

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE - PRODEMA
DISSERTAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MESTRADO

EDVANIL ALBUQUERQUE DUARTE JÚNIOR

**PROPOSTA DE USO DE FONTE DE ENERGIA HÍBRIDA
FOTOVOLTAICA-EÓLICA COMO FORMA DE OTIMIZAÇÃO DO
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO SUSTENTÁVEL NA ILUMINAÇÃO
DE ÓRGÃOS PÚBLICOS**

João Pessoa - PB
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE - PRODEMA
DISSERTAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MESTRADO

EDVANIL ALBUQUERQUE DUARTE JÚNIOR

**PROPOSTA DE USO DE FONTE DE ENERGIA HÍBRIDA
FOTOVOLTAICA-EÓLICA COMO FORMA DE OTIMIZAÇÃO DO
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO SUSTENTÁVEL NA ILUMINAÇÃO
DE ÓRGÃOS PÚBLICOS**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Aprígio de Menezes Júnior

**JOÃO PESSOA - PB
2020**

D812p Duarte Júnior, Edvanil Albuquerque.

Proposta de uso de fonte de energia híbrida fotovoltaica-eólica como forma de otimização do aproveitamento energético sustentável na iluminação de órgãos públicos / Edvanil Albuquerque Duarte Júnior - João Pessoa, 2020. 99 f. : il.

Orientação: Raimundo Aprígio de Menezes Júnior.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Energia Solar; Energia Eólica; Sistemas Híbridos.
I. Menezes Júnior, Raimundo Aprígio de. II. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

08/07/2020

https://sipac.ufpb.br/sipac/protocolo/documento/documento_visualizacao.jsf?imprimir=true&idDoc=1406449



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

DOCUMENTO COMPROBATÓRIO (ANEXO) Nº 5 / 2020 - PRODEMA - MEST (11.01.14.50)

Nº do Protocolo: 23074.049193/2020-80

João Pessoa-PB, 07 de Julho de 2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

EDVANIL ALBUQUERQUE DUARTE JÚNIOR

PROPOSTA DE USO DE FONTE DE ENERGIA HÍBRIDA FOTOVOLTAICA-EÓLICA COMO FORMA DE OTIMIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO SUSTENTÁVEL NA ILUMINAÇÃO DE ÓRGÃOS PÚBLICOS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA, da Universidade Federal da Paraíba como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente em 27 de Fevereiro de 2020, às 14h perante a seguinte Banca Examinadora:

Prof. Dr. Raimundo Aprígio de Menezes Júnior

Professor Orientador/ PRODEMA/UFPB

Prof. Dr. Edson Ramos de Andrade

Examinador Interno/ PRODEMA/UFPB

Prof. Dr. Charlie Salvador Gonçalves

Examinador Externo/ Departamento de Física -
CCEN/UFPB

(Assinado digitalmente em 08/07/2020 07:27)

CHARLIE SALVADOR GONCALVES
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 1836312

(Assinado digitalmente em 07/07/2020 11:18)

EDSON RAMOS DE ANDRADE
PROFESSOR MAGISTERIO SUPERIOR - VISITANTE
Matrícula: 3156974

(Assinado digitalmente em 07/07/2020 09:55)

RAIMUNDO APRÍGIO DE MENEZES JUNIOR
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 1866226

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpb.br/documentos/> informando seu número: 5, ano: 2020, documento(espécie): DOCUMENTO COMPROBATÓRIO (ANEXO), data de emissão: 07/07/2020 e o código de verificação: 3f954d6dbb

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à minha esposa Paloma e à minha filhota Lara, base de tudo, a quem dedico todo o meu amor e devoção. À família, alicerce poderoso, aos amigos, sempre amparando e engrandecendo a vida, dedico essa grandiosa vitória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus**, aos meus pais e aos familiares por fazer parte da longa caminhada até a realização deste sonho;

À minha amada e leal **esposa Paloma**, que contribui diretamente no meu crescimento pessoal por meio de um verdadeiro amor e de uma força enorme nos momentos alegres e difíceis, constituindo e construindo uma vida juntos;

À minha **filhota Lara** que, embora ainda seja um bebê, já me trouxe vastos e valiosos ensinamentos de vida;

Aos meus amigos, sempre na parceria;

Ao meu Orientador **Prof.º Dr. Raimundo Aprígio de Menezes Júnior**, pelos subsídios fornecidos a mim, conhecimento compartilhado e pela disponibilidade em me ajudar e por acreditar em meu potencial, à secretaria e à coordenação do PRODEMA, sempre dispostos a ajudar e a contribuir com o avanço dos alunos e da instituição;

Aos professores **Dr. Edson Ramos de Andrade**, **Dr. Bruno César Bezerra Nóbrega de Souza** e **Dr. Charlie Salvador Gonçalves**, que desde a banca de qualificação se dedicam a fornecer subsídios para o aprimoramento do projeto;

Ao querido amigo e grande parceiro de projeto, Manoel Víctor, por compartilharmos tanto tempo e dedicação a esse projeto de Mestrado;

Aos amigos e colegas do PRODEMA, cuja caminhada partilhada, repleta de desafios, felicidades, dissabores e de diversas aventuras, foi de engrandecimento marcante em minha vida;

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que hoje, eu estivesse a concluir mais esta etapa de minha vida;

AGRADEÇO!!!

“O que sabemos é gota, o que não sabemos é oceano.” (Isaac Newton)

RESUMO

PROPOSTA DE USO DE FONTE DE ENERGIA HÍBRIDA FOTOVOLTAICA-EÓLICA COMO FORMA DE OTIMIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO SUSTENTÁVEL NA ILUMINAÇÃO DE ÓRGÃOS PÚBLICOS

Diversos aspectos relacionados a exploração predatória dos recursos naturais, a exemplo da poluição da biota, da retirada descontrolada de madeira e da extinção de habitats e de espécimes em decorrência da manipulação humana da terra, levam ao estudo da melhoria das condições de uso dos recursos naturais, como forma de assegurar o futuro do planeta. Modificação de ambientes e extração de recursos naturais são dois dos fatores diretamente ligados à geração de energia, bem de consumo de primeira necessidade e diretamente ligado à vida em sociedade e ao desenvolvimento de uma nação. Esses fatores fizeram com que o homem predasse bens e recursos naturais por milhares de anos. O cenário atual, a nível global, busca o desenvolvimento e a implementação de tecnologias para que a geração energética passe a ter como protagonista as fontes renováveis - "tecnologias limpas". O presente trabalho está relacionado com essa perspectiva por meio do uso de tecnologia híbrida (fotovoltaica e eólica), como forma de demonstrar que o emprego da tecnologia híbrida, possui baixo custo de produção, diante da capacidade de redução dos custos do sistema elétrico convencional (rede/concessionária), suscitando o debate acerca da ausência de políticas públicas mais efetivas em termos de implementação desse tipo de energia.

Palavras-chave: Energia Solar; Energia Eólica; Sistemas Híbridos; Políticas Públicas.

ABSTRACT

PROPOSAL TO USE A PHOTOVOLTAIC-WIND HYBRID ENERGY SOURCE AS A WAY TO OPTIMIZE SUSTAINABLE ENERGY RECOVERY IN THE LIGHTING OF PUBLIC ORGANS

Several aspects related to the predatory exploitation of natural resources, such as the pollution of biodiversity, the unregulated removal of wood and the extinction of habitats and specimens due to the human manipulation of the land, lead to the study of improvements in the conditions of treatment and use of nature, as a way of ensuring the future of the planet. Modification of environments and extraction of natural resources are two of the factors directly related to the generation of energy, as well as consumption of first necessity and directly linked to the life in society and to the development of a Nation, which made the man prey goods and natural resources for thousands of years. The current scenario, at a global level, seeks the development and implementation of technologies for energy generation to take the leading role of renewable sources - "clean technologies". The present work aims to approach this scenario, through the elaboration of illumination system of the Prodema Laboratory of the UFPB through the use of hybrid technology (photovoltaic and wind), as a way to demonstrate that the use of hybrid technology, has a low cost of production, due to the reduction capacity of the conventional electric system (network / concessionaire), raising the debate about the absence of more public policies and more effective in terms of implementation.

