aquisição de Máquinas e Equipamentos Nacionais) do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) (ABEEOLICA, 2017).

De acordo com o site oficial da Associação Brasileira de Energia Eólica, durante a crise energética de 2015, o governo brasileiro economizou mais de R\$ 6 bilhões devido ao não acionamento das matrizes térmicas, visto que 10 % da energia necessária para abastecer o País foram originadas das plantas eólicas. A geração eólica, então, vem se tornando essencial para o sistema nacional, grande parte devido à política de incentivo fiscal que proporcionou benefícios para o Brasil ao desonerar parte da cadeia produtiva do setor.

O ano de 2016 encerrou com US\$ 5,4 bilhões investidos no setor eólico, enquanto que considerando o período de 2009 a 2016, esse número chega a US\$ 32 bilhões.

2.3.1 PROINFA

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), criado pela Lei 10.438 de 15 de abril de 2002, revisado na Lei nº 10.762 de 11 de novembro de 2003 e regulamentada pelo decreto 5.025 de março de 2004, foi o produto de discussões direcionadas à produção de energia por fontes alternativas no Brasil, desde a década de 1990.

Além disso, o Programa foi constituído com o intuito de aumentar a participação das fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) por meio de empreendimentos produtores de energia e assim, promover a diversificação da matriz energética do Brasil por meio de alternativas capazes de aumentar a segurança no fornecimento e abastecimento de eletricidade, além de viabilizar a valorização das características e potencialidades de cada local e região.

Com a garantia de contratação por 20 anos pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), o PROINFA prevê o total de 3.299,40 MW de capacidade instalada pela implantação de 144 usinas. Desse total, 1.191,24 MW são oriundos de 63 PCH, 1.422,92 MW de 54 usinas eólicas, e 685,24 MW de 27 usinas a base de biomassa.

Em virtude dos incentivos do PROINFA, especialmente à fonte eólica, o Brasil passou de aproximadamente 22 MW de energia eólica instalada para 414 MW instalados, e em pouco tempo, os demais MW previstos também serão instalados.

Em sua primeira fase, o Programa previa a instalação de 3300 MW em projetos de biomassa, PCH e eólica. Em sua segunda fase, o PROINFA estabeleceu que 10 % do total de energia elétrica demandada pelo País seja suprida por fontes renováveis de energia. Esta fase será feita por meio de leilões entre as três fontes que participam do Programa. O Programa compreende ainda mecanismo para a utilização de equipamentos nacionais, geração de empregos e diversificação da matriz energética brasileira (DUTRA; SZKLO, 2006).

De acordo com Dutra e Szklo (2006) a primeira chamada pública, realizada em 2004, resultou na contratação de 1.110 MW de energia eólica, 1.100 MW de PCH e 327 MW de biomassa, o que totalizou 2.527 MW contratados das três fontes. Ao todo foram 47 empreendimentos contratados para a fonte eólica e 59 projetos para PCH. O maior volume para a fonte obtida por PCH ficou com a região Centro-Oeste, com destaque para o estado do Mato Grosso que ficou com 165 MW do total de 379 MW. A região Nordeste se destacou ao apresentar o maior volume para a fonte eólica (482 MW), no qual o estado do Ceará obteve os resultados mais expressivos (264,3 MW).

Em relação a fonte de biomassa, foram contratados 48 empreendimentos na primeira chamada. O maior volume de capacidade selecionada, 508,78 MW, ficou com o estado de São

Paulo, seguidamente, vieram os estados do Paraná, Goiás, Pernambuco e Espírito Santo, com capacidades de 203, 85,62, 63,2 e 60,5 MW respectivamente. Na segunda chamada, dos 54 projetos apresentados que totalizavam 1.084 MW, 37 foram habilitados, correspondentes a 918 MW. Para a contratação, apenas 11 projetos dos considerados habilitados foram selecionados, o que totalizou 685 MW. Para complementar os 1.110 MW previstos, foram remanejados 92 MW para PCH e 323 MW para eólica (DUTRA; SZKLO, 2006).

Em 2016, o valor total das cotas para custeio do PROINFA foi de R\$ 3,6 bilhões. Neste ano, 2017, o valor será de R\$ 3,3 bilhões. Quanto ao montante de energia elétrica gerado pelas 131 usinas integrantes neste ano (60 pequenas centrais hidrelétricas, 52 eólicas e 19 térmicas movidas por biomassa), a potência produzida deverá atingir 11,2 milhões de MWh. Tais valores foram aprovados durante reunião da diretoria da ANEEL em dezembro de 2016.

O cálculo das cotas é baseado no Plano Anual do PROINFA (PAP) elaborado pela Eletrobrás e encaminhado para a ANEEL. O custo do Programa, cuja energia é contratada pela Eletrobrás, é pago por todos os consumidores finais do Sistema Interligado Nacional (SIN), exceto os classificados como baixa renda.

O valor de custeio do PROINFA é parcelado em cotas mensais, recolhidas por distribuidoras, transmissoras e cooperativas permissionárias e repassadas à Eletrobrás. Do valor total do custeio para o Programa, R\$ 3,04 bilhões vão ser recolhidos pelas distribuidoras, R\$ 247,4 milhões pelas transmissoras e R\$ 23,7 milhões pelas cooperativas (permissionárias). O cálculo das cotas foi definido com base no mercado verificado no SIN, no período de setembro de 2015 a agosto de 2016 (ANEEL, 2016).

2.3.2 Principais benefícios do PROINFA e da fonte de produção de energia eólica

Segundo o MME e a ABEEOLICA, o PROINFA apresenta benefícios e contribuições nas mais diversas áreas como a social, tecnológica, econômica, estratégica e socioambiental.

Na área social, o Programa prevê a geração de 150 mil postos de trabalho diretos e indiretos durante a construção e a operação, desconsiderando os de efeito-renda. No setor tecnológico, pressupõe investimentos de R\$ 4 bilhões na indústria nacional de equipamentos e materiais. E no setor econômico, espera investimentos privados em torno de R\$ 8,6 bilhões. Quanto aos benefícios estratégicos em se adotar a energia eólica no Sistema Interligado Nacional, o principal fator é a complementaridade energética sazonal entre os regimes hidrológico/eólico (NE) e hidrológico/biomassa (SE e S), em que para cada 100 MW médios produzidos por parques eólicos, economizam-se cerca de 40 m³/s de água na cascata do rio São Francisco.

A crise econômica que atingiu o Brasil no ano de 2016 apresentou consequente diminuição de demanda de energia. Consequentemente, isso resultou na sobrecontratação das distribuidoras e ressurgimento das questões relacionadas ao nível dos reservatórios das hidrelétricas. Uma vez que a matriz energética nacional é dependente da energia hidrelétrica, os baixos níveis nos reservatórios representam riscos para o suprimento. O reservatório de Sobradinho, por exemplo, iniciou o ano de 2017 com apenas 12% de sua capacidade, mesmo com redução de vazão (ABEEOLICA, 2016).

Fator importante relacionado aos ganhos sistêmicos da fonte eólica é a segurança fornecida ao subsistema Nordeste no que se refere à continuidade de geração. É comum as interligações do Nordeste com outras regiões sofrerem com queimadas, principalmente a partir de julho, portanto, desligamentos e apagões localizados eram recorrentes devido à danos sofridos por alguma linha de interligação atingida por queimadas. Como o Nordeste não tinha produção suficiente, sua dependência de importação de outros subsistemas era

grande. Com a implantação e desenvolvimento dos parques eólicos na região, o cenário mudou e o Nordeste passou não só a ser autossuficiente em energia, mas também passou a ser exportadora em alguns momentos (ABEEÓLICA, 2016).

Diretamente ligados à flexibilização de uma matriz privilegiada em opções, os ganhos sistêmicos do crescimento da fonte eólica são fundamentais para a diversificação da matriz energética uma vez que o Brasil é fortemente dependente das hidrelétricas. Em consequência das restrições ambientais no Brasil, não existem novos projetos para grandes hidrelétricas, cenário em que as eólicas aparecem como a opção mais barata para ampliar a capacidade instalada da matriz elétrica, de maneira segura e evitando os elevados custos com o acionamento das termelétricas mais dispendiosas. A diversificação da matriz proporcionada pelas centrais eólicas viabilizou ao sistema inúmeros benefícios, que evitou inclusive racionamento, por exemplo. Por essa razão uma matriz diversificada apresenta-se cada vez mais indispensável.

A energia produzida pelos ventos é renovável, não polui diretamente, conseqüentemente possui baixo impacto ambiental e contribui para que o Brasil cumpra seus objetivos no Acordo do Clima. Além disso, os parques eólicos não emitem CO₂ de forma direta, então em um ano, a fonte eólica evitaria a emissão de CO₂ para a atmosfera equivalente à quantidade produzida por praticamente toda a frota de carros da cidade de São Paulo (ABEEOLICA, 2016).

Com o incentivo à geração de energia eólica há estimativas de serem evitadas a emissão de 2,5 milhões de tCO₂/ano, o que proporciona potencial mercado para a Certificação de Redução de Emissão de Carbono, nos termos do Protocolo de Quioto (ABEEOLICA, 2016).

Outras vantagens que merecem atenção são a geração de baixo índice de desmatamento, que favorece a conservação da vegetação e da biodiversidade local; a tarifa da energia eólica apresenta um dos melhores custos-benefícios do mercado (de acordo com a CCEE, o preço médio atualizado da energia eólica contratada em todos os leilões é de R\$ 172,60 por MWh, atrás apenas das hidrelétricas com R\$ 153,70 por MWh).

Além disso, a utilização da energia eólica possibilita que o proprietário da terra mantenha suas plantações ou criação de animais, já que a ocupação efetiva da área varia entre 3 e 5%. Assim, gera renda e melhoria de vida para proprietários de terra com a possibilidade do arrendamento para colocação das torres, o que permite, de certa forma, a fixação e manutenção do homem do campo. Ademais, promove a diminuição de custo da tarifa de energia do consumidor ao comercializar uma energia competitiva e menos custosa que outras fontes.

De acordo com a ABEEÓLICA (2016) além dos benefícios anteriormente mencionados, a fonte eólica tem um importante impacto positivo nas comunidades aonde chega em virtude da realização de projetos culturais, ambientais, sociais e de saúde para desenvolvimento da população local. Cabe salientar que graças ao financiamento adquirido pelos investidores do BNDES, um percentual do investimento deve ser direcionado para projetos sociais. Entretanto, a maioria dos casos vai além desse compromisso e desenvolve projetos primordiais para a comunidade.

Abaixo estão listados alguns projetos realizados por empresas, apresentados no Boletim Anual de Geração Eólica no ano de 2016 (ABEEOLICA, 2016):

- Ações de inclusão digital, com capacitação para jovens e adultos, estimulando a empregabilidade e o empreendedorismo;
- Projetos que visam ampliar acesso da população à água segura para consumo e produção/criação de, por exemplo, peixes, ovinos e galinhas;

- Fortalecimento e ampliação das cadeias produtivas locais, como de coco, mandioca, milho, feijão, mel, leite, entre outros, com objetivo de melhorar a renda da população e promover o desenvolvimento sustentável;
- Projetos de promoção da saúde, com ações para saúde bucal e nutrição, por exemplo;
- Ações de incentivo para prática de esporte aliada ao acompanhamento escolar;
- Fomento ao turismo, arte, gastronomia e cultura regionais por meio de festivais, cursos, treinamentos e concursos;
- Estímulo à produção de artesanato local;
- Projetos educacionais com creches e escolas, por meio de iniciativas que visam o aumento da qualidade de vida estudantil de alunos de escolas públicas, utilizando ações de cidadania, de capacitação de educadores e de melhoria do ambiente escolar e promovendo discussões sobre desenvolvimento sustentável e energias renováveis.

Marcado pela concretização de diversas iniciativas de investidores da indústria eólica com as populações próximas aos seus empreendimentos, o ano de 2015 representou a materialização de novos projetos sociais nas regiões Nordeste e Sul e de publicações inéditas que agrupam saberes e tradições dessas comunidades apresentadas em todo o Brasil.

Importante salientar o contínuo compromisso dos investidores para a preservação dos achados arqueológicos nas áreas em que os parques eólicos são instalados. Em 2015, considerando apenas as cidades de Amontada e Taíba, no Ceará; Caldeirão Grande, no Piauí; Xangri-lá, localizado no estado do Rio Grande do Sul; e Ceará Mirim, no estado do Rio Grande do Norte, foram investidos aproximadamente R\$ 500 mil em projetos socioambientais que favoreceram 5 mil habitantes dessas comunidades.

2.4 Sustentabilidade na Produção das Energias Renováveis

As fontes de energia são classificadas em renováveis e não renováveis. As fontes renováveis são caracterizadas por provirem de recursos naturais e com capacidade de regeneração, ou seja, são consideradas inesgotáveis, sem a possibilidade de esgotamento dessa mesma fonte. Conhecidas como energias alternativas ou “energias limpas”, tais fontes, como eólica, solar, hidroelétrica, geotérmica, marés e biomassa não geram gases poluentes durante o processo de produção e, representam uma alternativa às fontes convencionais, que viabiliza a diversificação da matriz energética (VIANA et al., 2015).

Em contrapartida, as fontes de energia não renováveis são aquelas que utilizam reservas finitas de recursos naturais, sendo passíveis de esgotamento e não podem ser regeneradas em tempo útil pela intervenção humana ou pela natureza. A extração constante de recursos não renováveis provoca o esgotamento e exaustão física e econômica das reservas utilizadas, seja pela depleção natural ou pelo surgimento de novas tecnologias de fontes alternativas. Consideram-se fontes de energia não renováveis os combustíveis fósseis, como o petróleo, gás natural e carvão mineral e nucleares (VIANA et al., 2015).

A crescente pressão da degradação ambiental e deterioração dos recursos naturais foram fatores importantes na mudança de pensamento na qual os padrões de consumo não seriam mais suportados/sustentados pelo Planeta. Do conceito de ecodesenvolvimento, apresentado durante a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada na cidade de Estocolmo, Suécia, em 1972, surgiu o termo Desenvolvimento Sustentável.

Na Conferência de Estocolmo (*United Nations Conference on the Human Environment*) os principais temas abordados foram sobre poluição e preservação. Mas ao

serem inseridos no contexto das amplas diferenças entre os hemisférios Norte-Sul, entraves impediram avanços na construção das questões ambientais relevantes (MACHADO, 2006). Ao longo desta Conferência, a questão do meio ambiente era vista pelos países em desenvolvimento como limitadora ao crescimento econômico, dado principalmente a necessidade de redução no uso intensivo dos recursos naturais e diminuição da poluição gerada pelo setor industrial. Portanto, presumia-se que as preocupações relacionadas com o meio ambiente levantadas pelos governos do Norte representavam tentativa de limitar o desenvolvimento econômico do Sul (MACHADO, 2006).

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em colaboração com a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) e o Fundo Mundial para a Vida Selvagem (WWF) produziram o documento original, intitulado de “A Estratégia Mundial para a Conservação” (WORLD CONSERVATION STRATEGY, 1980), que determinou um precursor do conceito de desenvolvimento sustentável, ao introduzir pela primeira vez o termo “Desenvolvimento Sustentável” ao abordar a conservação de espécies e ecossistemas e a manutenção e preservação da vida no Planeta e diversidade biológica. É importante ressaltar que desde a fundação da UICN, em 1948, coordenou grande número de iniciativas ambientais em escala mundial, participando inclusive da produção da versão mais recente de “A Estratégia Mundial para a Conservação”, intitulada *Caring for the earth: A Strategy for Sustainable Living*.

No início da década de 1980, a ONU retomou o debate das questões ambientais ao nomear a primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, para chefiar a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que tinha o objetivo de promover audiências em todo o mundo e produzir um resultado formal das discussões. O documento final desses estudos chamou-se Nosso Futuro Comum ou Relatório Brundtland. Apresentado em 1987, propõe o desenvolvimento sustentável, ao evidenciar o conflito entre práticas ambientalmente corretas e os padrões de produção e consumo, enfatizando a necessidade de mudança na relação “ser humano-meio ambiente”. Essa proposta não sugere a estagnação do crescimento econômico, mas a harmonia com as questões ambientais e sociais.

Em consequência dos esforços realizados pela comissão, surgiu uma noção do que seria desenvolvimento sustentável, salientando a importância de cooperação internacional para solucionar os problemas de meio ambiente e desenvolvimento. Foi então que se propôs a definição mais conhecida de desenvolvimento sustentável: “modelo de desenvolvimento que satisfaz as necessidades das gerações presentes sem afetar a capacidade de gerações futuras de também satisfazer suas próprias necessidades” (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987).

Após tais avanços, buscou-se a elaboração mais concreta e completa de um novo paradigma no tratamento da questão ambiental em conjunto com o desenvolvimento econômico e o progresso social, firmado no conceito de desenvolvimento sustentável (MACHADO, 2006).

Realizada em junho de 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Rio-92, Eco-92 ou Cúpula da Terra reuniu países que reconheceram o conceito de desenvolvimento sustentável e estabeleceram ações para proteger o meio ambiente. Deliberou-se então que os países em desenvolvimento receberiam auxílio financeiro e tecnológico para reduzirem seus padrões de consumo, principalmente de combustíveis fósseis, e assim, atingirem um modelo de desenvolvimento mais sustentável. Como resultado dessa Conferência, foi criada a Agenda 21 na qual cada país definiu as bases para a preservação do meio ambiente em seu território.

Em 1997, por meio do Protocolo de Quioto, foi elaborado um acordo de cooperação internacional em defesa do meio ambiente. O Protocolo constituiu um tratado internacional com o objetivo principal de definir metas de redução de emissões de Gases de Efeito Estufa

(GEE), para os países desenvolvidos a fim de aliviar os impactos causados pelo aquecimento global.

Com a formulação do Protocolo de Quioto, em 1997, a preocupação com as mudanças climáticas e esforços para reduzir as emissões de gases de efeito estufa culminaram na intensificação pela busca por formas alternativas, como a energia eólica, além de garantir o suprimento necessário às atividades econômicas e geração de menos impactos ambientais (SIMAS, 2012).