KEY WORDS: Solar Energy; Wind Energy; Hybrid Systems; Public Politics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação entre objetivo geral, processo utilizado e finalidade	20
Figura 2: Evolução da capacidade global instalada de energia solar fotovoltaica ..	22
Figura 3: Estacionamento anexo ao Centro de Tecnologia da UFRJ	23
Figura 4: Energia Eólica - Evolução da capacidade instalada no Brasil	25
Figura 5: Energia eólica no Brasil.....	26
Figura 6: Usina Híbrida da empresa EGP no interior de Pernambuco	27
Figura 7: Maior parque de energia híbrida do mundo está sendo construído na Índia	28
Figura 8: Exemplo de correntes Contínua e Alternada.....	33
Figura 9: Placas fotovoltaicas Mono, Poli, Cuasicristalina e Amorfa	36
Figura 10: Residência com sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica ...	37
Figura 11: Turbinas eólicas de eixo vertical (esq) e de eixo horizontal (dir)	39
Figura 12: Turbinas eólicas de pequeno, médio e grande porte	40
Figura 13: Geração, distribuição e armazenamento de energia eólica “off grid”	40
Figura 14: Sistema híbrido fotovoltaico-eólico de geração de energia elétrica	43
Figura 15: Diferenças entre os sistemas “ongrid” e “offgrid”	44
Figura 16: Oferta interna de energia 2016/2017.....	45
Figura 17: Balanço energético, em gráficos de 30 anos, de 1970 a 2030.....	49
Figura 18: Ranking nacional de evolução na utilização de painéis fotovoltaicos.....	55
Figura 19: Telhado de edificação francesa com arborização e placa fotovoltaica ...	58
Figura 20: Dados contidos na base Terraclimate	63
Figura 21: Estrutura física/iluminação - laboratório PRODEMA/UFPB	66
Figura 22: Fluxograma - funcionamento do software de modelagem.....	67
Figura 23: Mapa de Radiação e dados da radiação local gerados pelo Google Earth Engine, da cidade de João Pessoa-PB, de 2008 a 2018	67
Figura 24: Gráfico Período x Radiação, Corrente e Potência, João Pessoa-PB de 2008 a 2018	68
Figura 25: Gráfico Período x Radiação, Corrente e Potência, João Pessoa-PB de 2008 a 2018	69
Figura 26: Mapa Eólico (velocidade) e dados dos ventos locais gerados pelo Google Earth Engine, da cidade de João Pessoa-PB, de 2008 a 2018	70

Figura 27: Gráfico Período x Velocidade dos Ventos, Corrente e Potência, João Pessoa-PB de 2008 a 2018	70
Figura 28: Gráfico Período x Radiação, Corrente e Potência, João Pessoa-PB de 2008 a 2018	71
Figura 29: Gráfico Período x Potência Solar, Potência Eólica, Potência Solar + Eólica , Médias Anuais, João Pessoa-PB de 2008 a 2018.....	72
Figura 30: Gráfico Período x Potência Solar, Potência Eólica, Potência Solar + Eólica , Médias Anuais, Campina Grande e Patos-PB , de 2008 a 2018	73
Figura 31: Gráfico Período x Potência Solar, Potência Eólica, Potência Solar + Eólica , Médias Anuais, Patos-PB de 2008 a 2018.....	74
Figura 32: Gráfico Período x Potência Solar, Potência Eólica, Potência Solar + Eólica , Médias Anuais, João Pessoa + Campina Grande + Patos de 2008 a 2018	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre as políticas públicas em escala mundial e em escala nacional (Brasil)	51
Tabela 2 - Comparativo entre programas de fomento ambiental em energias renováveis em escalas Estadual e Municipal	53
Tabela 3 - Diferenças entre a legislação paraibana e a legislação pernambucana	60
Tabela 4 - Detalhamento dos parâmetros Terraclimate	64
Tabela 5 - Detalhamento dos parâmetros selecionados na base de dados Terraclimate.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ABEEÓLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	Balanco Energético Nacional
BNB	Banco do Nordeste Brasileiro
CEAR	Centro de Energias Alternativas e Renováveis
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CERSA	Comitê de Energia Renovável do Semiárido
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GWEC	Conselho Global de Energia Eólica
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviço
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IPVA	Imposto sobre Propriedade de Veículo Automotor
IRENA	Agência Internacional de Energia Renovável
MEN	Matriz Energética Nacional
MME	Ministério de Minas e Energia
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
NDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
PESUSTENTÁVEL	Programa de Sustentabilidade na Atividade Produtiva do Estado de Pernambuco
PNMC	Política Nacional sobre Mudanças do Clima
PPPs	Parcerias Público Privadas
PROAP	Programa de Apoio à Pós-Graduação

PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PRODEMA	Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
SIN	Sistema Nacional Interligado
SHGE	Sistema Híbrido de Geração de Eletricidade
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1.1	Tema e justificativa	16
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo Geral.....	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	Estrutura da dissertação	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Energia solar fotovoltaica – Cenários global, Brasil e Nordeste	21
2.2	Energia eólica – Cenário Global, Brasil e Nordeste	23
2.3	Sistema Híbrido de Geração de Energia (SHGE)	26
2.4	Trabalhos científicos sobre utilização de SHGE eólico fotovoltaico	28
2.5	Conceitos elementares de eletricidade – energia elétrica	32
2.6	Geração de energia elétrica	35
2.6.1	Modelo fotovoltaico.....	36
2.6.2	Modelo eólico	37
2.6.3	Modelo híbrido.....	39
2.6.4	Sistemas "on grid" e "off grid"	43
2.7	Políticas Públicas – Energias Renováveis	44
2.7.1	Políticas públicas do setor energético renovável em nível mundial.....	46
2.7.2	Políticas públicas do setor energético renovável em nível nacional.....	47
2.7.3	Programas estaduais e municipais de fomento ambiental envolvendo energias renováveis.....	51
2.7.4	Programas de fomento ambiental envolvendo energias renováveis no estado da Paraíba.....	54
2.7.5	Fragilidade da legislação que regulamenta os programas de energias renováveis no estado da Paraíba.....	56
2.7.5.1	Estudo comparado entre a legislação paraibana e a pernambucana de fomento ao uso de energias eólica e fotovoltaica por meio da concessão de crédito presumido de ICMS.....	57
3	SISTEMA DE ANÁLISE PREDITIVA DE POTÊNCIA SOLAR-EÓLICA	61
3.1	Proposta de modelo híbrido a partir de software de modelagem	61

3.1.1	Google Earth Engine	62
3.1.1.2	Base de dados Terraclimate	63
3.1.2	Software de predição de potência solar-eólica	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.1	Perspectivas tecnológicas	67
4.1.1	Processamento de dados da cidade de João Pessoa-PB.....	69
4.1.1.1	Obtenção de dados de radiação solar - geração fotovoltaica.....	70
4.1.1.2	Obtenção de dados de velocidade do vento - geração eólica	71
4.1.1.3	Obtenção de dados de potência solar + eólica.....	72
4.1.2	Obtenção de dados de potência solar + eólica - Campina Grande e Patos .	73
4.1.3	Panorama dos dados obtidos nas cidades paraibanas de João Pessoa, Campina Grande e Patos	74
4.2	Perspectivas ambientais	77
4.3	Perspectivas sociais e econômicas	79
4.4	Perspectivas legislativas	81
4.5	Proposições ao Poder Legislativo	83
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES	84
	REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema e justificativa

A tendência de utilização de fontes renováveis de geração de energia elétrica vem se propagando em todo o planeta. A busca por matriz (es) energética (s) mais limpa (s) e com menor impacto ambiental, também é tendência atual no Brasil (HINRICHS, 2014), que possui modelo fundado na utilização em larga escala de combustíveis fósseis e em diversas hidrelétricas de grande porte, ganhando força a cada nova campanha de conscientização a respeito da necessidade do uso/adoção de energias renováveis, menos danosas ao meio ambiente e, tanto quanto possível, mais eficientes.

No início dos anos 2000, o Governo Federal Brasileiro lança Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), por meio da Lei 10.438/2002, incentivando o uso de fontes de geração de energia renováveis. A crítica a esse marco legal é a ausência da energia fotovoltaica em seu bojo.

Em 2012, com a publicação da Resolução Normativa 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (BRASIL, 2012), foram estabelecidas condições gerais para acesso de minigeração e microgeração distribuída a sistemas de distribuição de energia.

Assim, haja vista a necessidade de fomento a projetos com viés econômico e tecnológico, em prol da sociedade, sem abrir mão da conservação dos aspectos ambientais, o presente trabalho tem como foco demonstrar que por meio do uso de sistema híbrido de geração de energia elétrica voltado para iluminação de órgãos públicos é possível gerar uma série de benefícios multifatoriais, inclusive de interesse social e governamental, o que fortalece o estímulo para a elaboração e aprimoramento das políticas públicas de estímulo para o setor geração elétrica.