A Cúpula de Johannesburgo, realizada em agosto de 2002, possuía como objetivo primordial a revisão das metas propostas pela Agenda 21 e direcionamento mais focados às ações que necessitavam de esforços adicionais para sua implementação, assim como ponderar sobre outros acordos e tratados da Rio-92. Essa nova Conferência Mundial não buscava mais uma definição para o conceito de desenvolvimento sustentável, mas a maneira possível de pôr em prática ações concretas para tal, portanto, levaria à determinação de um plano de ação global, apto a conciliar as necessidades essenciais de desenvolvimento econômico e social da humanidade, com a responsabilidade de manter o planeta habitável para as futuras gerações (SEQUINEL, 2002).

A Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, também conhecida como Rio+20, foi realizada em 2012 e teve o propósito de reafirmar o compromisso político assumido nas reuniões anteriores com o desenvolvimento sustentável, mediante avaliação dos avanços e dificuldades enfrentadas na implementação dos compromissos firmados nas principais cúpulas e encontros sobre a preservação do meio ambiente, além de novos debates sobre temas atuais e emergentes. O documento final da Conferência denominado “O Futuro que Queremos”, evidencia aspectos sociais e destaca o esforço coletivo no combate à pobreza e à fome, na proteção das florestas, dos oceanos e da biodiversidade, e o fomento à agricultura e à energia sustentável.

A Rio+20 também resultou no lançamento de processo intergovernamental para a discussão para a criação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a criação do Foro Político de Alto Nível sobre Desenvolvimento Sustentável e o incentivo ao fortalecimento do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (ONUBR, 2017).

A Agenda 2030 foi definida após amplo processo participativo lançado na Rio+20, e foi ratificada na Cúpula de Desenvolvimento Sustentável, em setembro de 2015, por 193 países-membros das Nações Unidas, inclusive o Brasil. Consiste em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, com objetivos integrados e indivisíveis, que mesclam, de forma equilibrada, as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental. Tais objetivos deverão orientar as políticas nacionais e as atividades de cooperação internacional a serem alcançados até o ano de 2030. (ONUBR, 2017)

Importante salientar que o sétimo objetivo da Agenda 2030 consiste em assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos. Portanto, mais do que nunca, se faz necessário a criação de maneiras de mensuração do desenvolvimento e metas alcançadas ou que ainda precisam de melhoramentos, assim como mecanismos de apoio e planejamento de futuras ações.

Em suma, o papel desempenhado pela ONU nos debates e acordos assinados em prol da desconstrução do modelo dominante economicista adotado para o desenvolvimento, foi fundamental para que consideráveis avanços fossem galgados pela comunidade internacional mesmo que de modo lento e gradual.

Diante de todo o debate acerca do desenvolvimento sustentável e suas variáveis, agora é possível dar o enfoque necessário para um dos segmentos mais estratégicos e essenciais para o desenvolvimento do país: o setor de produção de energia.

Para atender os diferentes níveis de demanda na geração de energia elétrica, a produção de eletricidade por meio das turbinas eólicas apresenta-se como alternativa às demais opções disponíveis no mercado. Pequenas centrais podem suprir pequenas localidades e regiões distantes da rede, cooperando na universalização do atendimento. Já as centrais de grande porte, apresentam grande potencial para atender parte do Sistema Interligado Nacional (SIN), com significativas vantagens: podem contribuir para a diminuição da emissão de poluentes atmosféricos, principalmente pelas usinas térmicas, reduzir a necessidade da construção de grandes reservatórios e reduzir riscos ocasionados pela sazonalidade hidrológica (ANEEL, 2005).

O chamado “mercado da energia verde” foi instituído no final da década de 1990 e apresenta expressivo crescimento principalmente nos países europeus. Esse mercado contribui consequentemente na implantação de usinas que utilizem fontes renováveis como matéria-prima e, colaboram na redução de emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros GEE.

De acordo com a Rede de Energias Renováveis para o Século XXI (REN21), países como Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão e aqueles da Europa produziam energia oriunda de usinas com fontes renováveis para abastecer mais de 4 milhões de consumidores. Tal desempenho foi favorecido por programas oficiais de governo, participação da iniciativa privada, projetos desenvolvidos por companhias de energia e aquisição compulsória de parte da produção por órgãos públicos.

Em 2008, diversos países, entre eles o Brasil, fomentavam diversos programas oficiais para a ampliação das fontes renováveis de energia. No entanto, a maioria deles voltados principalmente para aproveitamentos hídricos e biomassa que não apresentavam possibilidade de expansão considerável. Dessa forma, o grupo chamado de “Outras Fontes”, recebeu maior atenção ao serem favorecidas com novas pesquisas e aplicações.

O grupo “Outras Fontes” reúne elementos como o vento (energia eólica), Sol (energia solar), mar (energia maremotriz), geotérmica (calor existente no interior da Terra), esgoto, lixo, dejetos animais, entre outros, a qual todas ambientalmente corretas e renováveis. Assim, apresentam-se como alternativas para a diversificação e complementaridade da matriz energética, como também de “limpeza” do meio natural ao reduzir a dependência dos combustíveis fósseis responsáveis por grande parte da emissão dos gases causadores do aquecimento global.

2.5 Sustentabilidade Energética

2.5.1 Contextualização dos Indicadores de Sustentabilidade Energética

O debate acerca do conceito de desenvolvimento sustentável e das maneiras de alcançá-lo origina-se a partir da discussão sobre metodologias de medição do nível de desenvolvimento de determinada sociedade e de quão sustentáveis são os seus sistemas produtivos. Portanto, um acompanhamento apropriado do processo de sustentabilidade que integre as dimensões social, política, econômica e ecológica se faz de suma importância devido à complexidade das dimensões existentes no processo de desenvolvimento (MACHADO, 2006).

De acordo com Reis et al. (2005) é necessário a construção de indicadores de sustentabilidade para se mensurar o custo do desenvolvimento no presente e para as próximas gerações. Aliás, é indispensável abranger a evolução histórica, a situação atual e as perspectivas para o futuro neste processo de construção, inclusive o papel de todos os agentes envolvidos no processo (MACHADO, 2006).

Rabelo e Lima (2007) afirmam que a preocupação a respeito de indicadores de sustentabilidade é destacada internacionalmente, com aproximadamente 559 iniciativas de

indicadores de sustentabilidade. No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) trabalha com cerca de 59 indicadores de sustentabilidade, embora sua primeira publicação tenha ocorrido apenas com 50, em 2002. Os indicadores do IBGE se baseiam nos 58 indicadores da *Commission on Sustainable Development* (CSD) que vislumbram quatro dimensões: ambiental, social, econômica e institucional.

Ainda segundo Rabelo e Lima (2007), os indicadores de sustentabilidade são dinâmicos e mudam conforme a natureza do objeto de estudo. É necessário que as dimensões adotadas em cada estudo sejam contextualizadas e analisadas dentro de cada realidade, embora haja sugestões de dimensões a serem enquadradas dentro dos indicadores de sustentabilidade (social, econômica, ambiental e institucional). As autoras ressaltam ainda que “não existem indicadores de sustentabilidade definitivos, o que justifica, de certo modo, os diversos sistemas de indicadores existentes”.

O Ministério do Meio Ambiente adota, com algumas adaptações, a mesma metodologia referencial utilizada pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) para a elaboração de indicadores. Tal metodologia constitui-se de base conceitual reconhecida internacionalmente na produção de indicadores, acompanhando o modelo Pressão-Estado-Resposta (PER), a qual proporciona comparações dos avanços nacionais e os alcançados pelos demais países (MMA, 2017).

Uma das vantagens desse modelo é a aceitação pela comunidade internacional em razão da sua simplicidade, facilidade de uso como ferramenta eficaz no acompanhamento e monitoramento dos avanços atingidos e a aplicabilidade a diferentes níveis, escalas e atividades humanas (MMA, 2017).

Segundo o Guia de Diretrizes e Metodologias dos Indicadores de Sustentabilidade Energética da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) de 2005:

Os indicadores não são meramente dados; em vez disso, eles se estendem além das estatísticas básicas para fornecer uma compreensão mais profunda das principais questões e destacar as relações importantes que não são evidentes usando estatísticas básicas. São ferramentas essenciais para a comunicação de questões energéticas relacionadas ao desenvolvimento sustentável com os políticos e com o público, e para promover o diálogo institucional. Cada conjunto de indicadores expressa aspectos ou consequências da produção e uso de energia. Em conjunto, os indicadores dão uma imagem clara de todo o sistema, incluindo interligações e *trade-offs* entre várias dimensões do desenvolvimento sustentável, bem como as implicações das decisões e comportamentos atuais em longo prazo. Mudanças nos valores dos indicadores ao longo do tempo marca o progresso ou a falta dele em direção ao desenvolvimento sustentável (AIEA, 2005).

O Guia afirma ainda que nenhum conjunto de indicadores de energia pode ser definitivo, pois eles devem evoluir ao passar do tempo a fim de atender às condições, prioridades e capacidades específicas de cada País (AIEA, 2005).

Segundo Machado (2006), no que tange à questão energética, os indicadores devem expor a sustentabilidade energética de determinado país e/ou região, e desse modo servir de guia para as políticas de subsídios do setor, assim como instrumento de tomada de decisão para os agentes regulamentadores do setor.

O documento intitulado “Rumo ao Desenvolvimento Sustentável: Indicadores Ambientais” apresenta um panorama minucioso da situação dos países da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômicos (OCDE) a partir da década de 1980, no que se refere à evolução e tendências da produção e reaproveitamento de resíduos; emissão e redução de poluentes atmosféricos intensificadores do efeito estufa; qualidade dos recursos naturais e

diversidade biológica dos ecossistemas; padrões de produção e consumo; gastos e investimentos públicos em controle da poluição e incentivos ao desenvolvimento; produção de energia; crescimento demográfico; transporte e agricultura (OCDE, 2002).

Em relação à produção de energia, o estudo apresenta três indicadores: evolução da intensidade energética, estrutura energética e preços de energia. A intensidade energética destaca-se entre os fatores-chave para a análise de desempenho ambiental por expressar a evolução do rendimento energético e a produção de energia por unidade de PIB e por habitante, e dessa forma, demonstra o caráter sustentável do desenvolvimento econômico de determinado local. Ressalta-se aqui as variações de um país membro a outro (de um a três por unidade de PIB, de um a oito por habitante), na qual dependem da estrutura econômica e da geografia de cada país (clima, por exemplo) (OCDE, 2002).

A estrutura de produção de energia está diretamente relacionada aos modos de produção e consumo e repercussões ambientais. Tal indicador diz respeito a participação das diversas fontes de energia na produção mundial, como também sua evolução expressa em porcentagem de energia primária na produção total de energia. A estrutura energética tem notável incidência sobre os desempenhos ambientais em virtude da diversidade de implicações exercidas por cada fonte de energia sobre o meio ambiente.

O estudo salienta ainda que nos anos 80 e início dos anos 90, o aumento da produção total de energia primária foi seguido por modificações da participação das diferentes fontes de energia, enquanto houve redução da participação dos combustíveis sólidos e do petróleo, houve aumento na utilização do gás e de outras fontes. Tal tendência foi perceptível, sobretudo, nos países europeus que compõem a OCDE, embora o ritmo de evolução varie entre os países membros (OCDE, 2002).

O indicador “preços da energia”, se refere aos preços da energia para a indústria e residências, assim como à evolução dos preços reais no estágio do uso final. Os preços reais da energia para utilização final influenciam diretamente a demanda energética e a participação dos diferentes combustíveis, assim como acabam por determinar maiores pressões sobre o meio ambiente em decorrência das atividades de produção e de consumo da energia. Esse indicador favorece a internacionalização dos custos ambientais, uma vez que os preços possuem efeito global importante sobre a demanda de energia e que sua alta causa redução no consumo, e conseqüentemente as pressões sobre a natureza (OCDE, 2002)

Diante do exposto, o estudo afirma que os indicadores orientam de maneira geral para a baixa dos preços reais da energia na etapa final de utilização em grande parte dos países da OCDE, independente do ritmo de evolução variar de um país para outro. Os preços e taxas correspondentes, seja no setor industrial ou residencial, apresentam variações de acordo com cada país, para todos os tipos de energia (OCDE, 2002).

Uma rede internacional de economistas, especialistas em energia e analistas chamada HELIO INTERNACIONAL, tem desenvolvido pesquisas que monitoram o impacto das políticas energéticas no ecodesenvolvimento. A ideia da rede surgiu em 1996 durante os preparativos da RIO + 5. Segundo o site oficial da Rede, foram desenvolvidos 5 grupos de indicadores: *Sustainable Energy Watch* (SEW), *Vulnerability, Adaptation and Resilience* (VAR), *Traitement de l'information pour les politiques énergétiques et l'écodéveloppement* (TIPEE), *Smart Energy Path* (SEP) e HELIO “*Index for Investors*” (HIFI).

O primeiro grupo de indicadores de políticas, chamado de *Sustainable Energy Watch* (SEW) apresentado em 1997, mensurou o progresso em direção à sustentabilidade de um país ou região.

A SEW é uma metodologia simples baseada em dez indicadores para avaliar e monitorar a contribuição dos sistemas de energia para a sustentabilidade global. Coletivamente, os indicadores medem a contribuição de determinada política energética para a sustentabilidade ambiental, social, econômica, técnica e de governança. Essa metodologia

usa informações que já estão disponíveis no país. A metodologia SEW consiste em definir o desenvolvimento, avaliar a contribuição energética, questões políticas, abordagem, indicadores e aplicação mais ampla.

Em 1998 foi realizada, no Instituto de Tecnologia da Ásia (AIT), em Bangkok, a primeira oficina técnica de alcance. No entanto, a metodologia e os indicadores propostos foram validados apenas nos anos seguintes em *workshops* realizados na Universidade de Capetown (África do Sul) e em Paris (França).

Diante da ameaça dos impactos das mudanças climáticas, os indicadores SEW foram ampliados para incluir indicadores que possam medir a vulnerabilidade dos sistemas de energia às mudanças climáticas e analisar a capacidade de adaptação e resiliência de um país, e assim, avaliar a qualidade da governança. Este segundo conjunto de indicadores, formados em 2009, foi chamado de indicadores VAR, sigla em inglês para Vulnerabilidade, Adaptação e Resiliência.

Os indicadores TIPEE, do francês “*Traitement de l'information pour les politiques énergétiques et l'écodéveloppement*”, permitiram, no ano de 2011, que os agentes tomadores de decisão usassem informações disponíveis e de fácil acesso para avaliar se uma política energética atual, em condições climáticas em mudança, está corretamente direcionada para atingir os objetivos do ecodesenvolvimento.

Em 2013, foi desenvolvido o indicador *Smart Energy Path* (SEP), que inclui todas as partes interessadas e tomadores de decisão para que identifiquem um futuro viável a longo prazo, utilizando apenas, ou principalmente, recursos energéticos locais. Este planejamento de ecodesenvolvimento é feito usando “*backcasting*”, que é um planejamento de energia orientado a objetivos, ou seja, envolve imaginar um futuro e, em seguida, planejar uma maneira de chegar lá.

O indicador “*HELIO Index for Investors*” (HIFI), surgiu em 2014, para auxiliar os financiadores a identificar os países mais adequados para o investimento baseado em quanto as políticas energéticas de um país são propícias ao ecodesenvolvimento do mesmo. Tais investimentos seriam qualificados pelos países que praticam o SEP.

Outras ferramentas como o Conselho de Utilidades do Cidadão (tradução livre de *Citizen's Utilities Board*, sigla CUBE), permite a participação pública ao possibilitar que os consumidores de energia se tornem melhor informados e participem dos processos de planejamento energético como resultado dos mercados de energia europeus liberalizados.

A Rede HELIO INTERNACIONAL também possui outras duas ferramentas consideráveis: uma possibilita o desenvolvimento de iniciativas em torno da mudança climática, desenvolvimento sustentável e combate à pobreza, e a outra é uma metodologia de monitoramento para criar um padrão de excelência que auxilie na seleção de projetos de energia e clima compatíveis com o Protocolo de Quioto.

Rocha e Rossi (2003) afirmam que o estudo da aplicação das fontes renováveis na geração de energia elétrica deve passar pelas cinco dimensões de sustentabilidade propostas por Sachs (1986), uma vez que tais dimensões direcionam para uma avaliação crítica da matriz energética brasileira e amparam como referência para a análise de desempenho da adequação do setor eólico no setor de infraestrutura do país.

As dimensões propostas por Sachs são: a sustentabilidade ecológica, a sustentabilidade espacial; a sustentabilidade econômica; a sustentabilidade social e a sustentabilidade cultural (GUEDES et al., 2002 apud ROCHA e ROSSI, 2003).

A definição geral para a dimensão ecológica se baseia no princípio da sustentabilidade ecológica na qual deve-se potencializar o uso dos recursos naturais dos ecossistemas, mas reduzir os impactos negativos causados a eles (GUEDES et al., 2002 apud ROCHA e ROSSI, 2003).

Todos os empreendimentos do setor elétrico, inclusive os parques eólicos, podem ser divididos nas etapas de obtenção das matérias-primas, construção das instalações e operação dos sistemas. Colocando a cadeia produtiva a parte, é possível mensurar quanto de CO₂ é liberado à atmosfera por cada fonte de geração de energia e o quanto cada uma delas contribui, ou não, na redução do efeito estufa (ROCHA e ROSSI, 2003).

Durante a fase de construção das instalações dos parques eólicos, devido à utilização de motores de combustão interna para o deslocamento dos equipamentos e demais materiais de construção civil indispensáveis para a edificação das torres dos aerogeradores, há emissão de GEE's. Como ponto negativo na geração de energia eólica, o estudo salienta a interferência dos aerogeradores nas rotas migratórias de aves (WORLD ENERGY COUNCIL, 2003 apud ROCHA e ROSSI, 2003). Embora estudos produzidos pelo Ministério do Meio Ambiente da Dinamarca indiquem que as linhas de transmissão oferecem mais riscos às aves do que as turbinas eólicas (ROCHA et al, 2001 apud ROCHA e ROSSI, 2003).

Outros aspectos negativos também são destacados, como: o ruído emitido pelos aerogeradores, o efeito visual e de sombra causado pelas torres e a interferência eletromagnética em sinais de comunicação (WORLD ENERGY COUNCIL, 2003 apud ROCHA e ROSSI, 2003).