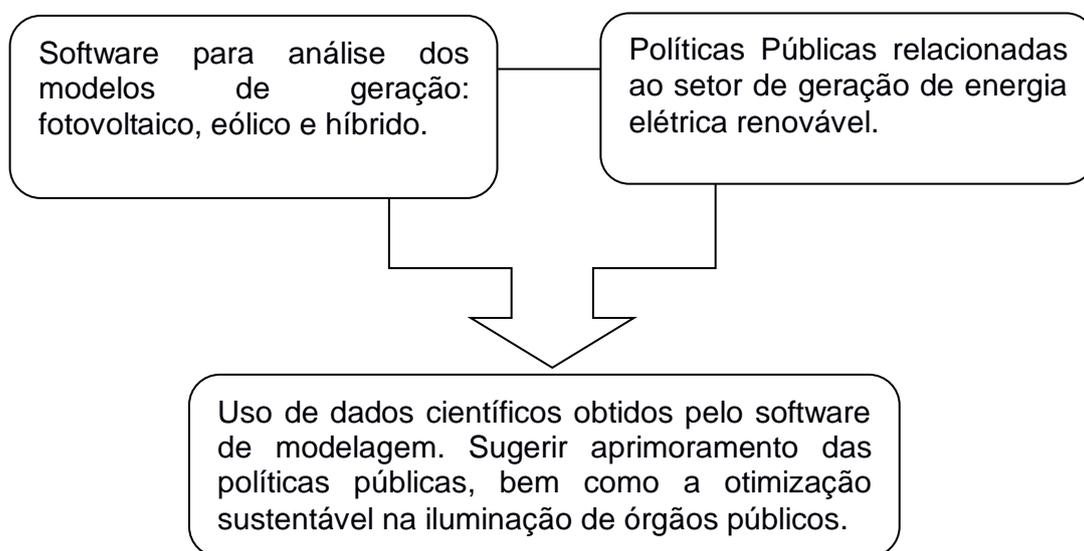
1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Criação de software que, por meio de modelo matemático de sensoriamento remoto aplicado ao estudo climatológico, demonstre que o uso de sistema híbrido (eólico-fotovoltaico) pode ser mais eficiente para iluminação de órgãos públicos e a sugestão do aprimoramento das políticas públicas voltadas ao setor de geração de energia elétrica sustentável a partir de maior embasamento científico.

A Figura 1 ilustra a relação entre objetivo geral, processo utilizado e resultado finalístico desta pesquisa: criação de software de modelagem e a sugestão de aprimoramento de políticas públicas, inclusive como forma de otimização do aproveitamento energético sustentável na iluminação de órgãos públicos.

Figura 1: Relação entre objetivo geral, processo utilizado e finalidade



Fonte: Criada pelo autor (2020)

1.2.2 Objetivos Específicos

- 1 Construir software de modelagem matemática e de sensoriamento remoto, por meio das plataformas “Google Earth Engine” e base de dados “Terraclimate”;
- 2 Gerar dados e gráficos que demonstrem a viabilidade do funcionamento do sistema híbrido voltado para a iluminação do Laboratório do PRODEMA;
- 3 Demonstrar a eficiência energética, ambiental, social e econômica do sistema híbrido eólico-fotovoltaico para projetos de iluminação de órgãos públicos;
- 4 Analisar as políticas públicas vigentes e voltadas ao setor de geração de energia elétrica sustentável no Estado da Paraíba, elencando gargalos legislativos existentes e sugerindo possíveis soluções;
- 5 Correlacionar propostas de uso de mini e de microssistema de energia híbrida com as políticas públicas vigentes no Estado da Paraíba, propondo o fomento a novos incentivos, demonstrando a viabilidade prática de uma matriz energética mais limpa, renovável, sem evolução de custos e com intuito de atender as necessidades sociais em comunidades carentes e/ou mais isoladas por meio de políticas públicas que estimulem o setor.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente pesquisa desenvolve-se em cinco capítulos.

O capítulo I trata do tema e da justificativa, além dos objetivos gerais e específicos.

O capítulo II tem foco na exposição do marco teórico, apresenta conceitos elementares acerca de energia elétrica, de geração de energia elétrica, em contexto global, nacional e regional, a respeito da evolução das fontes de energia renovável fotovoltaica e eólica, bem como acerca das políticas públicas que envolvem as energias renováveis objeto de estudo.

O capítulo III trata dos procedimentos metodológicos, em que será apresentado o software de análise matemática e de sensoriamento remoto, que utiliza dados extraídos do software Google Earth Engine e da plataforma Terraclimate, como forma de demonstrar que a análise dos dados extraídos das ferramentas tecnológicas de precisão apontam que o potencial híbrido eólico fotovoltaico mostra-se superior ao potencial isolado híbrido e fotovoltaico.

O Capítulo IV é pautado nos resultados e na discussão acerca dos pontos sensíveis relacionados ao software de modelagem que estimou os modelos fotovoltaico, eólico, híbrido, relacionando-os às políticas públicas que podem fomentar estímulos político-governamentais de fomento ao setor.

O capítulo V contempla a conclusão da presente dissertação, sendo sintetizados e analisados os resultados e sugeridos temas a serem abordados por meio de novos trabalhos, além das considerações finais, que visam discutir e aprimorar o presente objeto de estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A sociedade global tem seu desenvolvimento interligado ao domínio do ciclo que envolve a utilização dos recursos naturais como forma de geração de energia.

Com o advento da revolução industrial, a modernização desenvolvimentista atingiu patamar mais voraz em termos de consumo energético, em decorrência da utilização de mais máquinas, em substituição de trabalho decorrente da força humana, fazendo com que o ocidente passe de sociedade predominantemente rural, pautada em cultura de subsistência, para modelo urbano, rico e com uso amplo de tecnologias modernas desenvolvidas por meio do avanço científico, “energizado por combustíveis fósseis”. (PORTILHO, 2004)

Conforme estudo da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS, 2018), a transição para um futuro de energia sustentável visando a compatibilidade com a preservação da integridade dos recursos naturais, trata-se de um dos grandes desafios para a humanidade neste século.

As fontes energéticas são classificadas em razão de sua renovabilidade, sendo considerados aspectos como origem, disponibilidade e capacidade de

geração de energia. Elas são divididas em dois grandes grupos: (a) fontes renováveis e (b) fontes não renováveis.

A matriz energética nacional ainda é largamente pautada no uso de fontes energéticas não renováveis, a exemplo das usinas termelétricas, que produzem energia por meio da queima de combustíveis fósseis, não sendo muito eficientes na produção e gerando considerável impacto ambiental. Contudo, com o uso de hidrelétricas, fonte menos poluidora e os recentes fomentos governamentais ao uso de fonte energética fotovoltaica, passa a haver sinalização acerca da tendência a ser adotada pela nossa matriz energética nacional, com o uso de fontes renováveis e que agridam menos a natureza (GOLDEMBERG, 2003).

O presente trabalho tem por escopo o estudo acerca das matrizes energéticas eólica, fotovoltaica, bem como o modelo híbrido de geração de energia elétrica pautado nestas duas fontes, que serão melhor detalhados na sequência.

2.1 Energia solar fotovoltaica – Cenários Global, Brasil e Nordeste

A energia elétrica oriunda do sol, com potência que circunda os 174 mil Terawatts (CRESESB, 2006) é captada por meio da irradiação solar e os efeitos dessa radiação (luz e calor) dão origem aos sistemas termoelétrico e fotovoltaico, sendo este último, o objeto de análise desta pesquisa, neste segmento.

A energia solar fotovoltaica, com cerca de 95 GW instalados em nível global no curso do ano de 2017, especialmente nos EUA, na Índia e na China, já figura, depois da hidráulica e da eólica, como a terceira fonte de energia renovável mais importante em termos de capacidade de produção, em nível mundial, sendo utilizada por mais de cem países (PORTAL SOLAR).

De acordo com dados da IEA, a capacidade acumulada global nos últimos anos, resultou em 402,5 GW, crescimento, em 2018, de cerca de 98 GW em relação ao ano anterior. Os dados de 2018 também revelam que o continente asiático já possui 54,5% da capacidade total instalada em nível mundial (IEA, 2018).

Figura 2: Evolução da capacidade global instalada de energia solar fotovoltaica



<https://cleantechnica.com/2018/03/19/global-solar-market-installed-98-9-gigawatts-in-2017/>

Fonte: ecodebate.com.br

No Brasil, a energia solar fotovoltaica produzida ainda representa fração pouco representativa da demanda nacional por energia elétrica. O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2026), contudo, estima que a capacidade instalada de geração de energia solar fotovoltaica chegue a 13 GW até 2026, sendo 9,6 GW de geração centralizada e 3,4 GW de geração distribuída. A proporção da potência solar chegará a representar 5,7% da potência energética total. (BRASIL, 2017a)

Dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2019) evidenciam que os maiores índices de radiação solar se apresentam nos seguintes estados: Bahia (BA), Piauí (PI), Paraíba (PB), Rio Grande do Norte (RN), Ceará (CE), Tocantins (TO), Goiás (GO), Minas Gerais (MG) e São Paulo (SP).

Políticas públicas voltadas para o fomento de geração de energia elétrica renovável, desencadeiam efeitos benéficos em todo o ciclo produtivo do setor de “energia verde”, além de apresentar e estimular sua utilização pelo público em geral.

A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a exemplo da Figura 3, adotou política de utilização de painéis solares fotovoltaicos no estacionamento do Centro de Tecnologia, conta com 414 painéis fotovoltaicos instalados, com capacidade instalada de 99Kwp (Quilowatts-Pico), chegando a

gerar 140 mil KWh por ano, energia elétrica suficiente para abastecer até 70 casas residenciais.

Figura 3: Estacionamento anexo ao Centro de Tecnologia da UFRJ



Fonte: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019

Conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2018), os estados que apresentam o maior número de painéis fotovoltaicos à rede elétrica são Minas Gerais (MG), Rio Grande do Sul (RS) e São Paulo (SP). Esses três estados, juntos, representam cerca de 50% de toda a potência instalada do país.

Destaque para o estado de Minas Gerais (MG), pioneiro na isenção do ICMS para circulação de energia gerada para usinas fotovoltaicas com capacidade de geração de até 5 MW (a média é 1 MW) e para compra de equipamentos vinculados ao modelo fotovoltaico - Lei 22.549/2017 (MINAS GERAIS, 2017).

A energia elétrica no Nordeste é gerada, basicamente, por meio de fonte hídrica, sendo o rio São Francisco seu principal provedor. No entanto, dados do Operador Nacional do Sistema indicam que de 2012 a 2017, a geração de fonte hidrelétrica no rio São Francisco foi reduzida em 71% (ONS, 2018).

De 154 hidrelétricas em operação, 69 usinas possuem reservatório e 85 não gozam de capacidade de armazenamento. (FREIRE, 2018)

Os gargalos do sistema de produção de energia por meio de usinas hidrelétricas, especialmente após a ocorrência de anos, em sequência, de baixa

pluviometria, contribuíram fortemente para o crescimento da capacidade instalada de fontes de geração de energia alternativa mais sustentáveis.

A região Nordeste brasileira possui radiação média diária de 4,5 a 6 Kwh (INPE, 2018). Diante desse notável potencial, o Banco do Nordeste deu importante passo rumo ao uso da energia solar fotovoltaica, lançando, no ano de 2016, linhas de financiamento para de projetos de mini e de micro geração de energia que fotovoltaica, o FNE SOL e o AGROAMIGO SOL (BNB, 2018).

A usina solar fotovoltaica de Tauá-CE, foi a primeira a gerar energia elétrica em escala comercial no Brasil. Construída ao custo de R\$ 10 milhões, opera desde 2011, possui 4.680 painéis fotovoltaicos, com 1 MW de capacidade de geração de energia elétrica limpa (ABSOLAR, 2019).

A Usina Solar Flutuante, construída no reservatório de Sobradinho-BA, da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, encontra-se em fase final de implantação de 1 MWp e, até o fim de 2020, contará com outros 1,5 MWp instalados, ao custo de R\$ 56 milhões. A Chesf também projeta, para 2020, a instalação de 1,25 MWp fotovoltaico flutuante no reservatório da Usina de Boa Esperança-PI (CHESF, 2020).

A seção, já em operação, tem capacidade de 475 MW e foi construída ao custo de R\$ 1,4 bilhão. A segunda seção, prevista para operar ainda em 2020, conta com 133 MW de capacidade de geração e custou R\$ 422 milhões (BLUESOL, 2020).

2.2 Energia eólica – Cenário Global, Brasil e Nordeste

A energia eólica, popularmente conhecida como “energia do vento” é a energia cinética advinda de massas de ar em constante movimento. Sua geração decorre da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, por meio de mecanismos movimentados por turbinas eólicas (Lei de Faraday), que também são conhecidas por aerogeradores.

Tal qual a energia solar fotovoltaica, a energia eólica é limpa por não gerar poluição/degradação ambiental. Ela é utilizada há milhares de anos. O primeiro registro de turbina eólica comercial, com ligação direta na rede elétrica pública, data de 1976 (CARVALHO, 2003).

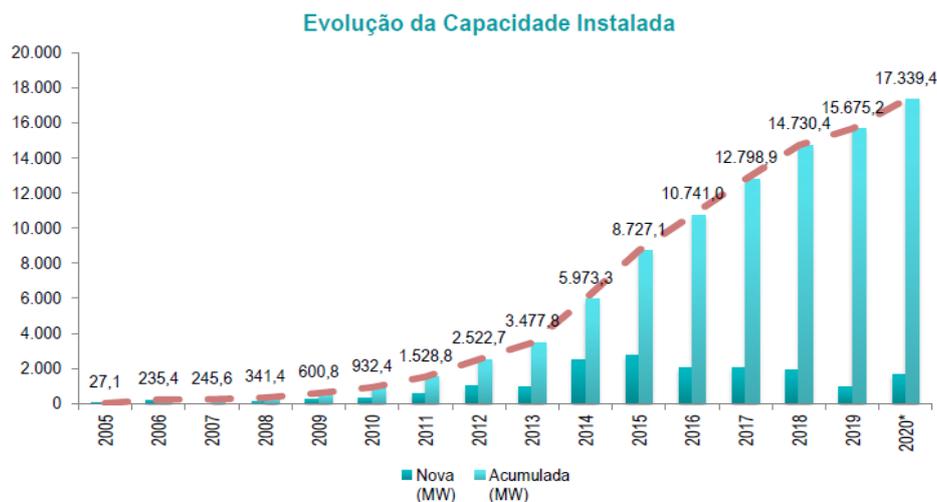
Nos termos do Relatório do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC, 2018) os dados dos últimos 17 anos apontam para o crescimento exponencial na capacidade instalada global de geração de energia eólica. Em 2001, era de 23 GW, enquanto em 2007 já eram quase 100 GW que se transformaram, em 2017, em 539,58 GW.

Ainda segundo o Relatório, a China continua sendo a nação líder em instalação anual, bem como na capacidade acumulada. Em números de 2017, o país acrescentou 19,5GW de energia eólica, totalizando 188,2GW acumulados, o que representa 35% do total mundial acumulado. Na sequência, Estados Unidos

No Brasil, o potencial de geração elétrica por meio da fonte eólica é considerável. Conforme dados do Ministério de Minas e Energia, em 2001, foi lançado o primeiro Atlas de Potencial Eólico Brasileiro que aferiu em cerca de 143GW o potencial nacional, para torres de até 50m de altura, podendo chegar a cerca de 522GW desconsiderada a altura.

O crescimento da utilização da fonte eólica tem se mostrado consistente, saltando de menos de 1GW em 2010 para mais de 14GW produzidos em 2018, conforme dados da figura 4.

Figura 4: Energia Eólica - Evolução da capacidade instalada no Brasil



Fonte: shareenergy.com.br (2019)

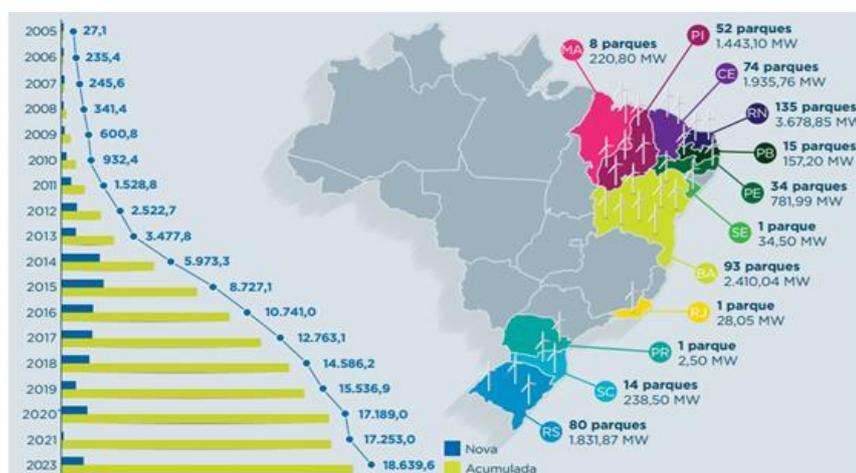
Esse quantitativo de energia eólica equivale ao consumo médio residencial de aproximadamente 80 milhões de pessoas, o suficiente para atender quase 14% do Sistema Nacional Interligado (SIN).

Conforme dados constantes no Plano Decenal de Expansão de Energia 2026, estudo elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, a estimativa é a de que a tecnologia eólica cresça cerca de 11% ao ano até 2026, ao custo de 86 bilhões de reais, estimando-se alcançar 28,5GW de potência eólica instalada. (BRASIL, 2017a)

Quanto a região Nordeste, conforme dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica, 2016), que reúne diversas empresas do setor eólico, concentra a maior capacidade de produção no país.