Ao considerar todos os aspectos anteriormente expostos, pode-se afirmar que a dimensão da sustentabilidade ecológica é favorável ao uso dos ventos como fonte de geração de energia, uma vez que o recurso vento existe em abundância na atmosfera e mesmo após passar pelas turbinas não sofre poluição; perde apenas sua energia cinética temporariamente. Assim, atende a um dos princípios da sustentabilidade ecológica ao estimular o uso do potencial dos recursos de modo a reduzir os impactos aos sistemas (ROCHA e ROSSI, 2003).

A dimensão espacial se fundamenta na sustentabilidade espacial, a qual pressupõe uma organização rural-urbana mais equilibrada e melhor distribuição geográfica de assentamentos humanos e atividades econômicas (GUEDES et al., 2002 apud ROCHA e ROSSI, 2003). A principal forma de obtenção de eletricidade no Brasil depende da construção de barragens e formação de lagos para a geração de energia via fonte hídrica, o que ocasiona deslocamentos de pessoas para outras áreas para a inundação dos reservatórios das centrais hidrelétricas. Tais populações sofrem sérios problemas de adaptação uma vez que são comumente alocadas em lugares onde não podem exercer suas ocupações habituais. Como é o caso das populações ribeirinhas que na maioria das vezes passaram gerações exercendo apenas a pesca, e ao serem deslocadas não podem mais praticar tal atividade e precisam sobreviver da atividade agrícola. Os parques eólicos, por sua vez, geralmente não prejudicam o uso da terra para outros fins, como a pecuária, agricultura e até mesmo a visitação monitorada dessas áreas (ROCHA e ROSSI, 2003).

Ainda de acordo com Rocha e Rossi (2003) foi inaugurado no Lago de Ontário, no Canadá, em 2002, o primeiro parque eólico urbano de grande porte para geração de eletricidade, que corrobora com a ideia de que a mudança da paisagem produzida pelos aerogeradores seja uma variável subjetiva e por isso imensurável, mas permanece como um ponto que merece ser questionado dentro da dimensão espacial.

Diferentemente da mudança da paisagem, a ocupação de terras pelas populações é uma variável mensurável e depende das dimensões do parque e da quantidade de equipamentos instalados, uma vez que é possível calcular a distância mínima necessária que um ser humano deve estar desses equipamentos por um longo período de tempo para que não haja nenhum dano à audição devido à poluição sonora.

Dessa forma, a diminuição da migração da população rural para o meio urbano torna-se, indiretamente, um ponto de destaque para o alcance da sustentabilidade espacial.

Por dispor de diversas áreas com elevado potencial para a geração de energia de grande porte, o Brasil apresenta condições favoráveis à descentralização das etapas de

fabricação dos equipamentos. Os grandes centros urbanos da região Sudeste, por exemplo, não apresentam condições significativas de potencial eólico, no entanto, de acordo com as especificidades adequadas de cada região há a possibilidade de instalação de empresas especializadas na manufatura e montagem dos aerogeradores, como a região Nordeste. Para que a descentralização das etapas de fabricação dos equipamentos até a produção em si da energia se torne mais um fator positivo da sustentabilidade espacial é necessária uma boa estratégia de planejamento e execução (ROCHA e ROSSI, 2003).

A dimensão econômica apresenta a sustentabilidade econômica como a “que deve ser possibilitada por uma alocação e gestão eficiente de recursos e por um fluxo regular de investimentos públicos e privados” (GUEDES et al., 2002 apud ROCHA e ROSSI, 2003).

Ao passar pela administração eficaz dos recursos econômicos, a procura contínua pela melhoria de conversão de energia, entre as quais a elétrica, se apresenta de suma importância uma vez que atividades pouco produtivas incorporam em seus custos características como falta de eficiências de conversão e transmissão além de perdas na geração, distribuição e fornecimento da energia elétrica.

A distribuição dos recursos, todavia, está diretamente ligada a elaborado planejamento do setor elétrico, assim como, na elaboração de políticas públicas que prioritariamente valorizem investimentos sérios e causadores de baixos danos ambientais.

A entrada no Brasil de empreendimentos de geração de energia por fonte eólica pode apresentar vantagem financeira tanto para o país como para os investidores, via regras atuais do mercado mundial de crédito de carbono. Visto o aumento contínuo das emissões de GEE, os países desenvolvidos precisam trocar créditos para permanecerem poluindo, o que permite que o país aproveite suas potencialidades para obtenção de energia “limpa”.

Ainda sob o ponto de vista do mercado dos créditos de carbono, a sustentabilidade econômica da geração de energia eólica pode ser vista como um ato global, principalmente ante as variáveis ambiental e social por contribuir no melhoramento da qualidade de vida de diversas populações e futuras gerações.

A sustentabilidade social, inserida no contexto da dimensão social, é entendida de acordo com Sachs (1986), como um alvo a ser atingido pelas populações para que estas alcancem o ápice do bem-estar dentro de suas próprias realidades, conseguindo a sociedade de um modo geral, reduzir as diferenças estabelecidas no presente, principalmente nos países considerados subdesenvolvidos ou em desenvolvimento (ROCHA e ROSSI, 2003).

Rocha e Rossi (2003) afirmam que uma das formas de proporcionar à sociedade ferramentas para que possam de maneira organizada decidir a respeito das condições de vida que desejam ter, é a possibilidade de exercer a cidadania. Nas questões referentes ao meio ambiente e às fontes de geração de energia, a sociedade brasileira tem tido participação razoavelmente ativa, exercendo, mesmo que de forma parcial, seu papel proferido nos conceitos acima citados.

Em vista disso, é função de sociedade brasileira encontrar a fonte de geração de energia mais adequada as necessidades de boa qualidade de vida, consumo e condições básicas de saúde para determinada comunidade (ROCHA e ROSSI, 2003).

Carapinheiro (2002) afirma que “A categoria do risco é uma construção social”, portanto, se uma comunidade, de forma consensual assumir o risco de utilizar fontes de geração de energia que interferem diretamente sobre o meio ambiente, esta estará se responsabilizando de forma consciente por este uso, exercitando o ponto máximo de sua cidadania (apud ROCHA e ROSSI, 2003).

A sustentabilidade cultural inserida no universo da dimensão cultural, baseia-se:

Na busca das raízes endógenas dos modelos de modernização e dos sistemas rurais de produção integrados, que privilegiam processos de mudanças no

seio de uma continuidade cultural e que transformam o desenvolvimento numa pluralidade de soluções particulares compromissadas com as especificidades dos ecossistemas, das culturas e dos diferentes locais (GUEDES et al, 2002 apud ROCHA e ROSSI, 2003).

Portanto, pode-se dizer que para a geração de energia eólio-elétrica, a dimensão cultural funciona como suporte conceitual às dimensões espacial e social. Especialmente por evidenciar a busca por particularidades naturais ou culturais, que asseguram a noção de preservação de costumes que ocasionalmente precisam ser resgatados e revitalizados, como por exemplo, o exercício da cidadania destacado na dimensão social (ROCHA e ROSSI, 2003).

2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS DA ENERGIA EÓLICA

De acordo com o artigo 1º da Resolução CONAMA 001/86, considera-se impacto ambiental:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais. (BRASIL, 1986).

O MMA, no ano de 2009, pesquisou entre os órgãos licenciadores de empreendimentos eólicos os principais impactos relacionados com a energia eólica. Tal estudo apresentou como potenciais impactos: efeitos sobre a fauna, paisagem, o uso do solo e ruído (excluindo-se os impactos das obras sobre as características físicas do solo). A Figura 6 ilustra os principais impactos associados aos empreendimentos eólicos (TOLMASQUIM, 2016).

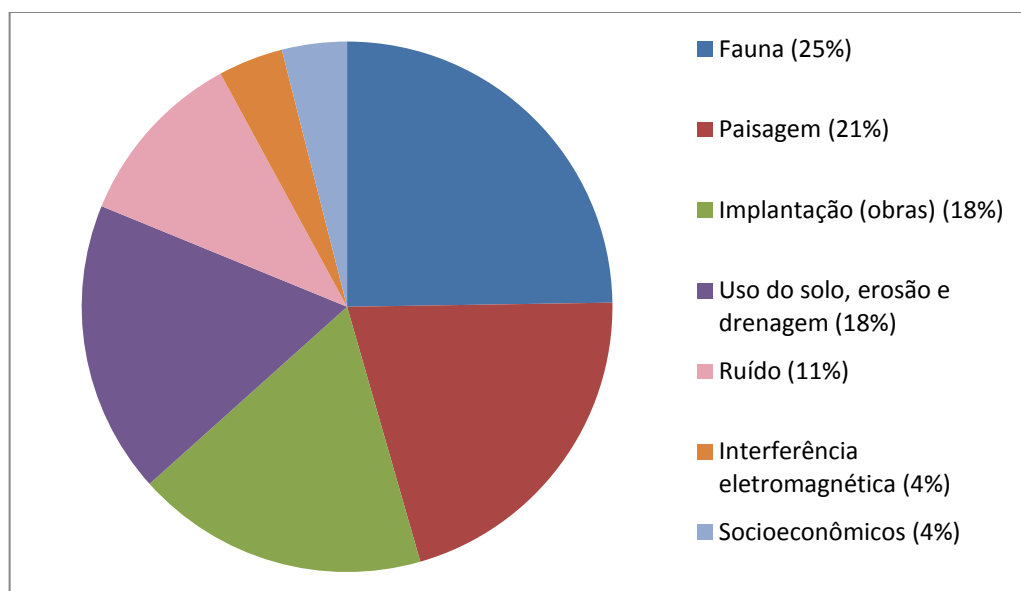


Figura 6: Impactos relacionados a componentes do meio ambiente na fase de implantação dos empreendimentos de geração eólica. Fonte: MMA, 2009.

Em vista do exposto acima, é de suma importância estudar os impactos negativos da implantação de parques eólicos por meio de estudos que avaliem todas as variáveis

ambientais, considerando não só os efeitos negativos ao meio ambiente como também formas de mitigação e redução de danos e compensações eventualmente necessárias.

Entretanto, nota-se que o aproveitamento energético do potencial eólico brasileiro apresenta inúmeras contribuições positivas sob a perspectiva das demandas ambientais e sociais em curso no mundo. Os maiores atrativos associados à geração de energia pela força dos ventos estão em seu caráter de fonte diretamente “limpa” de emissão de GEE, renovável e sustentável (SILVA, 2006).

Em mercados onde as fontes renováveis são preponderantes na composição da matriz de geração de eletricidade, como é o caso brasileiro, a vertente ambiental vinculada às emissões evitadas não é, por si só, o argumento determinante do estabelecimento de incentivos legislativos e de mercado à expansão da tecnologia eólio-elétrica, o que torna ímpar a contabilização de outros benefícios marginais de comprovada significância, no que concerne ao funcionamento do sistema elétrico e suas repercussões na tríade sócio-econômica-ambiental (SILVA, 2006).

A construção dos parques eólicos assim como seu processo simplificado de licenciamento ambiental apresenta-se como vantagem estratégica no suprimento de demandas emergenciais do setor elétrico uma vez que os processos citados ocorrem de forma mais rápida do que com as fontes convencionais (SILVA, 2006).

Outro aspecto analisado atualmente é a complementaridade entre as fontes hídrica e eólica tornando a tecnologia eólio-elétrica um atrativo relevante ao proporcionar geração elétrica descentralizada complementar com melhor nível de confiabilidade e estabilidade do sistema (SILVA, 2006).

Importante salientar que os impactos causados por determinado empreendimento de geração de energia não são iguais nas diferentes fases do projeto. Alguns desses danos são mais proibitivos, outros mais impactantes, e outros mais qualitativos e, ou quantitativos.

Barradas (2014) afirma ainda que:

O contexto socioambiental precisa ser abordado avaliando suas dimensões desde o projeto e não se concentrar apenas durante a fase de construção ou na fase de gerenciamento do empreendimento construído, a fim de abordar a perspectiva do ciclo de vida do empreendimento que envolve desde a fase de planejamento até a fase de descomissionamento (BARRADAS, 2014).

Um dos maiores impactos associados à fase de construção dos empreendimentos eólicos são a desocupação e uso da Terra, devido primordialmente a ocupação de uma área muito maior do que a que será realmente utilizada após a instalação das torres e também por causa de possíveis desmatamentos de grandes áreas e exposição do solo a obras de terraplanagem, compactação e instalação das turbinas (BARRADAS, 2014).

Lima et al. (2016) evidenciam que os principais impactos negativos de projetos de energia eólica na fase de operação são os causados à fauna e avifauna, efeitos visuais e paisagísticos, poluição sonora (ruído) e descontinuação da geração de emprego após a fase de implantação dos projetos.

Ressalta-se também que durante a fase de descomissionamento dos parques eólicos é preciso dar o destino correto para os materiais das usinas, uma vez que, todo o equipamento das turbinas é considerado sucata e as baterias que armazenam a energia durante o processo contem diversos elementos tóxicos, como chumbo, cádmio, cobre, zinco, mercúrio, dentre outros; que sem a destinação adequada podem apresentar riscos ao meio ambiente (GUENA, 2007).

Portanto, ponderações precisam ser feitas e os impactos precisam ser vistos e tratados de forma relativa e de acordo com as especificidades de cada localidade e região.

2.6.1 Gases intensificadores do Efeito Estufa

O fato de não emitir poluentes durante sua operação é um dos mais significativos benefícios que a energia eólica oferece ao meio ambiente. De acordo com Lima et al. (2016), 17,81 milhões de toneladas de CO₂ deixaram de ser emitidas à atmosfera em 2016 (Figura 7), a qual tal valor equivale à emissão anual de cerca de 12 milhões de automóveis.

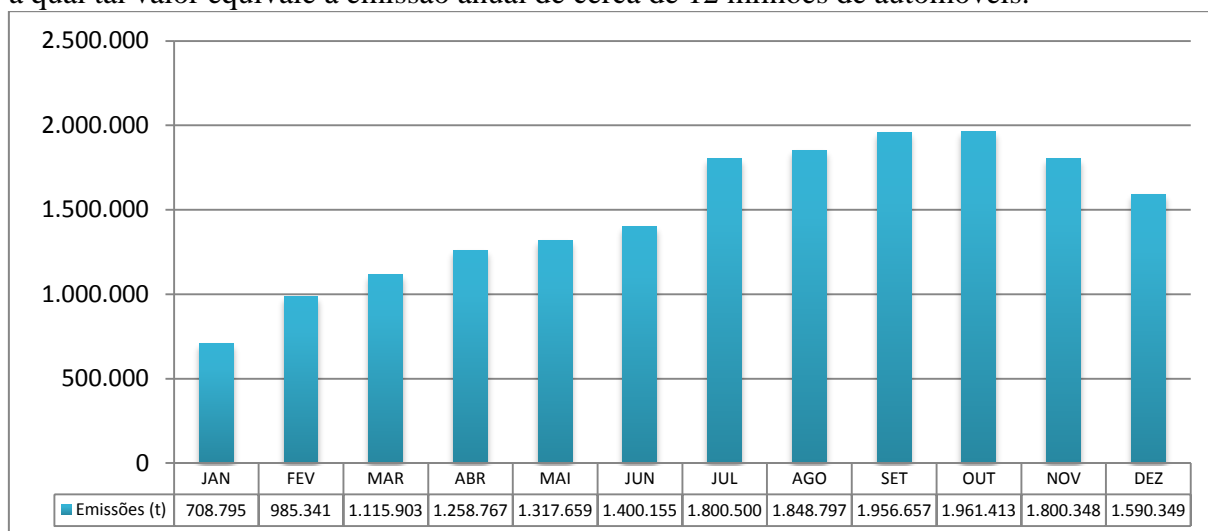


Figura 7: Emissões de CO₂ evitadas em 2016. Fonte: ABEEOLICA, 2016.

Os autores acima citados afirmam ainda que em termos de comparação, um parque eólico emite apenas 1/40 do total de emissões de CO₂ que seria produzido por um sistema de energia usando a queima de carvão, portanto, representando uma redução de 97,48% (LIMA et al, 2016).

Cabe ressaltar que no último século, as concentrações de CO₂ na atmosfera têm aumentado consideravelmente. Grande parte, em decorrência do incremento do uso dos combustíveis fósseis ao longo do processo do desenvolvimento humano, aumento da população e ampliação do consumo de bens e serviços, além das mudanças registradas quanto ao uso do solo. (SILVA, 2006).

Silva (2006) afirma que uma turbina eólica de 600 kW disponível no mercado, pode evitar emissões de CO₂ na ordem de 20.000 - 36.000 toneladas durante seus 20 anos de vida útil, ao substituir unidades termelétricas convencionais. Deve ser ressaltado que essencialmente tais valores dependem do regime de vento e do fator de capacidade no local de instalação.

2.6.2 Fauna e Avifauna

O impacto da instalação e operação de aerogeradores sobre a fauna está relacionado principalmente com o choque de pássaros e morcegos nas pás em movimento, ocasionando aumento da mortalidade desses animais. Além de ocasionar a alteração de locais de pouso, reprodução, alimentação, nidificação e rotas migratórias de algumas espécies da fauna terrestre e avifauna. Além disso, de maneira geral, os empreendimentos geram ruídos e movimentação de pessoas, contribuindo para o afugentamento da fauna e, conseqüentemente, mudanças na composição das comunidades bióticas.