Os dados contidos na Figura 5, referente ao ano de 2018, evidenciam a evolução da capacidade instalada, bem como o quantitativo de parques eólicos instalados em cada estado, tendo a região Nordeste especial destaque.

Figura 5: Energia eólica no Brasil



Fonte: ABEEÓLICA/ANEEL (2019)

Ainda com relação aos dados contidos na imagem 6 e segundo estimativa da Nota Técnica elaborada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), baseada na expansão de projetos já contratados em leilões de energia, a evolução da capacidade instalada de produção energética eólica no país, até 2024, atingirá o total de 18,795GW (BRASIL, 2017b).

Em termos comparativos, enquanto o “fator capacidade”, que mede a produtividade média do setor, em nível mundial, circunda os 25%, no Brasil,

entre 2017 e 2018, a média do fator capacidade foi de 42,5%. Na região Nordeste, durante a “safra dos ventos”, que ocorre entre agosto e setembro o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2018) já registrou picos maiores que 80%, o que atesta a excelente qualidade dos ventos neste ponto do país.

2.3 Sistema Híbrido de Geração de Energia (SHGE)

O Sistema Híbrido de Geração de Eletricidade (SHGE) eólico-fotovoltaico, trata-se de sistema versátil que tem por base a instalação e o funcionamento comum de células fotovoltaicas aliadas a geradores eólicos, unindo duas fontes de geração de energia, renováveis limpas e distintas, para que operem um sistema em conjunto e de forma simultânea (SILVA, 2015).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2008a), os primeiros sistemas híbridos de produção de energia elétrica foram implementados na década de 1970, como tentativa de fornecer alternativa energética em decorrência da crise mundial do petróleo de 1973 e, desde então, vem ganhando espaço.

O SHGE tem por ideário a aplicação voltada a atender sistemas de menor proporção, a serem instalados em regiões mais isoladas, para atender pequenas comunidades distantes dos grandes centros urbanos. Desde o evento conhecido como “apagão”, em 2001, o interesse no uso desse tipo de sistema elétrico ganha espaço em outras finalidades, especialmente na melhoria e no aprimoramento de tecnologias favoráveis à modalidade híbrida (BRASIL, 2008a).

A classificação dos sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos ocorre mediante intervalos de capacidades nominais, conforme dados fornecidos pelo sítio eletrônico o setor elétrico (LEONI; CARVALHO; BARBOSA, 2017):

1. *Microsistema híbrido: Capacidade < 1 kW;*
2. *Sistema híbrido de pequeno porte: $1 \text{ kW} \leq \text{Capacidade} < 100 \text{ kW}$;*
3. *Sistema híbrido de médio porte: $100 \text{ kW} \leq \text{Capacidade} < 1.000 \text{ kW}$;*
4. *Sistema híbrido de grande porte: Capacidade > 1.000 kW.*

A primeira usina híbrida eólico-fotovoltaica instalada no Brasil data de 2014, pela empresa “Enel Green Power” (EGP), em Tacaratú-PE, conforme Figura 6.

Figura 6: Usina Híbrida da empresa EGP no interior de Pernambuco



Fonte: Jornal "investvida.com.br" (2019)

O parque de Tacaratú possui duas usinas fotovoltaicas, totalizando a potência instalada de 11MW. O parque eólico conta com a geração de 80MW. Juntos, são capazes de atingir a geração de 340GW/h por ano, volume suficiente para abastecer cerca de 250 mil residências.

A maior usina híbrida eólica-fotovoltaica do mundo está sendo instalada desde março de 2019, no estado de Andhra Pradesh, no sudoeste da Índia e envolve a geração estimada de 120MW de energia fotovoltaica e 40MW de energia eólica, ao longo de 400 hectares.

Figura 7: Maior parque de energia híbrida do mundo está sendo construído na Índia



Fonte: pplware.com.pt (2019)

Com efeito, a maior fonte de uso do SHGE eólico-fotovoltaico continua sendo em microssistemas residenciais urbanos e também em localidade afastadas ou até isoladas da rede elétrica das concessionárias (LEONI *et al.*, 2017).

Santos (SANTOS, 2017) complementa que esse tipo de sistema costuma ser utilizado por pequenas redes isoladas e/ou para aplicações específicas, a exemplo de bombeamento de água, carga de baterias e dessalinização de água.

Nesse sentido, destaca-se, por oportuno, o trabalho que vem sendo desenvolvido pelo Comitê de Energia Renovável do Semiárido – CERSA (CERSA, 2018), que implementa diversos projetos em cidades do semiárido nordestino, dentre eles eólicos e fotovoltaicos, voltados para bombeamento de água, iluminação e dessalinização, em atenção às necessidades da comunidade local.

2.4 Trabalhos científicos sobre utilização de SHGE eólico fotovoltaico

O sistema híbrido eólico fotovoltaico vem sendo utilizado em distintas aplicações e em diversos dimensionamentos, o que faz com que o espectro de utilização venha se desenvolvendo, além de reforçar a condição de viabilidade técnica do objeto de estudo do presente trabalho. Ressalta-se que o estado da Paraíba possui destaque na região Nordeste quanto ao potencial de geração de energia por meio do modelo híbrido, conforme apurou DE LIMA, em sua pesquisa.

Em sua tese (DE LIMA, 2016), foi confeccionado mapa de complementaridade energética dos estados do Nordeste em relação aos anos de 2010 e 2011, cruzando resultados dos potenciais de radiação solar e velocidade do vento, identificando áreas mais propícias para uso de sistema híbrido eólico fotovoltaico, mapeando a viabilidade do sistema sob cenário de crise energética. Apurou, também, que na faixa longitudinal de variação entre 36W e 44W é que encontram-se os melhores resultados e que os estados com condições mais favoráveis ao uso do sistema durante o período analisado são: Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia.

O modelo híbrido em estudo também pode ser implementado em diversas localidades, inclusive nas mais longínquas, devido a condição de complementaridade entre os modelos eólico e fotovoltaico, desde que compatível com as condições locais de vento e de radiação, contando, ainda, com a possibilidade de construção de sistemas de porte reduzido e de baixo

custo, de acordo com as constatações dos mestres Wesly Jean, Danilo Diógenes e dos doutores Orlando Moreira e Elvis Richard.

Já a pesquisa de Jean (JEAN, 2017), teve como foco a proposição de microsistema eólico fotovoltaico “off-grid” para fornecimento de energia elétrica para vilarejo isolado do Haiti. Por meio de software de modelagem, comprovou-se, em diversos cenários, a viabilidade técnica do sistema, bem como a relação de complementaridade do modelo híbrido. O projeto possui baixo custo e o governo haitiano sinalizou a intenção de arcar com as despesas de implementação.

A pesquisa de Moreira Araújo et al. (MOREIRA ARAÚJO et al., 2015) por meio de software de análise matemática e de sensoriamento remoto, evidencia a possibilidade de fornecer energia elétrica por meio de sistema híbrido eólico fotovoltaico aos agricultores que vivem no assentamento Eldorado II, em Sidrolândia-MS, ressaltando a complementaridade do modelo híbrido, bem como sua facilidade de adaptação frente à existência de peculiaridades locais de cada projeto.

A pesquisa de Cachina de Carvalho et al. (CACHINA DE CARVALHO, 2016), elaborou modelo conceitual de sistema híbrido eólico fotovoltaico de geração de energia elétrica vinculado o software de modelagem como forma de demonstrar a possibilidade de implementação desse sistema em quaisquer localidades, inclusive as isoladas e sem conexão com a rede elétrica pública, a partir de sua adequação às peculiaridades locais.

Em sua pesquisa, Tello Ortiz (TELLO ORTIZ, 2014), corrobora esse entendimento, ao fazer uso da energia eólica como complemento da geração fotovoltaica, por meio de software de modelagem, conclui que fomenta benefícios que vão além do fator capacidade, da redução da variabilidade de geração de energia elétrica e da redução do valor do KWh, proporcionando, ainda, a redução nos custos de implantação em razão do compartilhamento de área e de equipamentos.

O sistema híbrido eólico fotovoltaico pode, ainda, ser utilizado para aplicação específica, a exemplo de projetos de iluminação predial, de irrigação rural e, dentre outras possibilidades, o bombeamento de água, conforme pesquisa realizada pelos mestres Marcos de Oliveira e Marcelo Ferreira.

Oliveira Santos (OLIVEIRA SANTOS, 2017), tratou de aplicação de sistema híbrido eólico fotovoltaico para bombeamento de água e demonstrou que o uso isolado dos modelos fotovoltaico e eólico fez com que os sistemas não completassem o tempo de funcionamento programado, enquanto o sistema híbrido manteve a bomba hidráulica em operação durante o tempo programado. Restou comprovado que o hibridismo faz com que a geração eólica e fotovoltaica se complementem, conferindo mais eficiência ao sistema.

De Arruda et al., em seu trabalho conclusivo de Mestrado (DE ARRUDA, 2015), apresenta proposta de dimensionamento de sistema híbrido eólico solar de geração de energia elétrica para bombeamento de água em função do menor custo por meio de software de modelagem, em que, após testes com o uso isolado dos modelos fotovoltaico e eólico, a configuração de menor custo foi a do modelo híbrido (55% Eólico e 45% Fotovoltaico) ao custo de 1,52 R\$/kWh.

Os estudos acerca da implementação dos sistemas híbridos eólicos fotovoltaicos podem ser realizados por meio de mapas de potencial de radiação solar e velocidade do vento, mapas de complementaridade energética, sistemas físicos instalados e em funcionamento, bem como de software de análise matemática e de sensoriamento remoto, que podem fornecer dados precisos e em condições de apuração adaptável a cada aplicação, a exemplo dos trabalhos produzidos pelo mestre Gilberto Pianezzola e pelo doutor Jair Antônio Cruz.

Pianezzola (PIANEZZOLA, 2006), trata do estudo sobre o potencial geográfico local para instalação de sistemas híbridos eólico fotovoltaico no estado do Rio Grande do Sul, por meio da leitura de mapas de velocidade dos ventos à dez metros de altura e da radiação solar horizontal à 45° de inclinação. Os mapas do índice de complementaridade de amplitude de tempo e energia captaram dados de seis distintas regiões do estado e demonstraram que o maior índice de complementaridade do modelo eólico fotovoltaico, deu-se entre as estações de inverno e verão, no sul do estado, e o menor entre as estações de outono e verão, no norte do estado.

A tese do Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira (CRUZ SIQUEIRA, 2005), avaliou o desempenho de pequeno sistema híbrido eólico fotovoltaico em relação aos horários de funcionamento, por meio de software de aquisição de dados que foi programado para coleta de parâmetros meteorológicos e elétricos, durante 12 meses. Foi apurado que a energia eólica apresentou melhores

resultados nos horários noturnos e nas estações de primavera e verão. A energia fotovoltaica gerou quantitativo superior de energia elétrica, ao longo do experimento, em comparação com o potencial eólico local.

O sistema híbrido eólico fotovoltaico manteve a bateria com saldo positivo em cada estação, sendo o modelo solar complementado pelo eólico nos momentos de menor geração, restando comprovada a relação de complementaridade do hibridismo. Os melhores resultados no outono e na primavera, sendo a fonte solar complementada pela eólica.

Os sistemas híbridos eólico fotovoltaicos também causam impacto positivo no aspecto social. Nem só os grandes e dispendiosos projetos podem ser implantados, oportunizando a disseminação do uso dos sistemas de pequeno porte por pessoas físicas, por entidades de baixa escala financeira e também sua implementação em localidades carentes, distantes e, até, isoladas, fomentando melhoria na qualidade de vida, em termos gerais, para toda a comunidade, conforme ressalta o Dr. Claudomiro Fábio.

Oliveira Barbosa et al. (OLIVEIRA BARBOSA et al., 2004) analisou os impactos causados em razão da instalação de sistemas híbridos eólico fotovoltaico em comunidades isoladas do estado do Pará. Apurou que os sistemas híbridos desempenharam papel de complementaridade entre energia eólica e fotovoltaica, bem como que levar energia elétrica para comunidades longínquas contribui fortemente para o desenvolvimento e integração social de seus habitantes, com melhora na qualidade de vida e melhor aproveitamento dos recursos locais, concluindo que o atingimento da universalização da energia elétrica em todo o Brasil é possível.

Isto posto, verifica-se que tais estudos corroboram que a utilização de sistema híbrido eólico fotovoltaico elaborado a partir de software de modulação e de sensoriamento climatológico, com a finalidade de iluminar órgãos públicos de diversos portes e em distintas regiões, possui viabilidade.

2.5 Conceitos elementares de eletricidade – energia elétrica

A eletricidade pode ser definida como o movimento, basicamente de elétrons, que transitam entre dois pontos de um condutor. Ela também pode ser definida como o ramo da física que estuda fenômenos decorrentes do repouso

ou do movimento de cargas elétricas. A eletricidade está presente em objetos e também no cotidiano da natureza, a exemplo nas descargas elétricas decorrentes de relâmpagos (NEVES, 2004).

A descoberta da energia elétrica é atribuída ao filósofo grego Tales de Mileto, ocorrendo por meio de experiência realizada com cargas elétricas (GUSSOW, 1999). A energia elétrica, que ocupa o status de principal fonte de energia em nível global, é produzida a partir de potencial elétrico que compõe dois pontos de um condutor. Ela pode ser gerada por meio de usinas hidrelétricas, eólicas, fotovoltaicas, atômicas, dentre outras.

A tensão elétrica pode ser explicada como uma condição que permite o aparecimento de forças elétricas que podem agir sobre partículas carregadas, os elétrons, produzindo movimento mensurável ao longo de um condutor elétrico. Ela é representada, no Sistema Internacional de Unidades (SIU), pelo volt (V). O Joule (J), por sua vez, é unidade de medida tradicionalmente utilizada no SIU para referenciar energia, seja ela mecânica, térmica ou outra forma.

A potência seria a relação existente entre o trabalho a ser realizado e o tempo despendido para a tarefa. O volume de potência de um equipamento é medido, por exemplo, pela taxa de transformação de energia elétrica em uma aplicação, sendo sua unidade de medida o Watt (W), Wh (Watt-hora) ou kWh (quilowatt-hora), a ser aferida por meio do Wattímetro (BOYLESTAD, 2004).

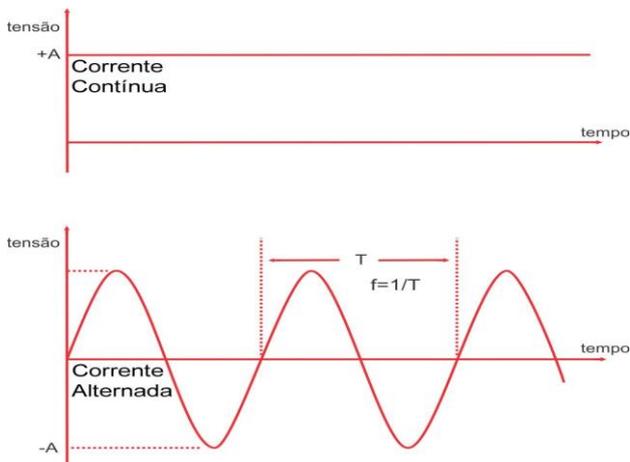
A potência seria a relação existente entre o trabalho a ser realizado e o tempo despendido para a tarefa. O volume de potência de um equipamento é medido, por exemplo, pela taxa de transformação de energia elétrica em uma aplicação, sendo sua unidade de medida o Watt (W), Wh (Watt-hora) ou kWh (quilowatt-hora) dependendo da conveniência, a ser aferida por meio do Wattímetro (BOYLESTAD, 2004).

A corrente elétrica trata do movimento ordenado das partículas eletrizadas (cargas elétricas) denominadas íons ou elétrons, dentro de sistema condutor. O sistema apresenta diferença de potencial elétrico ou de tensão elétrica.

A corrente elétrica contínua apresenta sentido e intensidade constantes. Os elétrons se movimentam em um único sentido, apresentando diferença de potencial contínua, gerada, por exemplo, por baterias.

Já a corrente elétrica alternada, apresenta sentido e intensidade variados. Os elétrons mudam de direção constantemente, gerando diferença de potencial alternada, como o que ocorre, por exemplo, nas usinas de geração de energia elétrica. A Figura 8 exemplifica o fluxo das correntes Contínua e Alternada.

Figura 8- Exemplo de correntes Contínua e Alternada



Fonte: ufal.edu.br (2019)

O trânsito da corrente elétrica pelos resistores pode transformar a energia elétrica em energia térmica, produzindo calor. Esse fenômeno é conhecido como Efeito Joule. É o que ocorre quando, por exemplo, utiliza-se a energia elétrica para aquecer água (“boilers”).

Quando há variação do fluxo magnético por meio de circuito, surge a força eletromotriz induzida, eis o conceito básico da Lei de Faraday (Lei de indução eletromagnética). Como lei fundamental do eletromagnetismo, que motivou a criação de dínamos que revolucionaram a produção de energia elétrica em larga escala, a exemplo dos modelos de geração hidroelétrica, eólica, termelétricas, nucleares, dentre outras (REIS, 2003).