A fim de minimizar esses efeitos em níveis toleráveis, a realização de estudos e planejamento prévios nos locais previstos para a implantação de projetos são extremamente necessários, analisando os aspectos de conservação da natureza, tais como: evitar a instalação de parques eólicos em locais importantes de habitat, evitar áreas de corredor de migração, adotar arranjo adequado das turbinas no parque eólico, usar torres de tipos apropriados (tubulares) e utilizar sistemas de transmissão subterrâneos (GARCIA et al., 2016; LIMA et al., 2016)

2.6.3 Poluição Sonora e Impacto Visual

A produção de ruídos está presente em todas as formas dinâmicas de conversão de energia (SILVA, 2006). A geração elétrica a partir da fonte eólica produz dois tipos de ruídos: (i) mecânico de engrenagens e geradores, e (ii) aerodinâmico, proveniente da rotação das pás. Tais sons causam diversos problemas relacionados à saúde das comunidades do entorno de empreendimentos eólicos, como por exemplo: distúrbios de sono, dores de cabeça, zumbido e, ou pressão nos ouvidos, náuseas, tonturas, dentre outros. (BARBOSA FILHO; DE AZEVEDO, 2013)

Algumas turbinas geram mais ruídos do que outras, isso ocorre devido às distintas tecnologias e gerações de turbinas que foram sendo postas no mercado ao longo do desenvolvimento da indústria eólio-elétrica. No entanto, com as novas tecnologias de mercado, os ruídos mecânicos têm sido consideravelmente diminuídos ou mesmo eliminados pelo uso de materiais de isolamento, enquanto que os ruídos aerodinâmicos com a otimização dos componentes ruidosos. (BARBOSA FILHO; DE AZEVEDO, 2013).

Outro impacto associado às eólicas é o visual, embora este tenha valoração altamente subjetiva pela grande maioria das pessoas. Os parques eólicos causam um impacto visual inevitável por causa de suas características técnicas (os acessos ao parque, os aerogeradores e as subestações), além de se situarem em locais que os evidenciam, como morros, colinas, litoral, dentre outros. Assim, a implantação de turbinas eólicas em larga escala produz evidente alteração na paisagem, cabendo uma avaliação prévia do local de cada possível instalação, cabendo à população local uma intervenção direta no processo de valoração desse impacto.

Há também os efeitos não subjetivos, como os causados pelo efeito estroboscópio, que consiste na intermitência entre luz e sombra que pode atingir alguns locais próximos aos parques eólicos. O efeito estroboscópio pode causar desde mudanças de humor até a intensificação de ataques em pessoas epiléticas (SILVA, 2006; GARCIA et al., 2016).

2.6.4 Uso do Solo

Silva (2006) ressalta que diferentemente das fontes convencionais de energia, a produção de energia eólica não altera o lençol freático por consumo, contaminação, geração de resíduos ou lançamentos, nem ocorre grandes movimentos de terras ou impedimento de seu uso.

No entanto, Barbosa Filho e De Azevedo (2013) defendem que quando em operação ou durante o processo de instalação, as usinas eólicas podem degradar consideravelmente a área ocupada devido ao processo de desmatamento, de topografia e de terraplanagem, uma vez que é necessária a criação e manutenção de uma rede de vias de acesso para os aerogeradores. Além disso, os autores afirmam que os impactos de terraplanagem estão associados com as atividades de retirada e soterramento da cobertura vegetal, abertura de cortes transversais e longitudinais e aterros para a criação de vias de acesso, área de manobra

de caminhões, pás mecânicas e tratores de esteira, assim como na preparação do terreno para a instalação do canteiro de obras.

Também associado à fase de implantação da usina, com o intuito de viabilizar o tráfego de veículos sobre a rede de vias de acesso aos aerogeradores, canteiro de obras, depósito de materiais, escritório e almoxarifado, ocorre a introdução de material sedimentar para a impermeabilização e compactação do solo causa impacto no solo. Adicionalmente, sítios arqueológicos também podem ser afetados pela implantação de parques eólicos, portanto, são necessários estudos técnicos prévios para o monitoramento dessas áreas (BARBOSA FILHO; DE AZEVEDO, 2013).

Para minimizar os efeitos de um conjunto de torre/turbina, a disposição das turbinas em um parque eólico deve obedecer certos padrões geométricos. Assim, os padrões de espaçamento entre as turbinas dependem do relevo do terreno e do perfil de vento quanto à sua direção predominante (SILVA, 2006).

De maneira geral, os parques eólicos comerciais ocupam área em torno de 4 ha por MW quando instalados em arranjos lineares de disposição das turbinas e até 32 ha por MW em sítios com arranjo de distanciamento de 10 por 10 vezes o diâmetro do rotor em locais de grandes variações na direção do vento. Logo, a ocupação da terra é um dos principais fatores indissociável à indústria da energia eólica. Assim, a valoração desse bem, perpassa da estrita produtividade da terra à consideração de outros fatores como sua vocação, predominância de usos e custos sociais e ambientais (SILVA, 2006).

2.6.5 Alterações Microclimáticas

Conforme os parques eólicos ficam maiores em extensão, maiores os efeitos climáticos locais. Lima et al. (2016) afirmam que alguns engenheiros ambientais especulam que a turbulência na esteira de turbinas eólicas pode causar alterações climáticas locais, misturando o ar para cima e para baixo, onde tal turbulência pode ser detectada a grandes distâncias. A turbulência na esteira das turbinas também pode alterar a direção do vento de alta velocidade na superfície, o que aumentaria a evaporação local, e conduziria a um aquecimento na superfície e arrefecimento em alturas mais elevadas (ASIF, 2009 apud LIMA et al., 2016).

2.6.6 Desenvolvimento Local

A energia eólica auxilia no desenvolvimento socioeconômico tanto em nível regional como local no Brasil. Segundo Simas (2012), as duas principais fases em que há maior contribuição na geração de empregos localmente são durante a construção dos parques, momento em que os empregos são mais numerosos, porém temporários; e posteriormente nas etapas de operação e manutenção, quando as vagas de empregos são mais escassas, mas permanentes, uma vez que ficarão pelo período de vida útil do projeto.

A autora mencionada acima ainda afirma que ambas as atividades apresentam elevado potencial para gerar empregos em nível local, principalmente, para “localidades rurais com baixas oportunidades de crescimento econômico”.

A geração de empregos indiretos ocorre por meio de serviços de apoio ao aumento da demanda populacional resultante da migração de profissionais de atividades especializadas, principalmente nos setores de alimentação e hotelaria, que resulta na dinamização da economia nos municípios. Todavia, o aumento em tais atividades está diretamente ligado à existência de parques em construção, etapa onde há maior geração de empregos. Finalizadas as obras, o número de empregados diminui consideravelmente impactando negativamente a economia local (SIMAS, 2012).

Portanto, conclui-se que apesar da chegada dos parques eólicos nas comunidades possa representar fonte geradora de empregos no período da construção, não se pode afirmar que essa geração de empregos seja substancialmente suficiente para possibilitar o desenvolvimento local (TRALDI, 2014 apud LIMA et al., 2016).

Contudo, a instalação de parques eólicos representa significativo impacto positivo nas comunidades do entorno do projeto devido à promoção de inúmeros projetos sociais, culturais, de saúde e ambientais para desenvolvimento da população local, como já mencionado anteriormente (item 2.2.2), devido ao percentual obrigatório destinado à projetos sociais em virtude do financiamento fornecido pelo BNDES.

Lima et al. (2016) corroboram a ideia de que projetos de energia de fontes renováveis fortalecem a coesão social, por se apresentarem como alternativa para atividades agrícolas tradicionais numa perspectiva de melhorias socioeconômicas, principalmente da população jovem, o que favorece a autoconfiança da população em geral, aumentando o nível de interesse e envolvimento em associações, por exemplo, que é peça chave na dimensão social da sustentabilidade, assim como melhorando a qualidade e a quantidade das relações sociais. Ainda que tais benefícios sejam menos tangíveis comparados a outros, eles são imprescindíveis para o desenvolvimento social local como também para conseguir o apoio da comunidade e agentes locais para o projeto.

Entretanto, é importante salientar que embora o projeto deva favorecer a comunidade do entorno de forma geral, o impacto positivo sobre a sustentabilidade social reside em que grupos menos favorecidos e de baixa renda sejam agraciados com geração de renda e emprego, o que leva ao aquecimento da economia local e a redução da pobreza (LIMA et al., 2016).

Segundo Lima et al. (2016) o conceito de “empregos verdes” ou “*green jobs*” vem ganhando notoriedade nas discussões a respeito dos benefícios socioeconômicos em uma economia de baixo carbono. De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), os “*green jobs*” são trabalhos na agricultura, manufatura, pesquisa e desenvolvimento, administração, e atividades de serviço que contribuem consideravelmente para preservar ou recuperar a qualidade ambiental. Especificamente, mas não exclusivamente, isso engloba trabalhos nas mais diversas áreas da economia como eficiência energética, tecnologias limpas, eficiência na utilização de recursos naturais, e em atividades de baixa emissão de GEE que ajudam a proteger ecossistemas e minimizar a poluição.

Ainda em nível local, um empreendimento de energia renovável pode causar impacto positivo no orçamento municipal uma vez que pode haver transferências diretas da empresa, como parte das compensações ambientais, maior atividade econômica induzida pelo projeto, como a construção de pousadas para hospedagem e restaurantes, e dessa forma contribui para aumento na base tributária local, aumentando, por conseguinte os recursos arrecadados (LIMA et al., 2016).

As localidades com maiores potenciais de vento no Brasil encontram-se em áreas de menor desenvolvimento econômico, assim, a instalação de usinas eólicas nesses locais se configuram como vetores de desenvolvimento regional gerando emprego e renda (SILVA, 2006).

2.6.7 Interferência eletromagnética

Em relação a possíveis interferências eletromagnéticas, pode-se dizer que o campo magnético de uma turbina eólica mesmo que de baixa intensidade, pode gerar interferência em transmissões de rádio, televisão, sistemas de comunicação e sistemas de navegação (LIMA et al, 2016).

2.6.8 Erosão do solo

Em relação à erosão do solo, algumas atividades como a construção de vias de acesso e escavação de fundações durante a fase de construção do parque eólico pode afetar o biossistema local, caso áreas vegetadas na superfície sejam removidas, deixando o solo exposto a intempéries da natureza, como fortes chuvas e ventos, causando a erosão do solo (LIMA et al., 2016) e, pode contribuir para o carreamento de sólidos até corpos hídricos próximos, aumentando o nível de turbidez, bem como para o assoreamento dos corpos de drenagem existentes.

2.6.9 Recursos hídricos

Durante a fase de implantação do empreendimento, a qualidade das águas superficiais, lençol freático e nascentes de corpos d'água podem sofrer alterações, principalmente devido ao transporte de sedimentos e lançamento inadequado de efluentes, acarretando em modificações de suas características físico-químicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo caracteriza-se como pesquisa descritiva e bibliográfica (JUNG, 2003) e foi organizada em três etapas:

- (1) pesquisas bibliográficas e documentais com o intuito de construir uma visão panorâmica dos principais conjuntos de indicadores de sustentabilidade utilizados por instituições e empresas ligadas à pesquisa no setor energético;
- (2) identificação de sistemas de indicadores de sustentabilidade energética encontrados na literatura disponível;
- (3) elaboração e adaptação de indicadores de sustentabilidade energética às especificidades do estado do Rio de Janeiro, de acordo com as localidades para a construção de plantas eólicas para auxiliar no planejamento e tomada de decisão, assim como, na mensuração dos impactos causados pela construção e operação de usinas eólicas a fim de direcionar estratégias para o alcance do desenvolvimento sustentável.

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo tem foco principal o estado do Rio de Janeiro, que se localiza na região Sudeste do Brasil, entre as longitudes 40°57'28" e 44°53'19" W e latitudes 20°45'46" e 23°22'46" S. O Estado faz fronteira com os estados do Espírito Santo (ES), São Paulo (SP) e Minas Gerais (MG) e o Oceano Atlântico (Figura 8). Seus pontos extremos abrangem distâncias de 408 km no sentido Leste-Oeste e 285 km no sentido Norte-Sul (Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro, 2002).

O litoral do Estado possui 636 km de extensão, com alternância de planícies costeiras com diferentes formas de praias, lagoas e baías. O relevo do Rio de Janeiro é complexo, formado por regiões de baixadas, como a Baixada Fluminense, e montanhas ou morros, como a Serra do Mar e da Mantiqueira. Na área territorial de 43.781 km², habita uma população de aproximadamente 16 milhões de pessoas (IBGE, 2017), das quais 96% em áreas urbanas e 4% em áreas rurais. (Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro, 2002).

O Estado apresenta clima com verões quentes e chuvosos, e inverno frio e seco. A temperatura do ar média anual varia de 21 a 27 °C. As menores temperaturas do ar mensal do Estado são observadas em julho, enquanto as maiores ocorrem em fevereiro (ARAÚJO et al., 2010). O Rio de Janeiro apresenta padrões espaciais de precipitação influenciados por processos orográficos e convectivos, que resultam em menores precipitações mensais entre os meses de julho e agosto, enquanto as maiores são observadas em dezembro e janeiro, resultadas principalmente dos sistemas frontais associados à convecção tropical (CORREIA et al., 2011).



Figura 8: Localização do Estado do Rio de Janeiro na região Sudeste do Brasil. Fonte: RIO DE JANEIRO, 2016.

De acordo com o Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro (2002) as principais áreas potenciais para a instalação de empreendimentos eólio-elétricos no Rio de Janeiro estão classificadas em três, conforme abaixo.

- **Área 1 - Litoral Norte Fluminense**

Essa área foi caracterizada por extensa planície costeira, baixa rugosidade e regimes de vento propícios à aproveitamentos eólicos, com velocidades médias anuais em torno de 6,5 m/s a 50 m de altura nas melhores áreas. Por apresentar baixa densidade demográfica e maior distância de grandes subestações, tem elevado potencial para grandes usinas eólicas (dezenas a centenas de Megawatts), necessárias para diluir os custos da interligação ao sistema elétrico regional. Os principais centros de consumo na região são os municípios de Campos dos Goytacazes, São Francisco de Itabapoana e São João da Barra (Tabela 8).

Tabela 8: Potencial Eólico Estimado por integração por faixas de velocidade para Área 1. (Continua).

POTENCIAL EÓLICO DO LITORAL NORTE-FLUMINENSE (ÁREA 1)					
Altura (m)	Vento (m/s)	Área (km²)	Potência Instalável (MW)	Fator de Capacidade	Energia Anual (GWh)
50	5.5-6.0	1619	2429	0.193	4106
	6.0-6.5	1570	2355	0.231	4759

Tabela 8. Continuação.

	6.5-7.0	242	362	0.269	854
	7.0-7.5	27	41	0.315	112
	7.5-8.0	4	6	0.353	20
	8.0-8.5	1	1	0.385	5
	> 8.5	1	1	0.434	4
	5.5-6.0	1071	1606	0.218	3064
	6.0-6.5	1815	2722	0.272	6484
	6.5-7.0	1398	2097	0.310	5700
75	7.0-7.5	112	167	0.352	515
	7.5-8.0	9	13	0.394	46
	8.0-8.5	1	2	0.422	7
	> 8.5	1	1	0.464	4
	5.5-6.0	1024	1535	0.221	2977
	6.0-6.5	1008	1513	0.267	3540
	6.5-7.0	2285	3428	0.315	9463
100	7.0-7.5	594	892	0.350	2730
	7.5-8.0	18	28	0.395	96
	8.0-8.5	1	2	0.421	8
	> 8.5	1	1	0.459	4

Fonte: Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro (2002).

- **Área 2 - Cabo Frio e Búzios, Região dos Lagos**

Área litorânea com paisagem esplêndida, possui densidade demográfica relativamente elevada, próxima de subestações de médio e grande porte, além de apresentar em suas melhores áreas velocidades médias anuais próximas de 7,0 m/s com 50 m de altura, conforme Tabela 9. Também apresenta potencial para usinas eólicas de dezenas até centenas de Megawatts, espalhadas oportunamente entre diversas áreas geográficas existentes. Embora apresente predisposição para custos elevados de terreno para este tipo de empreendimento, por estar perto de subestações, apresenta menos custos de interligação ao sistema elétrico.

Tabela 9: Potencial Eólico Estimado por integração por faixas de velocidade para Área 2 . (Continua).

POTENCIAL EÓLICO DA REGIÃO DOS LAGOS (ÁREA 2)					
Altura (m)	Vento (m/s)	Área (km²)	Potência Instalável (MW)	Fator de Capacidade	Energia Anual (GWh)
	5.5-6.0	762	1143	0.193	1936
	6.0-6.5	468	702	0.235	1445
50	6.5-7.0	283	425	0.276	1028
	7.0-7.5	93	140	0.312	382
	7.5-8.0	22	33	0.341	100

Tabela 9. Continuação.

	8.0-8.5	11	17	0.376	56
	> 8.5	8	13	0.423	47
	5.5-6.0	1014	1521	0.223	2975
	6.0-6.5	696	1044	0.267	2445
	6.5-7.0	462	693	0.311	1885
75	7.0-7.5	289	434	0.353	1342
	7.5-8.0	89	134	0.385	452
	8.0-8.5	18	27	0.413	97
	> 8.5	12	18	0.456	72
	5.5-6.0	886	1329	0.225	2615
	6.0-6.5	928	1392	0.266	3247
	6.5-7.0	567	851	0.313	2331
100	7.0-7.5	385	578	0.354	1792
	7.5-8.0	206	308	0.391	1056
	8.0-8.5	31	46	0.416	168
	> 8.5	13	20	0.454	79

Fonte: Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro (2002).

- **Área 3 - Polígono Pirai-Vassouras-Petrópolis, Região Serrana**

Com velocidades médias anuais de 6,0 a 6,5 m/s nos melhores locais, e 7,5 m/s em lugares mais elevados, apresenta regiões favoráveis as usinas eólicas de pequeno a médio porte (até poucas dezenas de Megawatts). Como são locais com relevos mais complexos, podem existir possíveis dificuldades de acesso para transporte e montagem de turbinas, interligação ao sistema elétrico e subestações eventualmente distantes (Tabela 10).

Tabela 10: Potencial Eólico Estimado por integração por faixas de velocidade para Área 3. (Continua).

POTENCIAL EÓLICO DA REGIÃO DA REGIÃO SERRANA (ÁREA 3)					
Altura (m)	Vento (m/s)	Área (km²)	Potência Instalável (MW)	Fator de Capacidade	Energia Anual (GWh)
	5.5-6.0	551	827	0.196	1420
	6.0-6.5	286	428	0.232	870
	6.5-7.0	140	209	0.266	488
50	7.0-7.5	69	103	0.297	267
	7.5-8.0	38	56	0.328	162
	8.0-8.5	19	29	0.358	91
	> 8.5	26	38	0.410	137
	5.5-6.0	946	1419	0.225	2795
75	6.0-6.5	513	770	0.261	1764

Tabela 10. Continuação.

	6.5-7.0	284	426	0.297	1106
	7.0-7.5	130	195	0.328	562
	7.5-8.0	59	88	0.357	275
	8.0-8.5	31	46	0.387	156
	> 8.5	33	50	0.436	190
	5.5-6.0	1078	1617	0.227	3220
	6.0-6.5	721	1081	0.263	2492
	6.5-7.0	404	607	0.298	1584
100	7.0-7.5	203	304	0.330	881
	7.5-8.0	82	123	0.358	387
	8.0-8.5	38	57	0.388	194
	> 8.5	35	53	0.435	201

Fonte: Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro (2002).

3.2 Procedimentos Metodológicos

3.2.1 Pesquisa bibliográfica

Para a realização do estudo foi feito levantamento bibliográfico em artigos, teses/dissertações, atlas, notas técnicas, relatórios, boletins e consultas aos centros de pesquisas, órgãos governamentais e programas que fomentam a pesquisa no setor energético. Também foram consultados os bancos de dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) por meio do Banco de Informações de Geração (BIG), e boletins e relatórios anuais da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA).

Buscou-se principalmente trabalhos que tratassem assuntos relacionados a “energia e sustentabilidade”, “sustentabilidade energética”, “desenvolvimento sustentável na produção de energia elétrica”, “meio ambiente e energia”, “indicadores de sustentabilidade no setor energético”, “indicadores ambientais em empreendimentos eólicos”, “energia eólica no Brasil”, “geração de energia elétrica por fonte eólica”, “indicadores de sustentabilidade”, “energia eólica e desenvolvimento sustentável”, “impactos ambientais da produção de energia eólica”.

A partir dos documentos estudados e dados coletados foi possível à compreensão dos conceitos pertinentes a produção de energias renováveis, desenvolvimento sustentável e indicadores de sustentabilidade, assim como estabelecer visão panorâmica do setor elétrico de energia eólica no Brasil.

3.2.2 Identificação de sistemas de indicadores de sustentabilidade energética

Posteriormente ao levantamento de pesquisas pertinentes à geração de energia a partir da fonte eólica no Brasil e os principais impactos ambientais ocasionados nas fases de implantação e operação de usinas eólicas, foi realizado o estudo dos indicadores de sustentabilidade aplicados à geração de energia elétrica, com enfoque principalmente aos indicadores que pudessem ser relacionados à energia eólica.

Com base nos resultados da pesquisa realizada, a triagem dos conteúdos foi feita da seguinte forma: 1) Averiguou-se a conformidade dos conteúdos encontrados com o tema da dissertação, excluindo conteúdos referentes a outras disciplinas, como por exemplo, a psicologia, arquitetura e engenharia; 2) Foram consideradas apenas obras que tratassem pelo menos as três dimensões principais do desenvolvimento sustentável: social, econômica e ambiental para que as análises não se limitassem apenas a uma ou outra dimensão.

3.2.3 Elaboração dos indicadores de sustentabilidade

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017), indicadores são informações quantificadas, de caráter científico, de fácil compreensão empregadas nos processos de decisão em todos os níveis da sociedade, úteis como instrumentos de avaliação de determinados fenômenos, que apresentam suas tendências e progressos que se alteram ao longo do tempo. Permitem a simplificação do número de informações para se lidar com dada realidade por representar uma medida que ilustra e comunica um conjunto de fenômenos que levem a redução de investimentos em tempo e recursos financeiros.

Indicadores ambientais são estatísticas selecionadas que representam ou resumem alguns aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas. Apresentam-se, dessa forma, como ferramentas imprescindíveis para acompanhamento e definição das políticas, ações e estratégias do MMA. Destaca-se ainda, sua relevância para a transparência das ações executadas pelo Poder Público junto à sociedade.

Outro ponto importante a respeito dos indicadores é o acompanhamento regular da gestão ambiental brasileira, tendo em vista que os indicadores facilitam avaliar o estado do meio ambiente, o que favorece o melhor encaminhamento das tomadas de decisões e o fomento às políticas de gestão ambiental em diferentes níveis.

A elaboração dos indicadores aqui propostos foi resultado da combinação de indicadores já utilizados por órgãos/instituições do setor energético e criação/adaptação dos indicadores propostos pela Agência Internacional de Energia Atômica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento sustentável trata-se primordialmente da melhoria da qualidade de vida de maneira que possa ser sustentado econômica e ambientalmente em longo prazo. Por isso, as três principais dimensões do desenvolvimento sustentável se apoiam no social, econômico e ambiental.

Os indicadores de sustentabilidade, portanto, precisam ser selecionados, interpretados e adaptados de acordo com os contextos de cada economia e dinâmica de desenvolvimento local. E como os indicadores são dinâmicos e mudam com o passar do tempo, apresentam-se como bons sinalizadores do progresso, auxiliando políticas e investimentos em energia e ações favoráveis ao meio ambiente.

Conforme exposto nos capítulos anteriores, foi identificado que a maioria das instituições ligadas à pesquisa sobre energia pesquisada utiliza os Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável propostos pela AIEA.

Portanto, para este trabalho foram escolhidos IEDS da AIEA, assim como foram elaborados e adaptados indicadores de acordo com as peculiaridades do Estado e do setor de energia eólica. Definiu-se que os 27 (vinte e sete) indicadores seriam divididos nas três principais dimensões do desenvolvimento sustentável: social, econômica e ambiental. E que cada dimensão seria subdividida em temas relevantes à sua área.

Também são apresentados os objetivos de cada indicador, a qual será explicitada sua principal função e relevância para o alcance do Desenvolvimento. Em seguida, apresentam-se os parâmetros para o cálculo e avaliação dos indicadores.

4.1 Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental Energética

O documento intitulado “*Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*” da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) em parceria com a Agência Internacional de Energia (AIE), o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da ONU (UNDESA), Agência de Estatísticas da Europa (EUROSTAT) e a Agência do Meio Ambiente da Europa (EEA), apresenta um conjunto de 30 Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável (IEDS) com metodologias e diretrizes correspondentes. Alguns destes indicadores se concentram na prestação de serviços energéticos essenciais para reduzir a pobreza e melhorar as condições de vida, enquanto os demais indicadores aplicam-se aos efeitos ambientais.

Os 30 IEDS foram classificados em três dimensões, sete temas e dezenove subtemas conforme a Quadros 1 e 2.

De acordo com Almeida (2016) foram identificadas 19 instituições ligadas à pesquisas sobre energia, em diversos países: *Helio International* (França), *Hydro-Québec* (Canadá), *Agency for Natural Resources and Energy*; *Federation of Electric Power Companies of Japan*; e *Ministry of Economy, Trade and Industry* (Japão), *Energy Foundation China* (China), *Shakti Sustainable Energy Foundation* (Índia), *European Statistics* (Europa), *International Atomic Energy Agency*; *International Energy Agency*; *Intergovernmental Panel on Climate Change*; *United Nations’ Inter-agency Mechanism on Energy*; e *World Energy Council* (Nações Unidas), *Tennessee Valley Authority* (Estados Unidos) e *Organización Latinoamericana de Energía* (América Latina e Caribe), além da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Petrobrás, Empresa de Energia Elétrica (EPE) e Ministério de Minas e Energia (MME) no Brasil.

Quadro 1: Dimensões, Tema e Subtema dos IEDS da AIEA (2005).

DIMENSÃO	TEMA	SUBTEMA
Social	- Equidade - Saúde	- Acessibilidade - Desigualdade - Segurança
Econômica	- Padrões de Produção e Consumo - Segurança	- Uso geral - Produtividade - Abastecimento Eficiente - Produção - Uso final - Diversificação dos combustíveis - Preços - Importações - Estoques estratégicos de combustíveis
Ambiental	- Atmosfera - Água - Terra	- Mudanças Climáticas - Qualidade do ar - Qualidade da água - Qualidade do solo - Floresta - Gestão e Geração de resíduos sólidos

Fonte: AIEA (2005).

Quadro 2: Indicadores Energéticos para o Desenvolvimento Sustentável propostos pela AIEA (2005). (Continua).

INDICADORES SOCIAL (SOC), AMBIENTAL (AMB) E ECONÔMICO (ECO) DA AIEA	
SOC 1 - Porcentagem de residências (ou de população) sem eletricidade ou energia comercial, ou muito dependentes de energias não comerciais	ECO 2 - Uso de energia por unidade do PIB
SOC 2 - Porcentagem do rendimento familiar gasto em combustível e eletricidade	ECO 3 - Eficiência da conversão e distribuição de energia
SOC 3 - Uso residencial de energia por faixa de renda e correspondente combinação de combustíveis utilizados	ECO 4 - Relação reservas/ produção
SOC 4 - Vítimas mortais de acidentes por energia produzida por cadeia de combustíveis	ECO 5 - Relação recursos/ produção
AMB 1 - Emissões de gases de efeito estufa (GEE) procedentes da produção e uso de energia, per capita e por unidade do PIB	ECO 6 - Intensidades energéticas da indústria
AMB 2 - Concentrações ambientais de poluentes atmosféricos nas áreas urbanas	ECO 7 - Intensidades energéticas do setor agrícola
AMB 3 - Emissões de poluentes atmosféricos procedentes dos sistemas energéticos	ECO 8 - Intensidades energéticas do setor de serviços/ comercial

Quadro 2. Continuação.

AMB 4 - Descargas de contaminantes em efluentes líquidos procedentes dos sistemas energéticos, incluindo as descargas de petróleo	ECO 9 - Intensidade energética residencial
AMB 5 - Área de solo onde a acidificação excede carga crítica	ECO 10 - Intensidades energéticas do transporte
AMB 6 - Taxa de desflorestamento atribuído ao uso de energia	ECO 11 - Porcentagens de combustíveis na energia e eletricidade
AMB 7 - Relação entre a geração de resíduos sólidos e unidade de energia produzida	ECO 12 - Porcentagem de energia não baseada no carbono na energia e eletricidade.
AMB 8 - Relação entre os resíduos sólidos descartados adequadamente pelo total de resíduos sólidos gerados	ECO 13 - Porcentagem de energias renováveis na energia e eletricidade
AMB 9 - Relação entre os resíduos sólidos radioativos e unidade de energia produzida	ECO 14 - Preços da energia de uso final por combustível e setor
AMB 10 - Relação entre os resíduos sólidos radioativos em espera de destinação e o total de resíduos sólidos radioativos gerados	ECO 15 - Dependência líquida de importações de energia
ECO 1 - Uso de energia per capita	ECO 16 - Reservas de combustíveis críticos por consumo do combustível correspondente

Fonte: AIEA (2005).

Das 19 instituições ligadas a pesquisa em energia e listadas anteriormente, verificou-se que aproximadamente 21% (quatro instituições) participaram da elaboração dos IESD divulgados pela AIEA, 26,4% (cinco instituições) apresentaram em seus documentos um conjunto de indicadores voltados para o desenvolvimento sustentável e 52,6% (10 instituições) utilizam os IESD divulgados pela AIEA. Desta forma, 73,6%, ou seja, 14 das 19 instituições citadas, em bibliografia, que se referenciam aos IESD divulgados pela AIEA diretamente (ALMEIDA, 2016).

Estudos a respeito das instituições brasileiras citadas anteriormente demonstraram que tais órgãos não apresentam conjunto específico de indicadores energéticos voltados para o desenvolvimento sustentável, embora estes órgãos apresentem certos indicadores em seus balanços e relatórios acerca do cenário energético nacional que trazem informações sobre consumo dos diversos tipos de energia, que integram a matriz energética do Brasil, portanto possuem foco na dimensão econômica, e assim não podem ser considerados um conjunto de Indicadores de Energia do Desenvolvimento Sustentável (ALMEIDA, 2016).

Almeida (2016) destaca ainda que a comparação realizada entre os indicadores energéticos possibilitou o entendimento de que, a maioria das instituições ligadas à pesquisa sobre energia utilizam os IESDs divulgados pela AIEA e que mesmo as instituições que possuem seus próprios conjuntos de IESDs (*Helio, Hydro-Québec, TVA, OLADE* ou *WEC*), apresentam alguma relação com os indicadores energéticos da AIEA.

Cavalcanti (2015) utilizou a metodologia da AIEA para propor 27 indicadores para mensurar a sustentabilidade energética dos municípios do estado do Rio Grande do Norte que tiveram a instalação de empreendimentos eólicos. Os indicadores foram divididos da seguinte maneira e apresentados a seguir: dez indicadores para a dimensão ambiental (Quadro 3), dez para a dimensão econômica (Quadro 4) e sete para a social (Quadro 5).

Quadro 3: Dimensão ambiental dos indicadores de sustentabilidade energética propostos por Cavalcanti (2015).

DIMENSÃO AMBIENTAL		
TEMA	INDICADOR ENERGÉTICO	
Ar	Ambiental 1	Emissões de poluentes atmosféricos provenientes de sistemas de energia
Terra	Ambiental 2	Impactos sobre Geologia Local
	Ambiental 3	Proporção de resíduos sólidos descartados adequadamente ao total gerado de resíduos sólidos
	Ambiental 4	Proporção da geração de resíduos sólidos para unidades de energia produzida
	Ambiental 5	Impacto sobre Flora
Água	Ambiental 6	Impactos sobre os recursos hídricos
Socioambiental	Ambiental 7	Ações Mitigadoras
	Ambiental 8	Emissão de ruído
	Ambiental 9	Impacto visual
	Ambiental 10	Impacto sobre Fauna

Fonte: Cavalcanti (2015) adaptado de AIEA (2005).

Quadro 4: Dimensão econômica dos indicadores de sustentabilidade energética propostos por Cavalcanti (2015).

DIMENSÃO ECONÔMICA				
TEMA	SUBTEMA	INDICADOR ENERGÉTICO		
PADRÕES DE PRODUÇÃO E CONSUMO	Produção	Econômico 1	Proporção entre potencial e capacidade instalada setor eólico	
	Produtividade	Econômico 2	Uso eletricidade/ PIB	
	Fontes Eficientes	Econômico 3	Perdas elétricas nos Parques Eólicos	
	Uso Geral		Econômico 4	Consumo de energia elétrica residencial/ IDH
			Econômico 5	Utilização final de energia por unidade de valor agrícola adicionado
			Econômico 6	Utilização final de energia por unidade de serviço e comércio
			Econômico 7	Consumo de Energia Residencial per capita
			Econômico 8	Utilização final de energia por unidade de valor industrial adicionado
	Segurança Energética	Econômico 9	A proporção de importações líquidas de energia total ao ano	
	Preço	Econômico 10	Os preços reais pagos pelos consumidores finais de energia	

Fonte: Cavalcanti (2015) adaptado de AIEA (2005).

Quadro 5: Dimensão social dos indicadores de sustentabilidade energética propostos por Cavalcanti (2015).

DIMENSÃO SOCIAL			
TEMA	SUBTEMA	INDICADOR ENERGÉTICO	
EQUIDADE	Acessibilidade	Social 1	Porcentagem residências sem eletricidade
		Social 2	Parcela da população empregada em empreendimentos da cadeia produtiva eólica
	Desigualdade	Social 3	A utilização de energia residencial por representativos para cada grupo de renda correspondente em quintis (20%)
		Social 4	Parcela da população atendida por programa de qualificação
		Social 5	Homicídios
SAÚDE		Social 6	Acidentes de trabalho
		Social 7	Parcela da população com acesso a saneamento básico

Fonte: Cavalcanti (2015) adaptado de AIEA (2005).

De Camargo et al. (2004) apresentam um conjunto de indicadores ambientais, sociais e econômicos adaptados a partir do estudo de caso sobre indicadores corporativos de sustentabilidade socioeconômica e ambiental de três empresas do setor de geração de energia: PETROBRÁS, do Brasil, *Hydro-Québec*, do Canadá e *Tennessee Valley Authority (TVA)*, dos Estados Unidos.

Os autores propõem vinte e um indicadores sociais (Quadro 6), sete indicadores econômicos (Quadro 7) e seis indicadores ambientais (Quadro 8), subdivididos em 38 fatores ou parâmetros aplicáveis à fase de operação e geração do Setor Elétrico Brasileiro. (DE CAMARGO et al, 2004).

Quadro 6: Indicadores Sociais Aplicáveis ao Setor Elétrico Brasileiro.

Indicadores Sociais		
Alimentação	Encargos Sociais	Valor pago à previdência privada
Assistência médica e social aos empregados	Número de acidentes de trabalho	Número de doenças ocupacionais
Investimento em educação dos empregados	Investimentos em projetos culturais para os empregados	Capacitação e desenvolvimento profissional
Número de mulheres que trabalham na empresa	Creche/ auxílio creche	Participação nos resultados da empresa
Transparência e comunicação das informações	Número de empregados portadores de deficiência	Percentual de cargos de chefia ocupados por mulheres
Eficácia das contribuições para a sociedade (educação, cultura, saúde, esporte, lazer, alimentação, creches e outros)	Ações judiciais relativas a problemas ambientais	Empregados treinados ISO 14.004
Investimento em educação para a comunidade	Investimento em projetos sociais e culturais à comunidade	Investimentos em pesquisas em Universidades

Fonte: De Camargo et al. (2004).

Quadro 7: Indicadores Econômicos Aplicáveis ao Setor Elétrico Brasileiro.

Indicadores Econômicos
Despesas com salários e benefícios
Impostos e taxas em geral
Investimento em Segurança, Meio Ambiente e Saúde
Investimento em pesquisa e desenvolvimento
Investimento em desenvolvimento comunitário
Investimento em tecnologia nacional
Patrocínio de projetos ambientais

Fonte: De Camargo et al. (2004).