O gerador eólico gera energia elétrica a partir do vento, que movimenta suas pás, gerando a força eletromotriz induzida (fluxo magnético) que faz com que o gerador transforme a energia mecânica em energia elétrica.

Por meio das equações 01 e 02 (Fluxo Magnético e Lei de Faraday), demonstra-se, matematicamente e de forma simplificada, o fluxo magnético e a força eletromotriz induzida:

FLUXO MAGNÉTICO:

$$\Phi = BA\cos\theta \quad (1)$$

Em que:

Φ = fluxo magnético (Wb - weber ou T/m²);

B = campo magnético (T - tesla);

A = área (m²).

FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (2)$$

Em que:

ε = força eletromotriz induzida (V - volts);

$\Delta\Phi = \Phi_F - \Phi_i$ - variação do fluxo magnético (Wb);

Δt = intervalo de tempo (s).

Destaca-se, por oportuno, que o presente trabalho visa a utilização de fonte de geração de energia elétrica híbrida, eólica e fotovoltaica, como objeto de estudo para consecução dos objetivos almejados. Por suas peculiaridades, o meio de geração de energia também é híbrido, eis que, em sentido diverso da turbina eólica, o modelo fotovoltaico não está sujeito à Lei de Faraday¹, já que não gera energia por meio da indução eletromagnética, mas sim em razão da captura de fótons, pacotes energéticos constituintes da luz solar, que liberam elétrons por meio de material semicondutor composto de silício de alto grau de pureza e o movimento dos elétrons dá origem à energia.

A utilização de sistema híbrido pautado nestas duas modalidades de geração, eólica e fotovoltaica, conta, portanto, com duas tecnologias distintas, uma pautada na geração por indução eletromagnética e outra pautada na captura de fótons que movem elétrons, dando origem à energia elétrica.

Também merece destaque os aspectos de custo de implementação e de manutenção. Atualmente, com o incentivo do Governo Federal por meio de

¹ A Lei de Faraday ou Lei de Indução Eletromagnética, enuncia que quando houver variação do fluxo magnético por meio de um circuito, surgirá nele uma força eletromotriz induzida.

empréstimos de baixo custo, está mais acessível o crédito para a aquisição de aerogeradores e de placas fotovoltaicas. A atual dinâmica de importação, com a procura mundial em grande escala, também vem reduzindo o valor de mercado dos produtos, que geralmente vêm prontos de outros países (usualmente China, Cingapura, Coreia do Sul e Taiwan). Fator determinante em relação ao sistema é o custo baixo de manutenção das placas fotovoltaicas, que possuem vida útil de cerca de 25 a 30 anos, sem necessidade de manutenção rotineira. As turbinas eólicas, a seu turno, demandam manutenção trimestral, semestral ou anual, a depender da modalidade e das especificações técnicas do fabricante (AZEVEDO, 2013).

2.6 Geração de energia elétrica

A geração de energia elétrica por meio dos modelos fotovoltaico e eólico possui uma série de peculiaridades, desde os equipamentos utilizados, até o processo de transformação de “sol e vento” em energia elétrica.

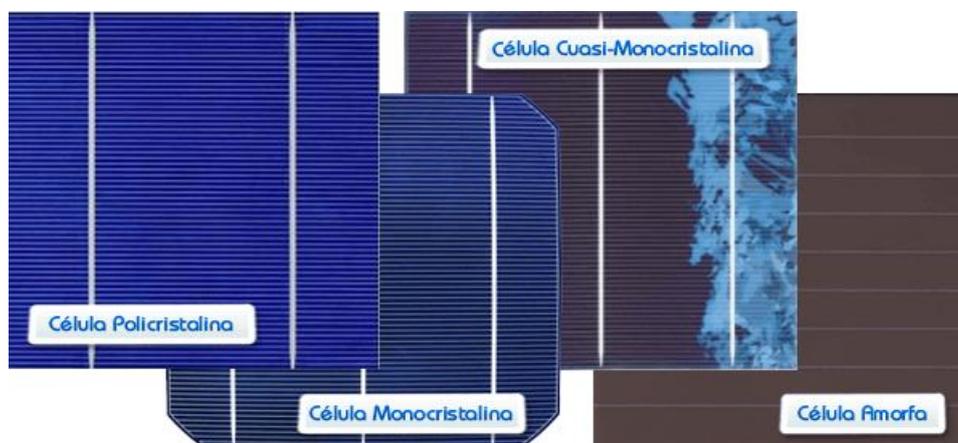
Neste tópico, serão ilustrados os meios de produção, bem como a correlação existente entre tensão, corrente e potência, quanto a geração de energia elétrica fotovoltaica, eólica e híbrida.

2.6.1 Modelo fotovoltaico

A energia elétrica de origem fotovoltaica é gerada por meio da utilização de células fotovoltaicas, cujo principal componente é o silício, metal semicondutor cuja maior produção mundial é extraída/produzida no Brasil, por meio da empresa Vale o Rio Doce, que exporta o produto de altíssimo grau de pureza (excelente qualidade) para diversos países (DI SOUZA, 2016).

Existem quatro principais tipos de placas fotovoltaicas, as que são feitas de material silício monocristalino, quase monocristalino, policristalino e amorfo, conforme Figura 9.

Figura 9: Placas fotovoltaicas Mono, Poli, Cuasicristalina e Amorfa



Fonte: damiasolar.com.br

Monocristalino: fabricados com lingotes de silício puro de um único cristal, com grau de pureza de 99,999% e valor elevado. Geração superior de 15 a 22%.

Policristalino: feitos com diversos cristais, possui grau de pureza inferior, geração energética mais baixo (entre 14 e 16%) e reduzindo o valor final do produto.

“Cosi”, “cuasi” ou quase monocristalino: possuem fração policristalina, reduzindo ainda mais a capacidade de geração. No entanto, o preço é inferior.

Amorfo: fabricadas com película de silício, na forma de vapor, em superfície de aço. Menos procurados em razão do menor potencial de produção energética.

Quando a geração de energia por meio do modelo fotovoltaicos, frisa-se que a radiação solar é composta por pacotes de onda chamados de “fótons”, que são convertidas em energia elétrica, por meio dos painéis. Células fotovoltaicas agrupadas dão origem aos painéis. A absorção da energia decorrente dos “fótons” permite a liberação de elétrons que, em razão de sua movimentação, geram corrente, eletricidade.

Eis o processo de geração de energia elétrica, armazenamento e uso por meio do modelo fotovoltaico, ilustrado na Figura 10.

Figura 10: Residência com sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica



Fonte: davisolar.com.br

Ao conjunto de módulos fotovoltaicos, dá-se o nome de gerador fotovoltaico. Conforme vislumbra-se na Figura 10, a energia solar captada pelas placas fotovoltaicas, passa pelo controlador de carga, alimenta as baterias e para o inversor de carga, até que a energia gerada é utilizada para fins diversos.

Para o estudo acerca da previsão de potência do modelo fotovoltaico (Oliveira Santos “et al”, 2019), tem-se que a relação havida entre tensão e corrente de saída do módulo fotovoltaico pode ser expressa por (3):

$$I = I_{pv} - I_o \left[\exp \left(\frac{V + R_s \cdot I}{m \cdot V_t} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s \cdot I}{R_p} \quad (3)$$

Em que:

I_o = Corrente de saturação reversa do diodo;

I_{pv} = Corrente fotoelétrica;

m = Constante de idealidade do diodo ($1,0 \leq 1,5$);

V_t = Tensão térmica do módulo.

Já a tensão térmica do módulo fotovoltaico (V_t) é calculada em função do quantitativo de células conectadas em série (N_s), além da constante de Boltzmann ($k = 1,380650310 \cdot 10^{-23}$ J/K), da carga de elétron ($q = 1,60217646 \cdot 10^{-19}$ C) e da temperatura (T) na junção P-N (Oliveira Santos “et al”, 2019), representados na equação (4):

$$V_t = \frac{N_s \cdot k \cdot T}{q} \quad (4)$$

Em que

V_t = tensão térmica do módulo;
 N_s = quantitativo de células conectadas em série;
 k = constante de Boltzmann;
 T = temperatura na junção (P-N);
 q = carga de elétron.

A corrente fotoelétrica (I_{pv}) possui variação linear com a temperatura, mantendo relação diretamente proporcional com a irradiância (Oliveira Santos “et al”, 2019), conforme demonstra a equação (5):

$$I_{pv} = (I_{pvn} + K_i \cdot \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (5)$$

Em que

G = irradiância (w/m^2);
 K_i = coeficiente de variação da corrente fotoelétrica com a temperatura.