Quadro 8: Indicadores Ambientais Aplicáveis ao Setor Elétrico Brasileiro. (Continua)

Indicador	Fatores ou Parâmetros	Aplicação
Qualidade do ar	Emissões de CO ₂	T
	Emissões de SO ₂	T
	Emissões de NO _x	T
	Emissões de CO ₂ evitadas	H, T, E
	Emissões de SO ₂ evitadas	H, T, E
	Emissões de NO _x evitadas	H, T, E
	Redução de gases de efeito estufa ¹	T
Eficiência energética	Área utilizada ² (Km ²)	H, T
	Uso Eficiente de Energia (UEE) – economia residencial	G
	UEE – economia setor comercial	G
	UEE – economia setor industrial	G
	Eficiência energética (EE) de edifícios: economia	G
	EE de equipamentos: economia	G
	Eficiência no consumo da frota de veículos (Km)	G
	Redução do Pico de Demanda	G
Instalações de energia eficiente em residências ³	G	
Utilização de Recursos Naturais	Reutilização de postes	
	Reutilização de óleo isolante de transformadores	G
	Recuperação/reciclagem de computadores e impressoras	G
	Recuperação/reciclagem de equipamentos elétricos	G
	Resíduos e efluentes tratados, reciclados ou utilizados	T
	Resíduos perigosos recuperados ou devidamente destinados	T
	Utilização de subprodutos da combustão de carvão	T
	Compra de produtos reciclados	G
Qualidade ambiental	Produção de resíduo perigoso	T
	Derramamento de óleo isolante	G

Quadro 8. Continuação.

	Material derramado recolhido	G
	Tratamento do solo contaminado com óleo	G
	Resíduos sólidos enviados para aterros	G
	Inventário de efluentes tóxicos	G
	Melhoramento de costas prejudicadas – Investimento (\$)	H, T
Qualidade da água	Saúde ecológica dos rios ⁴	H, T
	Saúde ecológica dos reservatórios ⁴	H
Responsabilidade ambiental	Unidades geradoras com certificação ISO 14.004	G
	Empregados treinados ISO 14.004	G
	Investimento anual em programas ambientais	G
	Não conformidades em relação a um ano base (<i>Baseline</i>) (%)	G
	Ações judiciais relativas a problemas ambientais	G

Fonte: De Camargo et al. (2004).

¹ Por meio de implantação de dispositivos de redução de emissões; ²Área diretamente afetada pelo empreendimento, por ex. área alagada por reservatório e área atingida por chuva ácida; ³Programa PROCEL; ⁴ Obedecer aos limites da Resolução CONAMA 020/ 86 (1) – kWh ; (2) – Número; (3) – Volume; (4) – ton/ano; Aplicação: H – Hidroeletricidade, T – Termoeletricidade, E – Energia Eólica, G – Para qualquer tipo de fonte energia ou para a empresa em geral.

Embora os indicadores sugeridos por De Camargo et al. (2004) não sejam específicos para o setor de energia eólica, os mesmos se mostram de grande relevância por considerarem as três dimensões principais do desenvolvimento sustentável como também pela quantidade de fatores e parâmetros que cada indicador engloba. Além da especificação de aplicação de cada um dos indicadores englobarem as usinas hidrelétricas e termoeletricas, como também as usinas eólicas e de geração de energia em geral.

Cabe ressaltar, que a *Hydro-Québec* e a *Tennessee Valley Authority* também foram estudadas por Almeida (2016), que diz que embora tais instituições apresentem metodologias próprias de IEDS, estes também estão relacionados de certa maneira aos indicadores propostos pela AIEA.

Garcia et al. (2016) apresentam proposta de indicadores ambientais para o acompanhamento e gestão de empreendimentos eólicos construídos a partir dos principais impactos ambientais causados pela geração de energia eólica, tanto na fase de construção quanto na fase de operação. Os indicadores ambientais propostos são divididos em seis temas e 48 variáveis, conforme mostra o Quadro 9.

Quadro 9: Indicadores Ambientais para geração eólica propostos por Garcia et al. (2016). (Continua).

Tema	Variáveis
Resíduos	Total de resíduos Classe I gerados nas atividades de implantação das usinas eólicas (classificados pela NBR10004/04) no período
	Total de resíduos Classe IIA gerados nas atividades de implantação das usinas eólicas (classificados pela NBR10004/2004) no período
	Total de resíduos Classe IIB gerados nas atividades de implantação das usinas eólicas (classificados pela NBR10004/2004) no período

Quadro 9. Continuação.

	Total de resíduos Classe IIA gerados nas atividades de manutenção e operação das usinas eólicas (classificados pela NBR10004/2004) no período
	Total de resíduos Classe IIB gerados nas atividades de manutenção e operação das usinas eólicas (classificados pela NBR10004/2004) no período
	Total de resíduos Classe I gerados nas atividades de manutenção e operação das usinas eólicas (classificados pela NBR10004/04) no período
	Resíduos gerados destinados à COMPOSTAGEM – Geração Eólica
	Resíduos gerados destinados à REUTILIZAÇÃO – Geração Eólica
	Resíduos gerados destinados à RECICLAGEM – Geração Eólica
	Resíduos perigosos (Classe I) destinados à INCINERAÇÃO – Geração Eólica
	Resíduos não perigosos (Classe II) destinados ao ATERRO INDUSTRIAL – Geração Eólica
	Resíduos Perigosos (Classe I) destinados ao ATERRO INDUSTRIAL – Geração Eólica
	Resíduos não perigosos (Classe II) com ARMAZENAMENTO NO LOCAL – Geração Eólica
	Resíduos PERIGOSOS (Classe I) com ARMAZENAMENTO NO LOCAL – Geração Eólica
	Resíduos PERIGOSOS (Classe I) destinados ao COPROCESSAMENTO – Geração Eólica
	Resíduos gerados destinados à COLETA MUNICIPAL
Biodiversidade	Áreas Protegidas que sofreram Interferência de Usinas de Geração Eólica em Implantação
	Áreas Degradadas por usinas de geração eólica em implantação que foram recuperadas
	Áreas Degradadas por usinas de geração eólica em implantação
	Recursos financeiros aplicados em programas de proteção à biodiversidade vinculados a usinas de Geração Eólica – Implantação
	Recursos Financeiros aplicados em programas de recuperação de áreas degradadas vinculados a usinas de Geração Eólica – Implantação
	Recursos financeiros aplicados em programas de qualidade da água vinculados a usinas de Geração Eólica – Implantação
	Recursos Financeiros aplicados em programas de Proteção à Biodiversidade vinculados a usinas de Geração Eólica – Operação
	Recursos financeiros aplicados em Programas de Recuperação de Áreas Degradadas vinculados a usinas de Geração Eólica - Operação
	Recursos Financeiros aplicados em Programas de Qualidade da Água vinculados a usinas de Geração Eólica em operação
	Número de Programas de Monitoramento de Fauna em usinas de geração eólica aprovados pelo órgão ambiental competente – Operação
	Total de usinas eólicas em operação com programas de monitoramento de fauna aprovados pelo órgão ambiental competente
Energia	Consumo de óleo diesel em grupos geradores - Geração Eólica
	Consumo total de energia elétrica no processo de geração Eólica
Água	Consumo total de ÁGUA a partir da rede de abastecimento da concessionária de saneamento - Geração Eólica
	Água consumida a partir de água salobra ou do mar - Geração Eólica

Quadro 9. Continuação.

	Água consumida a partir da captação direta em corpos hídricos (fonte superficial) - Geração Eólica
	Água consumida a partir de fontes subterrâneas (poços, nascentes) - Geração Eólica
Ações Voluntárias em Biodiversidade	RFPVBAV - Recursos financeiros aplicados em programas voluntários de proteção à biodiversidade
	Recursos financeiros aplicados em programas voluntários de recuperação de áreas degradadas
	Recursos financeiros aplicados em programas voluntários de qualidade da água
	Programas voluntários de proteção à biodiversidade
	Áreas de Preservação Permanente (APP) recuperadas voluntariamente
	Áreas Degradadas recuperadas voluntariamente
	Recursos financeiros aplicados voluntariamente em ações de recuperação de Áreas de Preservação Permanente
	Recursos financeiros aplicados voluntariamente na aquisição e gestão de Áreas de Preservação Permanente
	Mudas produzidas voluntariamente
	Sementes produzidas voluntariamente
	Mudas doadas voluntariamente
	Sementes doadas voluntariamente
	Sementes plantadas voluntariamente
Mudas plantadas voluntariamente	
Ações Voluntárias Energia	Energia elétrica de fontes alternativas em pequena escala para o consumo interno – Ações Voluntárias (MWh)

Fonte: Garcia et al. (2016).

Ainda que os indicadores do Quadro 9 compreendam somente a dimensão ambiental, excluindo-se os fatores socioeconômicos, os mesmos se mostram relevantes ao evidenciarem preocupação principalmente com a ações voltadas a qualidade da biodiversidade e geração e destinação correta dos resíduos sólidos gerados durante a implantação e operação da usina eólica. Este último, correlacionado diretamente a indicadores ambientais da AIEA.

4.2 Identificação e Adaptação dos Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade Energética

Após ter apresentado os principais trabalhos utilizados como base para este Estudo, com o intuito de proporcionar o panorama geral dos indicadores considerados nesta dissertação, os indicadores equivalentes ou parecidos com os da AIEA, como também quais indicadores se correlacionaram entre si, decidiu-se mostrá-los nos Quadros 10, 11 e 12. Os indicadores foram separados de acordo com as dimensões social, econômica e ambiental, respectivamente, e conforme cada um dos autores citados no item 4.1.

Quadro 10: Panorama geral dos indicadores sociais considerados para este estudo e equivalência com os indicadores da AIEA.

AIEA	Cavalcanti	De Camargo et al.	
SOC 1 - Porcentagem de residências (ou de população) sem eletricidade ou energia comercial, ou muito dependentes de energias não comerciais	Porcentagem residências sem eletricidade	Número de mulheres que trabalham na empresa	Percentual de cargos de chefia ocupados por mulheres
SOC 2 - Porcentagem do rendimento familiar gasto em combustível e eletricidade	Parcela da população com acesso a saneamento básico	Eficácia das contribuições para a sociedade (educação, cultura, saúde, esporte, lazer, alimentação, creches e outros)	Ações judiciais relativas a problemas ambientais
SOC 3 - Uso residencial de energia por faixa de renda e correspondente combinação de combustíveis utilizados	A utilização de energia residencial por representativos para cada grupo de renda correspondente em quintis (20%)	Investimento em educação para a comunidade	Investimento em projetos sociais e culturais à comunidade
SOC 4 - Vítimas mortais de acidentes por energia produzida por cadeia de combustíveis	Acidentes de trabalho	Número de acidentes de trabalho	Número de doenças ocupacionais
	Parcela da população atendida por programa de qualificação	Investimentos em projetos culturais para os empregados	Investimentos em pesquisas em Universidades
			Investimento anual em programas ambientais

Fonte: AIEA (2005), Cavalcanti (2015), De Camargo et al. (2004).

Legenda: Cores iguais significam correlação entre os indicadores.

Cabe destacar que os autores Garcia et al. não apresentaram indicadores que pudessem ser enquadrados na dimensão social.

Quadro 11: Panorama geral dos indicadores econômicos considerados para este estudo e equivalência com os indicadores da AIEA.

AIEA	Cavalcanti	De Camargo et al.	Garcia et al.
ECO 1 - Uso de energia per capita	Uso eletricidade/PIB	Investimento em tecnologia nacional	Recursos financeiros aplicados em programas de proteção à Biodiversidade vinculados a usinas de Geração Eólica – Implantação
ECO 2 - Uso de energia por unidade do PIB	Consumo de Energia Residencial per capita	Investimento em pesquisa e desenvolvimento	Recursos Financeiros aplicados em programas de recuperação de áreas degradadas vinculados a usinas de Geração Eólica – Implantação
ECO 3 - Eficiência da conversão e distribuição de energia	Perdas elétricas nos Parques Eólicos	Uso Eficiente de Energia (UEE) – economia residencial*	Recursos financeiros aplicados em programas de qualidade da água vinculados a usinas de Geração Eólica – Implantação
ECO 6 - Intensidades energéticas da indústria	Consumo de energia elétrica residencial/ IDH	UEE – economia setor industrial*	Recursos Financeiros aplicados em Programas de Proteção à Biodiversidade vinculados a usinas de Geração Eólica – Operação
ECO 7 - Intensidades energéticas do setor agrícola	Utilização final de energia por unidade de valor agrícola adicionado	Investimento em desenvolvimento comunitário	Recursos financeiros aplicados em Programas de Recuperação de Áreas Degradadas vinculados a usinas de Geração Eólica - Operação
ECO 8 - Intensidades energéticas do setor de serviços/ comercial	Utilização final de energia por unidade de serviço e comércio	UEE – economia setor comercial*	Recursos Financeiros aplicados em Programas de Qualidade da Água vinculados a usinas de Geração Eólica em Operação
ECO 9 - Intensidade energética residencial	Utilização final de energia por unidade de valor industrial adicionado	Patrocínio de projetos ambientais	Número de Programas de Monitoramento de Fauna em usinas de geração eólica aprovados pelo órgão ambiental competente – Operação
ECO 14 - Preços da energia de uso final por combustível e setor	Os preços reais pagos pelos consumidores finais de energia		

Fonte: AIEA (2005), Cavalcanti (2015), De Camargo et al. (2004), Garcia et al. (2016).

Legenda: Cores iguais significam correlação entre os indicadores.

***Indicadores referentes à Eficiência Energética pertencentes à dimensão ambiental dos autores De Camargo et al. (2004).**

Quadro 12: Panorama geral dos indicadores ambientais considerados para este estudo e equivalência com os indicadores da AIEA.

AIEA	Cavalcanti	De Camargo et al.	Garcia et al.
AMB 2 - Concentrações ambientais de poluentes atmosféricos nas áreas urbanas	Emissões de poluentes atmosféricos provenientes de sistemas de energia	Todos os parâmetros inseridos no indicador “Qualidade do Ar”	Todos os parâmetros inseridos no tema “Resíduos”
AMB 6 - Taxa de desflorestamento atribuído ao uso de energia	Impactos sobre os recursos hídricos	Área utilizada ² (Km ²)	Todos os parâmetros inseridos no tema “Água”
AMB 8 - Relação entre os resíduos sólidos descartados adequadamente pelo total de resíduos sólidos gerados	Proporção de resíduos sólidos descartados adequadamente ao total gerado de resíduos sólidos	Recuperação/reciclagem de equipamentos elétricos	Áreas Degradadas por usinas de geração eólica em implantação que foram recuperadas
	Impacto sobre Flora	Resíduos e efluentes tratados, reciclados ou utilizados	Áreas Protegidas que sofreram Interferência de Usinas de Geração Eólica em Implantação
	Impactos sobre Geologia Local	Resíduos perigosos recuperados ou devidamente destinados	Áreas de Preservação Permanente (APP) recuperadas voluntariamente
	Impacto visual	Resíduos sólidos enviados para aterros	Áreas Degradadas recuperadas voluntariamente
	Emissão de ruído	Inventário de efluentes tóxicos	Recursos financeiros aplicados voluntariamente em ações de recuperação de APP
	Ações Mitigadoras		Recursos financeiros aplicados voluntariamente na aquisição e gestão de APP

Fonte: AIEA (2005), Cavalcanti (2015), De Camargo et al. (2004), Garcia et al. (2016).

Legenda: Cores iguais significam correlação entre os indicadores.

Primeiramente, pode-se perceber que nem todos os indicadores apresentados pelos autores estudados foram considerados para a composição final do conjunto de indicadores propostos nesta dissertação. Como por exemplo, indicadores ligados a resíduos radioativos originados da utilização da energia nuclear (indicadores AMB 9 e 10 da AIEA), reservas de combustíveis como petróleo, gás, carvão e urânio (ECO 4 e ECO 5 da AIEA), emissão de poluentes pelo setor de transporte devido ao petróleo (ECO 10), importação de energia (ECO

15), taxas e impostos pagos pelo empreendimento, gastos com encargos sociais, alimentação e manutenção dos empregados do empreendimento (dimensão social e econômica) (De Camargo et al., 2004), dentre outros.

Essa seleção foi necessária porque alguns indicadores não se relacionavam direta ou indiretamente com a produção de energia por fonte eólica e devido à necessidade da objetividade da lista de indicadores, visto que um conjunto muito extenso de indicadores pode se tornar inviável tanto na coleta de dados como financeiramente.

Outro ponto que merece ser ressaltado é que ao comparar os indicadores da AIEA com os dos autores Cavalcanti (2015), De Camargo et al. (2004) e Garcia et al. (2016) a maioria apresenta certa relação demonstrando preocupações similares em torno de se mensurar a efetiva sustentabilidade nos processos de geração de energia.

4.3 Dimensão Social

O acesso à energia tem impacto direto na pobreza e saúde das populações, fatores relevantes para a qualidade de vida sadia e alcance do desenvolvimento sustentável. Os indicadores de sustentabilidade energética da dimensão social tem o intuito de verificar se os empreendimentos energéticos efetivamente trazem benefícios para o desenvolvimento local e social da região onde estão implantadas.

Em vista disso, para a dimensão social foram propostos sete indicadores de sustentabilidade energética, sendo quatro (SOC 1, SOC 2, SOC 3 e SOC 5) adaptados dos IEDS da AIEA, e três (SOC 4, SOC 6 e SOC 7) indicadores adaptados dos demais sistemas de indicadores energéticos pesquisados, conforme Quadro 13. Além disso, estão descritos abaixo.

Quadro 13: Indicadores de Sustentabilidade Energética da Dimensão Social para geração de energia eólica no Estado do Rio de Janeiro

DIMENSÃO SOCIAL		
TEMA	Indicador Energético	
Equidade	SOC 1	Porcentagem de residências sem eletricidade ou energia comercial
	SOC 2	Porcentagem da renda familiar gasta em eletricidade
	SOC 3	Uso residencial de energia por faixa de renda
	SOC 4	Porcentagem de mulheres que ocupam cargos no empreendimento
Saúde	SOC 5	Número de acidentes de trabalho por ano (fatais ou não)
	SOC 6	Parcela da população com acesso a saneamento básico
Acessibilidade	SOC 7	População atendida por projetos de responsabilidade socioambiental e cultural

Fonte: Adaptado da AIEA (2005); De Camargo et al. (2004); Cavalcanti (2015); Garcia et al. (2016).

SOC 1 - Porcentagem de residências sem eletricidade ou energia comercial

Objetivo: Observar o progresso na acessibilidade e disponibilidade nos serviços de energia, incluindo a eletricidade.

Parâmetro:

- Porcentagem de residências ou população sem acesso à eletricidade.

SOC 2 - Porcentagem da renda familiar gasta em eletricidade

Objetivo: Fornecer uma medida da disponibilidade de energia para as famílias mais pobres e de classe média do estado do Rio de Janeiro.

Parâmetro:

- Rendimento familiar gasto em eletricidade
- Rendimento familiar (total e 20% mais pobres da população)

SOC 3 - Uso residencial de energia por faixa de renda

Objetivo: Fornecer uma medida da disparidade de energia e acessibilidade.

Parâmetro:

- Quantidade de energia consumida por cada faixa de renda (quintis)
- Renda familiar por cada faixa de renda

SOC 4 - Porcentagem de mulheres que ocupam cargos no empreendimento

Objetivo: Fornecer uma medida da participação das mulheres empregadas na cadeia produtiva do setor eólico visto que o acesso igualitário às oportunidades em todas as esferas da vida social e empoderamento das mulheres é importante objetivo da Agenda 2030.

Parâmetro:

- Número total de colaboradores
- Número de mulheres colaboradoras

SOC 5 - Número de acidentes de trabalho por ano (fatais ou não)

Objetivo: Fornecer o número de acidentados e, ou fatalidades por energia produzida, o que permite avaliar os riscos para a saúde humana da cadeia produtiva do setor de energia eólica no estado do Rio de Janeiro, visto que os sistemas de energia estão associados à inúmeros impactos, inclusive à saúde ambiental.

Parâmetro:

- Produção anual de energia
- Número de acidentes nos empreendimentos
- Número de fatalidades nos empreendimentos

SOC 6 - Parcela da população com acesso a saneamento básico

Objetivo: Verificar a eficácia das contribuições do empreendimento eólico à sociedade, principalmente do entorno, uma vez que a existência do saneamento básico garante a preservação ambiental, manutenção de resíduos e se apresenta como serviço essencial à saúde humana e ambiental.

Parâmetro:

- Porcentagem das residências com saneamento básico

SOC 7 - População atendida por projetos de responsabilidade socioambiental e cultural

Objetivo: Medir o envolvimento e comprometimento do empreendimento em compensar os danos à comunidade do entorno e proporcionar melhora na qualidade de vida da população.

Parâmetro:

- Relação da população total do entorno do empreendimento x População beneficiada por programas de educação, cultura e lazer.
- Número total de participantes do projeto

A Equidade e Saúde, os dois temas desta dimensão, são valores indispensáveis ao desenvolvimento sustentável. A equidade social se encontra na luta em destruir as barreiras da desigualdade e injustiça social e garantir oportunidades de acesso à educação, aos recursos disponíveis, inclusive os de energia, redistribuição de renda e combate à pobreza.

A energia deve estar disponível para todos a preço acessível e justo, uma vez que a falta de acesso ou acesso limitado a esse recurso representa limitações de produtividade, acesso a equipamentos menos potentes, iluminação inadequada, falta de refrigeração, comunicações limitadas. Além de forçar famílias a usarem alternativas não convencionais de combustíveis energéticos.

O uso de energia não deve causar danos à saúde humana, no entanto, os processos de implantação, produção e distribuição desse recurso tem potencial de ocasionar acidentes, lesões ou doenças ocupacionais ou pela liberação de poluentes. Porquanto, os indicadores de saúde visam avaliar os riscos para a saúde humana da cadeia produtiva do setor de energia eólica no estado do Rio de Janeiro.

O alcance de projetos socioambientais, culturais e educacionais dos empreendimentos eólicos causadores de danos e distúrbios em certos locais, apesar de constarem como obrigatoriedade pelo BNDES, servem para mostrar a preocupação em se compensar os danos causados e a qualidade de vida da população.

4.4 Dimensão Econômica

O desenvolvimento de um País está intimamente relacionado ao abastecimento confiável e adequado de energia, uma vez que interrupções no fornecimento desse serviço podem acarretar perdas financeiras e econômicas. Portanto, deve haver a disponibilidade regular de energia ininterruptamente e em preços acessíveis.

Todos os setores da economia, seja industrial, agrícola ou residencial, dependem do suprimento de energia. A oferta desse serviço afeta empregos, produtividade, desenvolvimento além das comunicações e tecnologia de informação. Monitorar e saber como é o consumo de energia em determinada região, assim como as intensidades demandadas pelos diversos setores podem orientar a respeito das mudanças na estrutura econômica da região, e mudanças na eficiência energética que pode indicar o comportamento ou preferências do consumidor. E saber sobre o comportamento do consumidor auxilia em futuras ações e políticas de desenvolvimento do setor energético e desenvolvimento de tecnologias.

Assim sendo, para a dimensão econômica foram propostos dez indicadores de sustentabilidade energética, sendo oito (ECO 1, ECO 2, ECO 3, ECO 4, ECO 5, ECO 6, ECO 7 e ECO 8) adaptados dos IEDS da AIEA, e dois (ECO 9 e ECO 10) indicadores adaptados dos demais sistemas de indicadores energéticos pesquisados, conforme Quadro 14 e informações detalhadas a seguir.

Quadro 14: Indicadores de Sustentabilidade Energética da Dimensão Econômica para geração de energia eólica no Estado do Rio de Janeiro. (Continua).

DIMENSÃO ECONÔMICA		
TEMA	Indicador Energético	
Padrões de Produção e Consumo	ECO 1	Consumo per capita
	ECO 2	Consumo de energia por unidade de PIB
	ECO 3	Eficiência na conversão e distribuição de energia

Quadro 14. Continuação.

	ECO 4	Consumo final de eletricidade residencial per capita
Eficiência Energética	ECO 5	Intensidade energética no setor industrial
	ECO 6	Intensidade energética no setor agrícola
	ECO 7	Intensidade energética residencial
	ECO 8	Preço final pago pelo consumidor
Investimentos socioambientais	ECO 9	Investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento e em Tecnologia Nacional
	ECO 10	Investimentos em projetos/programas ambientais

Fonte: Adaptado da AIEA (2005); De Camargo et al. (2004); Cavalcanti (2015); Garcia et al. (2016).

ECO 1 - Consumo per capita

Objetivo: Medir o nível de consumo de energia per capita, o que refletirá os padrões de uso de energia e a intensidade energética agregada da região, visto que o acesso limitado à energia é uma restrição grave que vem sendo combatida por meio dos objetivos da Agenda 2030.

Parâmetro:

- População total
- Uso de energia (fornecimento total de energia primária, consumo final total (KWh), consumo final de eletricidade per capita)

ECO 2 - Consumo de energia por unidade de PIB

Objetivo: Refletir as tendências do consumo geral de energia em relação ao PIB, o que indica a relação geral do consumo de energia com o desenvolvimento econômico.

Parâmetro:

- Consumo médio de eletricidade
- PIB do Estado do Rio de Janeiro

ECO 3 - Eficiência na conversão e distribuição de energia

Objetivo: Medir o quão eficientes são a conversão e a distribuição de energia na cadeia de abastecimento a fim de melhorar, caso necessário, os sistemas envolvidos no fornecimento de energia para que haja utilização mais eficaz dos recursos energéticos.

Parâmetro:

- Porcentagem de perdas na geração, transmissão e distribuição de eletricidade
- Quantidade de energia produzida x Quantidade de energia fornecida

ECO 4 - Consumo final de eletricidade residencial per capita

Objetivo: Indicar o desenvolvimento da economia regional e prestação de serviços melhorando a qualidade de vida.

Parâmetro:

- Consumo residencial de energia elétrica
- IDH do estado do Rio de Janeiro

ECO 5 - Intensidade energética no setor industrial

Objetivo: Medir o consumo de energia do setor industrial e avaliar tendências de melhorias tecnológicas e mudanças na estrutura do setor industrial e subsetores. Melhoria tecnológica

significa uso eficaz dos recursos energéticos, importante aspecto para o desenvolvimento sustentável.

Parâmetro:

- Consumo (KWh) do setor industrial
- PIB do setor industrial do estado do Rio de Janeiro

ECO 6 - Intensidade energética no setor agrícola

Objetivo: Medir o consumo de energia no setor agrícola uma vez que a disponibilidade de energia é fator determinante para o aumento na produção agrícola e melhorar, portanto, os meios de subsistência rural, incentivando a permanência do agricultor no meio rural.

Parâmetro:

- Consumo (KWh) do setor agrícola
- PIB do setor agrícola do estado do Rio de Janeiro

ECO 7 - Intensidade energética residencial

Objetivo: Monitorar o consumo de energia nos domicílios residenciais uma vez que acesso à energia significa melhora na qualidade de vida.

Parâmetro:

- Consumo de energia residencial (KWh)
- Número total de residências
- Número de pessoas por residência
- Número de equipamentos elétricos

ECO 8 - Preço final pago pelo consumidor

Objetivo: Mostrar o preço final pago pelos consumidores pelo serviço de energia, já que os preços da energia influenciam diretamente no consumo do serviço, e assim afetam a acessibilidade ao mesmo.

Parâmetro:

- Preço final (R\$) pago pelo consumidor por KWh

ECO 9 - Investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e em Tecnologia Nacional

Objetivo: Mensurar os recursos financeiros aplicados em P&D e em tecnologia nacional, ou seja, quanto mais investimentos mais inovações e melhorias possíveis e menor preço final pago pelo consumidor.

Parâmetro:

- Faturamento anual
- Investimento na tecnologia nacional
- Número de componentes da usina eólica de origem nacional

ECO 10 - Investimentos em projetos/programas ambientais

Objetivo: Medir os recursos financeiros aplicados à proteção e monitoramento da biodiversidade; programas de recuperação ambiental, principalmente em áreas degradadas devido a implantação da usina eólica, e programas de educação ambiental.

Parâmetro:

- Faturamento anual
- Investimentos em cada programa ambiental

4.5 Dimensão Ambiental

A produção, transmissão, distribuição e consumo de energia causam sérias pressões sobre o meio ambiente. E embora a energia eólica seja considerada “limpa” por não emitir diretamente poluentes atmosféricos, causa inúmeros outros impactos e toda uma cadeia produtiva que merece atenção.

A instalação e operação dos parques eólicos causam danos tanto no meio físico como biótico, além de impactos socioeconômicos. Tais impactos devem ser mensurados, minimizados e monitorados a fim de direcionar ações ambientalmente corretas e novas políticas de controle.

Portanto, na dimensão ambiental forma propostos dez indicadores de sustentabilidade energética, sendo dois (AMB 1 e AMB 9) adaptados dos IEDS da AIEA, e oito (AMB 2, AMB 3, AMB 4, AMB 5, AMB 6, AMB 7, AMB 8 e AMB 10) indicadores adaptados e construídos a partir dos demais sistemas de indicadores energéticos pesquisados, conforme Quadro 15.

Quadro 15: Indicadores de Sustentabilidade Energética da Dimensão Ambiental para geração de energia eólica no Estado do Rio de Janeiro

DIMENSÃO AMBIENTAL		
TEMA	Indicador Energético	
Ar	AMB 1	Concentrações ambientais de poluentes atmosféricos
Terra	AMB 2	Área degradada para a implantação do parque eólico
	AMB 3	Área total afetada pela instalação do parque eólico
	AMB 4	Alteração da geologia local
Água	AMB 5	Disponibilidade e qualidade hídrica
Socioambiental	AMB 6	Poluição visual
	AMB 7	Poluição sonora
Qualidade Ambiental	AMB 8	Impactos sobre a biota
	AMB 9	Geração e descarte de resíduos
	AMB 10	Medidas para a Qualidade Ambiental

Fonte: Adaptado da AIEA (2005); De Camargo et al. (2004); Cavalcanti (2015); Garcia et al. (2016).

AMB 1 - Concentrações ambientais de poluentes atmosféricos

Objetivo: Comparar a liberação e concentração dos poluentes atmosféricos intensificadores do efeito estufa e assim avaliar o desempenho das políticas ambientais nacionais, evidenciando se os padrões nacionais de redução e controle de poluição estão sendo atendidos.

Parâmetro:

- Concentração do poluente atmosférico antes da instalação do parque eólico e ao longo da operação do empreendimento.

AMB 2 - Área degradada para a implantação do parque eólico

Objetivo: Medir o quanto de vegetação foi suprimida para a produção de energia eólica. Importante ponto a ser destacado é que a retirada de vegetação significa alteração na dinâmica hídrica, da paisagem e de possíveis locais de pouso, ninho e reprodução de espécies.

Parâmetro:

- Área total com vegetação antes da instalação do parque eólico
- Área total desmatada
- Área total recuperada

AMB 3 - Área total afetada pela instalação do parque eólico

Objetivo: Mensurar as áreas que sofreram interferência pela instalação do empreendimento eólico, seja sítios arqueológicos, áreas de conservação ambiental ou destinadas à prática agropecuária.

Parâmetro:

- Área total do parque eólico
- Áreas de sítios arqueológicos, áreas de conservação ambiental e de agropecuária afetada

AMB 4 - Alteração da geologia local

Objetivo: Avaliar os impactos sobre o solo e demais modificações acarretadas pela instalação de empreendimentos eólicos nas três áreas mais apropriadas no estado do Rio de Janeiro (item 2.2.1) que englobam regiões litorâneas com formações arenosas (Região dos Lagos e litoral Norte-Fluminense) e de montanhas (Região Serrana).

Parâmetro:

- Áreas que sofreram terraplanagem, remoção do solo, concretagem, aterramento e escavações
- Número de implosões de formação rochosa

AMB 5 - Disponibilidade hídrica

Objetivo: Medir os impactos causados aos corpos hídricos pela liberação de efluentes e pelas obras de instalação da usina eólica, como compactação do solo e obras de drenagem pluvial.

Parâmetro:

- Níveis de turbidez e contaminantes de acordo com as normas vigentes
- Número de nascentes dentro da área do empreendimento
- Abastecimento regular local em dois momentos diferentes, antes e depois da instalação do parque eólico.
- Quantidade total de efluentes gerados
- Quantidade total de efluentes tratados

AMB 6 - Poluição visual

Objetivo: Analisar o impacto visual causado à paisagem pelas torres e aerogeradores à população local.

Parâmetro:

- Pesquisas locais a respeito do incômodo visual:
 - Número total da população do entorno do empreendimento
 - Número de pessoas que afirmam sentir incômodo visual

AMB 7 - Poluição sonora

Objetivo: Medir os níveis de ruído nas residências mais próximas do parque eólico a fim de averiguar se tais níveis se encontram dentro dos parâmetros estabelecidos por lei para que não afete a saúde humana.

Parâmetro:

- Nível de decibéis [dB(A)] nas residências mais próximas ao empreendimento. Os níveis devem obedecer às normas vigentes.

AMB 8 - Impactos sobre a biota

Objetivo: Avaliar os impactos causados à flora e fauna local após a instalação do empreendimento eólico, uma vez que antes da fase de instalação, o empreendimento precisa realizar o EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental) onde consta os levantamentos essenciais do meio físico e biótico, servindo como base de comparação futura.

Parâmetro:

- Área total com vegetação suprimida
- Número de espécies vegetais antes da instalação do parque eólico e ao longo da operação do empreendimento. Utilizar grupos da fauna indicadores de biodiversidade.
- Número de espécies animais antes da instalação do parque eólico e ao longo da operação do empreendimento. Utilizar grupos da flora indicadores de biodiversidade.
- Número de espécies ameaçadas de extinção
- Número de acidentes com aves
- Número de ataques de animais peçonhentos

AMB 9 - Descarte de resíduos

Objetivo: Demonstrar a relação entre os resíduos descartados adequadamente pelo total de resíduos gerados e assim avaliar a extensão apropriada para a destinação apropriada dos resíduos gerados (perigosos, sólidos, urbanos, da construção civil ou recicláveis) do empreendimento eólico.

Parâmetro:

- Quantidade total de resíduos gerados
- Quantidade de resíduos descartados adequadamente

AMB 10 - Medidas para a qualidade ambiental

Objetivo: Averiguar quais ações mitigadoras, compensatórias e, ou potenciadoras descritas no RIMA foram realmente executadas.

Parâmetro:

- Número de medidas propostas no RIMA
- Número de medidas executadas

Percebe-se que o conjunto de indicadores apresentados na dimensão ambiental foi o que mais se diferenciou dos IEDS da AIEA, devido à necessidade de adequação às particularidades da geração de energia por fonte eólica, associado também à localização do estado do Rio de Janeiro dentro do bioma Mata Atlântica, considerado um “hotspot” mundial, ou seja, um dos biomas prioritários para a conservação da biodiversidade, com diversos recursos naturais importantes para a conservação da natureza mundial.

Cabe ressaltar ainda que o estado do Rio de Janeiro é uma das regiões do País onde se concentram as maiores áreas de remanescentes da Mata Atlântica. Destaca-se ainda que o estado do Rio de Janeiro é uma das áreas mais relevantes para investir em ações de conservação por ser uma região reconhecida pelos altos índices de endemismo, portanto, repleto de unidades de conservação (PINTO et al., 2006).

Passando à análise geral dos indicadores de sustentabilidade energética propostos, notou-se equilíbrio na distribuição dos indicadores entre as dimensões, o que ressalta progressos na busca do desenvolvimento sustentável, evidenciando que o planejamento de ações e tomadas de decisão precisam ir além das questões econômicas, ou seja, de forma complementar com as dimensões social e ambiental.

Em vista do objetivo central ter sido a proposição de indicadores de sustentabilidade energética, adaptados a partir de sistemas de indicadores pré-existentes e utilizados por instituições ligadas ao setor de energia, aplicáveis aos empreendimentos de geração de energia eólica, sendo sua aplicação voltada para o estado do Rio de Janeiro, portanto, considera-se que tal objetivo foi alcançado por meio do conjunto de 27 (vinte e sete) indicadores de sustentabilidade energética apresentados no capítulo anterior. Tais indicadores foram distribuídos da seguinte maneira: sete indicadores na dimensão social, e dez nas dimensões econômica e ambiental, respectivamente.

Desta forma, com a proposta apresentada é possível a aplicação em campo dos indicadores e mensurar efetivamente a contribuição do Parque Eólico de Gargaú, por exemplo, para o desenvolvimento sustentável do estado do Rio de Janeiro.

A partir desta proposição, devem ser avaliados novos indicadores a fim de complementar este estudo e, portanto, aprimorar aspectos perceptíveis em campo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia eólica tem se mostrado imprescindível nos últimos anos para a matriz energética brasileira por garantir segurança e eficiência na otimização dos recursos, além de vantagens econômicas com a redução dos custos financeiros de operação. Assim, contribui pontualmente para a redução do risco de racionamento de energia elétrica por conseguir estruturar uma cadeia produtiva eficiente suprida por bons investimentos.

Salienta-se que preservar o meio ambiente e contribuir para a melhor qualidade de vida da comunidade faz parte da rotina da indústria eólica. Dessa maneira, além dos ganhos ambientais, já que a emissão de mais de 10 milhões de toneladas de CO₂ foi evitada, novos projetos socioeconômicos são frequentemente estabelecidos no entorno das comunidades.

O estado do Rio de Janeiro ocupa hoje a nona posição nacional na produção de energia eólica com 28 MW de potência oriundos do Parque Eólico de Gargaú, inaugurado em outubro de 2010, localizado no município de São Francisco de Itabapoana, no norte fluminense.

Porém, o Estado apresenta três áreas mais propícias à instalação de centrais eólicas por apresentarem ventos médios anuais mais intensos de todo o Estado. Localizam-se no litoral Norte fluminense, na Região dos Lagos, Cabo Frio e Búzios, e também na Região Serrana, polígono Piraí-Vassouras- Petrópolis.

Com potencialidades a serem exploradas em parques *onshore* e *offshore*, o estado do Rio de Janeiro pode contribuir significativamente para a produção eólica nacional e até mesmo suprimento energético em momentos de racionamento.

Com o intuito de servir como ferramenta de planejamento para tomada de decisão e mensuração dos impactos causados pela construção e operação de usinas eólicas no estado do Rio de Janeiro e direcionar estratégias para o alcance do desenvolvimento sustentável, baseou-se nos Indicadores Energéticos do Desenvolvimento Sustentável (IEDS) propostos pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Uma vez que se verificou que apesar de existir inúmeras iniciativas de construção de indicadores de sustentabilidade, as principais empresas ligadas à energia participaram do processo de construção e, ou utilizam os IEDS propostos pela AIEA.

Embora a energia eólica apresente benefícios ao meio ambiente, como por exemplo, a não emissão direta de gases de efeito estufa, inúmeros impactos negativos são contabilizados e por isso a construção de formas de mensuração de tais impactos e o quanto a utilização dessa energia renovável se aproxima ou não do desenvolvimento sustentável é imprescindível para o alcance dos objetivos e metas acordadas nos diversos encontros internacionais em prol do Desenvolvimento Sustentável.

Importante destacar que esses indicadores podem ser extrapolados em relação as suas aplicações, além de serem usados para avaliar outras fontes de energia, aplicação e monitoramento da efetividade das políticas públicas, assim como utilizá-los em eventual necessidade de instalação de um parque de geração local de energia, por exemplo. Portanto, tais indicadores podem auxiliar na escolha de qual seria a melhor solução tecnológica aliada ao meio ambiente. Contudo, esses indicadores precisam ter pesos diferentes em uma análise multicritério, ressaltando-se que um importante passo foi dado para que isso seja feito uma vez que este estudo visa às características regionais do estado do Rio de Janeiro.

Por fim, independentemente da análise de impacto e da avaliação da sustentabilidade, a educação ambiental precisa estar presente em todas as fases do empreendimento, ou seja, desde a instalação até o descomissionamento do empreendimento. Todos os colaboradores da fase de implantação e operadores (operação) precisam estar integrados com a ideia de sustentabilidade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, 2005. Edição 2. p. 93-110.

_____. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, 2008. Edição 3. p. 21-48, 76-82.

_____. Disponível em <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)>. Acesso em: 09 nov. 2016.

_____. Aprovado valor do custeio do PROINFA para 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9009&id_area> . Acesso em: 17 ago. 2017.

_____. Assessoria de Imprensa. Valor do custeio para o PROINFA para o próximo ano é aprovado. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/valor-do-custeio-do-proinfa-para-proximo-ano-e-aprovado/656877/pop_up?_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_viewMode=print&_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_languageId=pt_BR>. Acesso em: 17 ago. 2017.

_____. Banco de Informações de Geração. Capacidade de Geração do Brasil. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

_____. Energia Eólica. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)>. Acesso em: 05 abr. 2017.

ALMEIDA, A. R. **Indicadores energéticos: instrumentos de apoio ao desenvolvimento sustentável**. 2016. 133 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2016.

ALVES, J. J. A. **Análise regional da energia eólica no Brasil**. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 6, n. 1, 2010.

ARAUJO, F. F. S; SILVA, G. M; BATISTA, E. L. S; JÚNIOR, J. R. O.; LYRA, G. B. Espacialização da Temperatura do Ar Mensal no Estado do Rio de Janeiro baseada em Modelos Lineares e dados SRTM. In: **IX SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADAS À ENGENHARIA FLORESTAL**. *Anais...* 2010. Curitiba, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. ENERGIA EÓLICA. O setor. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/energia-eolica-o-setor/>>. Acesso em: 05 abr. 2017.

_____. Boletim Anual de Geração Eólica – 2012. Disponível em: <http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2016/08/Boletim_anual_de_geracao_eolica_2012.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2017.

_____. Boletim Anual de Geração Eólica – 2013. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2016/08/BoletimdeGeracaoEolica-2013.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

_____. Boletim Anual de Geração Eólica – 2014. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2016/08/Boletim-Anual-de-Geracao-Eolica-2014.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

_____. Boletim Anual de Geração Eólica – 2015. Disponível em: <http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2016/08/Abeeolica_BOLETIM-2015_low.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2017.

_____. Boletim Anual de Geração Eólica – 2016. Disponível em: <http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2017/05/424_Boletim_Anual_de_Geracao_Eolica_2016_Alta.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2017.

ATLAS EÓLICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/AtlasEolicoRJ.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2016.

BARBOSA FILHO, W. P.; DE AZEVEDO, A. C. S. Impactos ambientais em usinas eólicas. In: **IX CONGRESSO AGRENER GD**. 2013. Itajubá. *Anais...* Minas Gerais, Brasil.

BARRADAS, Renato Vianna. **Impactos socioambientais nas aplicações de energia eólica para geração de eletricidade**. 2014. 80f. Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia. UFLA - Universidade Federal de Lavras. Lavras – Minas Gerais. 2014.

BOENTE, A. N. P., DE ALMEIDA, V., DE SOUZA, C. M. A., NUNES, E. C. N., PINHO, L. C., & FERREIRA, L. E. S. Produção de Energia Limpa para Redução dos Impactos Ambientais: Estudo de Caso do Parque Eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro. IN:

SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA. 2015. Resende. *Anais...* Rio de Janeiro, Brasil.

BRACIER COMITÊ BRASILEIRO. Epe Lança Banco De Dados Com Informações Sobre Geração Eólica No Brasil. Disponível em: < <https://www.bracier.org.br/noticias/brasil/4778-epe-lanca-banco-de-dados-com-informacoes-sobre-geracao-eolica-no-brasil.html>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 001/86, de 23 de janeiro de 1986 – In: Resoluções, 1986. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

BRONZATTI, F. L.; NETO, A. I. Matrizes Energéticas no Brasil: Cenário 2010-2030. In: **XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.** 2008. Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, Brasil.

CASTRO, R. M. G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução à Energia Fotovoltaica.** Universidade Técnica de Lisboa. Novembro-2002. Edição 0

CAVALCANTI, R. F. R. R. M. Sustentabilidade Energética: Descrição de indicadores adaptados à geração de energia eólica. IN: **ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE.** 2015. São Paulo. *Anais...* São Paulo, Brasil.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – RIO+20. Sobre a Rio+20. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20.html>. Acesso em: 29 maio 2017.

CORREIA, T.P; COSTA, C.D; JÚNIOR, J.R.O; MORAES, N.O; LYRA, G.B. Distribuição Espacial da Precipitação Pluvial Mensal no Estado do Rio de Janeiro. In: **XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA.** 2011. Guarapari, *Anais...* Espírito Santo, Brasil.

COSTA, R. C. D.; PRATES, C. P. T. **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 21. 2005.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Altas do Potencial Eólico Brasileiro,** 2001. Disponível:

<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro**, 2002. Disponível em : <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/AtlasEolicoRJ.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016.

DE CAMARGO, Arilde Sutil G.; UGAYA, Cássia Maria Lie; AGUDELO, Libia Patricia Peralta. Proposta de definição de indicadores de sustentabilidade para geração de energia elétrica. **Revista Educação & Tecnologia**, n. 8, 2004.

DE SALLES, A. C. N. **Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração eólica**. 2004. 93 f. Dissertação de Mestrado – COPPE, Universidade Federal Do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

DUTRA, Ricardo Marques; SZKLO, Alexandre Salem. A energia eólica no Brasil: Proinfa e o novo modelo do Setor Elétrico. In: **XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA-CBE**. *Anais...* 2006. p. 842-868.

DUTRA, Ricardo Marques; TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. Estudo de viabilidade econômica para projetos eólicos com base no novo contexto do setor elétrico. In: **Revista Brasileira de Energia**, v. 9, n. 1, p. 135-158, 2002.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Ministério de Minas e Energia: Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Energética Brasileira**. Nota Técnica. Rio de Janeiro, 2012.

GARCIA, Katia Cristina., PAZ, Luciana Rocha Leal da. MATOS, Denise Ferreira de., GIANNINI, Marcio., TAVARES, Marcelle. Indicadores Ambientais para gestão da sustentabilidade de Empreendimentos Eólicos. In: **BRAZIL WINDPOWER 2016 CONFERENCE AND EXHIBITION**. *Resumos...* Rio de Janeiro, Brasil.

GUENA, Ana Maria de Oliveira. **Avaliação ambiental de diferentes formas de geração de energia elétrica**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo 2007.

HELIO INTERNATIONAL. Disponível em: <<http://helio-international.org/>>. Acesso em: 29 maio 2017.

HELIO INTERNATIONAL. Sustainable Energy Watch (Sew) Indicator Selection And Rationale. Disponível em: <http://helio-international.org/wp-content/uploads/2017/03/Ind-Descrip.EN_all-10.pdf>. Acesso em: 29 maio 2017.

INATOMI, Thais Aya Hassan; UDAETA, Miguel Edgar Morales. Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos. In: **III WORKSHOP INTERNACIONAL BRASIL-JAPÃO: IMPLICAÇÕES REGIONAIS E GLOBAIS EM ENERGIA, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Resumos...** São Paulo, Brasil. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA - (IBGE) Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/sao-francisco-de-itabapoana/panorama>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA - (IBGE) Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rj>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://eventos.ibge.gov.br/iariw/informacoes-praticas>>. Acesso em: 29 nov. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 29 nov. 2015.

JUNG, C. F. **Metodologia Científica: Ênfase em Pesquisa Tecnológica**. 3ª Edição Revisada e Ampliada, 2003.

LIMA, Lilian Oliveira., GONZÁLEZ, Mario Orestes Aguirre., VASCONCELOS, Rafael Monteiro de., SANTOS, Marllen Aylla Teixeira dos., SANTOS, Marcus Eduardo Costa. Impactos Ambientais na Instalação de parques Eólicos no Nordeste Brasileiro. In: **BRAZIL WINDPOWER 2016 CONFERENCE AND EXHIBITION. Resumos...** Rio de Janeiro, Brasil.

LIMA, Sara., LINHARES, Adão., LIMA, Samuel., Influência de Características Ambientais no ciclo de vida dos componentes de turbinas Eólicas. In: **BRAZIL WINDPOWER 2016 CONFERENCE AND EXHIBITION. Resumos...** Rio de Janeiro, Brasil.

LUCON, Oswaldo; GOLDEMBERG, José. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. **Estudos avançados**, v. 23, n. 65, p. 121-130, 2009.

MACHADO, Fernando Vieira. Indicador de sustentabilidade energética—Um modelo de avaliação para a governança regulatória. In: **III ENCONTRO DA ANPPAS**, v. 3, 2006. Brasília, Brasil.

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, 2008.

MARTINS, F.R; PEREIRA, E.B; YAMASHITA, C.S; PEREIRA, S.V; NETO, S.L.M. Base de Dados climáticos-ambientais aplicados ao setor energético – Projeto SONDA. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 12, 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia: INPE, p. 3563-3570.

MELO, Elbia. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. **Estudos avançados**, v. 27, n. 77, p. 125-142, 2013.

MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES, Política Externa. A Rio+20 e seus resultados. Disponível em: <<http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/131-a-rio-20-e-seus-resultados>>. Acesso em: 29 maio 2017.

MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES, Política Externa. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Disponível em: <<http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/134-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods>>. Acesso em: 29 maio 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, Empresa de Pesquisa Energética – EPE. EPE apresenta banco de dados para formação de inventário eólico brasileiro. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/EPEapresentabancodedadosparaforma%C3%A7%C3%A3odeinvent%C3%A1rio%C3%B3licobrasileiro.aspx?CategoriaID=>>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, Proinfra. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfra>>. Acesso em: 05 abr. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Indicadores Ambientais. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/informacao-ambiental/sistema-nacional-de-informacao-sobre-meio-ambiente-sinima/indicadores>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Metodologia. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/informacao-ambiental/sistema-nacional-de-informacao-sobre-meio-ambiente-sinima/metodologia>>. Acesso em: 26 jul. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Protocolo de Quioto. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>>. Acesso em: 29 maio 2017.

MONTEIRO, Kátia Fernanda Garcez. G. **Análise de indicadores de sustentabilidade socioambiental em diferentes sistemas produtivos com palma de óleo no Estado do Pará**. Doktorarbeit, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2013.

MONTIBELLER FILHO, Gilberto. Ecodesenvolvimento e desenvolvimento sustentável; conceitos e princípios. **Textos de economia**, v. 4, n. 1, p. 131-142, 1993.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL (ONUBR), Agenda 2030. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/cupula/>> . Acesso em: 29 maio 2017.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL (ONUBR), Agenda 2030. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 29 maio 2017.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL (ONUBR), Rio+20 termina e documento final ‘O Futuro que Queremos’ é aprovado com elogios e reservas. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/rio20-termina-e-documento-final-o-futuro-que-queremos-e-aprovado-com-elogios-e-reservas/>>. Acesso em: 29 maio 2017.

NASCIMENTO, Thiago Cavalcante; DE MENDONÇA, Andréa Torres Barros Batinga; DA CUNHA, Sieglinde Kindl. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. **Cadernos EBAPE. BR**, v. 10, n. 3, p. 630-651, 2012.

OCDE; Governo do Estado da Bahia. Rumo a um desenvolvimento sustentável: indicadores ambientais. In: **Cadernos de Referencia Ambiental, 009**. CRA. 2002. Salvador, Brasil. 244 p.

ORTIZ, Gustavo Prouvot; KAMPEL, Milton. Potencial de energia eólica offshore na margem do Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. In: **V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA**. Santos, 2011.

PEREIRA, E.B; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; RUTHER, R.V. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. 60 p.

PEREIRA, M.G; SILVA, N.F; FREITAS, M.A.V. Energia Eólica de Pequeno Porte nos EUA: Elementos para o Debate. In: **VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR**.. Belo Horizonte, Brasil. 2016

PINTO, L. P., BEDÊ, L., PAESE, A., FONSECA, M., PAGLIA, A., & LAMAS, I. Mata Atlântica Brasileira: os desafios para conservação da biodiversidade de um *hotspot* mundial. **Biologia da conservação: essências**. São Carlos: RiMa, p. 91-118, 2006.

PLATAFORMA AGENDA 2030. Disponível em : <<http://agenda2030.com.br/>>. Acesso em: 29 maio 2017.

RABELO, Laudemira Silva; LIMA, Patrícia Verônica. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE: a possibilidade da mensuração do desenvolvimento sustentável. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 1, n. 1, 2009.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão. Disponível em: < <http://www.rj.gov.br/web/seplag/exibeconteudo?article-id=248435>>. Acesso em: 09 nov. 2016.

ROCHA, Adriana; ROSSI, Luiz Antonio. Geração de energia elétrica por fonte eólica—um estudo das cinco dimensões da sustentabilidade. **Coletânea de artigos energias solar e eólica**, v. 2, p. 241-247, 2003.

ROSAS, Rafael. **EPE disponibiliza informações sobre as operações dos parques eólicos**. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/brasil/3257604/epe-disponibiliza-informacoes-sobre-operacoes-dos-parques-eolicos>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

SENADO FEDERAL, Atividade Legislativa. Disponível em: <https://www.senado.gov.br/atividade/const/con1988/con1988_15.12.2016/art_225_.asp>. Acesso em: 10 abr. 2017.

SENADO FEDERAL, Conferência Rio-92 sobre o meio ambiente do planeta: desenvolvimento sustentável dos países. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/a-rio20/conferencia-rio-92-sobre-o-meio-ambiente-do-planeta-desenvolvimento-sustentavel-dos-paises.aspx>>. Acesso em: 29 maio 2017.

SEQUINEL, Maria Carmen Mattana. Cúpula mundial sobre desenvolvimento sustentável- Joanesburgo: entre o sonho e o possível. **Análise conjuntural**, v. 24, n. 11-12, p. 12-15, 2002.

SERRA AZUL GERADORA DE ENERGIA S.A/ Impacto Assessoria Ambiental Ltda. – **RIMA – Relatório de Impacto Ambiental do Complexo Eólico Serra Azul**. Impacto Assessoria Ambiental Ltda. 2015.

SILVA, Neilton Fidelis da. **Fontes de energia renováveis complementares na expansão do setor elétrico brasileiro: o caso da energia eólica**. 2006. 267 f. Tese de Doutorado – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

SIMAS, Moana Silva. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada.** 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva.** Novos estudos-CEBRAP, n. 79, p. 47-69, 2007.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica.** EPE: Rio de Janeiro, 2016.

VIANA, M.B; TAVARES, W.M; LIMA, P.C.R; CONSULTORIA LEGISLATIVA DA CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Sustentabilidade e as principais fontes de energia.** Brasília, 2015. P. 133-175.