O coeficiente de difusão de elétrons dentro da junção P-N são parâmetros necessários à corrente de saturação reversa de diodo (I_o), que possui dependência considerável quanto à temperatura (Oliveira Santos “et al”, 2019), conforme expressão que permite seu cálculo (6):

$$I_o = \frac{I_{scn} + k_i \cdot \Delta T}{\exp\left(\frac{V_{ocn} + K_v \cdot \Delta T}{m \cdot V_t}\right) - 1} \quad (6)$$

Em que:

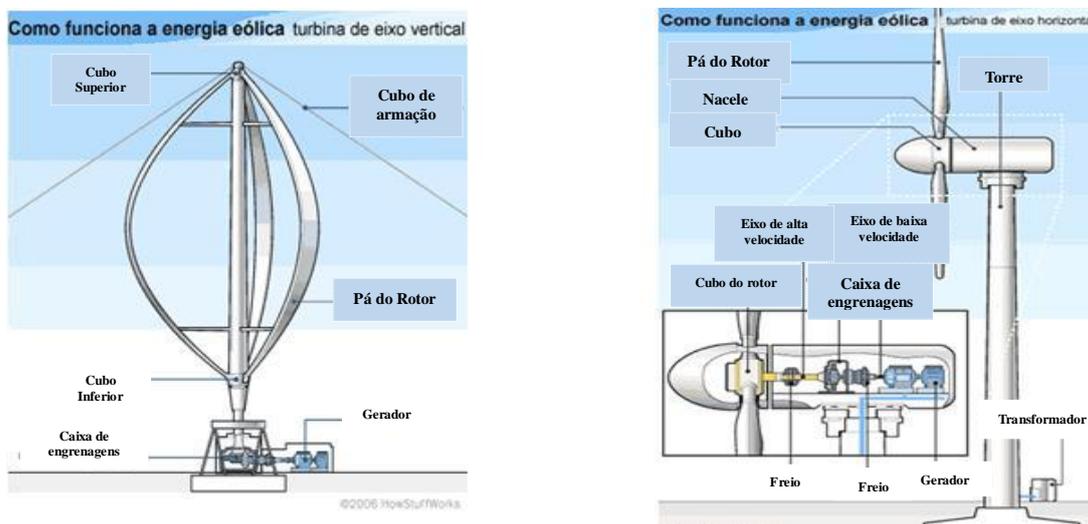
I_{scn} = Corrente de curto circuito;
 K_v = Coeficiente de variação da tensão de circuito aberto acrescido da temperatura;
 V_{ocn} = Tensão de circuito aberto dentro das condições padronizadas.

2.6.2 Modelo Eólico

A turbina eólica tem suas pás movimentadas pelo vento, fazendo girar o rotor, que transmite a energia cinética da rotação ao gerador, que converte essa energia mecânica na energia elétrica (ABEEOLICA, 2016).

As turbinas eólicas são compostas por três elementos principais: rotor, eixo e gerador. Também possuem elementos secundários, a depender da destinação do uso. Existem dois tipos de aerogeradores, os com eixo de rotação do rotor na vertical e os com o eixo na horizontal, conforme Figura 11.

Figura 11: Turbinas eólicas de eixo vertical (esq) e de eixo horizontal (dir)



Fonte: ciclovivo.com.br – Adaptado pelo autor (2019)

As imagens da figura 11 ilustram os principais componentes das turbinas eólicas de eixo horizontal: a torre, as pás, o gerador, o cubo, a nacele e, em alguns modelos, a caixa de engrenagem.

Um sistema eólico pode consistir em uma única turbina eólica, ou na pluralidade de aerogeradores. Ele possui três tipos distintos de aplicação e cada um desses tipos demanda equipamento específico em termos de volume e potência, classificados de turbina eólica de pequeno, médio e grande porte, conforme figura 12.

Figura 12: Turbinas eólicas de pequeno, médio e grande porte

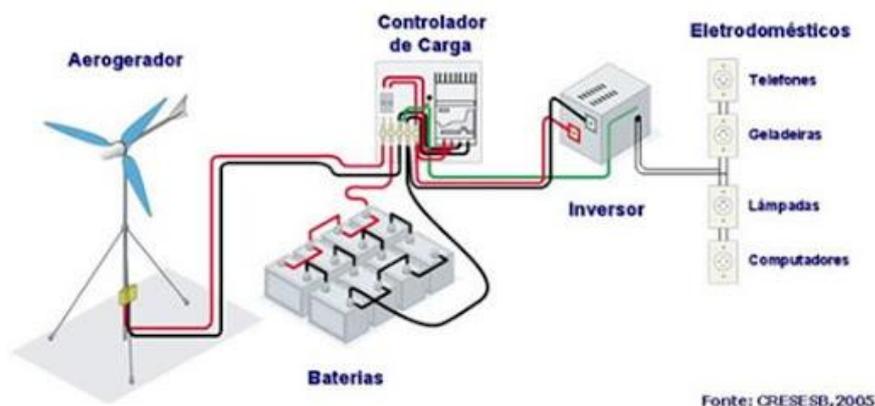


Fonte: cresesb.cepel.br (2018)

Na geração eólica de energia elétrica, basicamente, o vento faz com que as pás se movimentem, gerando campo magnético com fluxo de corrente, ordenando os elétrons, dando origem à energia elétrica.

A figura 13 ilustra o processo de geração da energia elétrica por meio do modelo eólico, das pás até a destinação ao uso.

Figura 13: Geração, distribuição e armazenamento de energia eólica “off grid”



Fonte: cresesb.cepel.br (2018)

A previsão da potência eólica é obtida a partir da premissa de que o vento possui energia cinética que, em função de sua velocidade (Oliveira Santos “et al”, 2019), pode ser calculada, conforme equação (7):

$$E = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \quad (7)$$

Em que:

ρ = massa específica do ar;

V = velocidade do vento.

Nesses moldes, a potência para o vento (Oliveira Santos “et al”, 2019), pode obter-se pela expressão (8):

$$E = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (8)$$

Em que:

E = potência;

A = Área coberta pelas pás da turbina (m^2);

ρ é a massa específica do ar;

V = é a velocidade do vento.

Destaca-se, por oportuno, que toda a potência do vento não pode ser convertida e potência efetiva por meio das turbinas eólicas. Albert Betz, físico alemão, nos anos 1920, demonstra tal limitação por meio de experimento e demonstra em sua teoria que o valor da extração não ultrapassa 59,3% (BETZ, 2013). Considerando os avanços atuais, as melhores turbinas chegam ao máximo de 45% de seu potencial de efetividade (Oliveira Santos “et al”, 2019), conforme expressão (9):

$$Cp = \frac{P_{mec}}{P_{vento}} \quad (9)$$

Em que:

Cp = coeficiente de potência;

P_{mec} = potência mecânica;

P_{vento} = potência do vento.

Ao combinar as equações 2 e 3 (Oliveira Santos “et al”, 2019), encontra-se a potência mecânica efetiva (10):

$$P_{mec} = \frac{1}{2} \cdot Cp \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (10)$$

Em que:

P_{mec} = potência do vento;

A = Área coberta pelas pás da turbina (m^2);

V = Velocidade do vento (m/s);

ρ = Massa do Ar (kg/m^3).

O coeficiente de potência máximo necessita de valor ótimo para o coeficiente adimensional da velocidade, considerada a ponta da pá da turbina, em relação à velocidade do vento (Oliveira Santos “et al”, 2019), com coeficiente dado em (11):

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V} \quad (11)$$

Em que:

λ = coeficiente de potência máximo;

V = Velocidade do vento (m/s).

A potência mecânica efetiva ótimo (Oliveira Santos “et al”, 2019), então, dá-se por (12):

$$P_{mec\ ótima} = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^5 \cdot \frac{C_p}{\lambda^3} \cdot \omega^3 \quad (12)$$

Em que:

λ = coeficiente de potência máximo;

ρ = Massa do Ar (kg/m³);

C_p = Coeficiente de potência.

Considerando que o “cut-in wind speed” é a velocidade em que o aerogerador inicia a geração energética e que o “cut-out wind speed” é a velocidade em que ele interrompe a geração de energia (Oliveira Santos “et al”, 2019), a potência disponível em uma turbina eólica é assim calculada (13):

$$P_{mec} = \frac{1}{2} \cdot C_p(\lambda, \beta) \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (13)$$

Em que:

A = Área coberta pelas pás da turbina (m²);

V = Velocidade do vento (m/s);

ρ = Massa do Ar (kg/m³);

C_p = Coeficiente de potência.

A potência efetivamente transferida para o eixo do aerogerador, apta a produzir a potência elétrica, é a no conjugado mecânico (Oliveira Santos “et al”, 2019), obtida da equação (14):

$$T_{mec} = \frac{1}{2} \cdot C_p(\lambda, \beta) \cdot \rho \cdot A \cdot \frac{V^3}{\omega} \quad (14)$$

Em que:

A = Área coberta pelas pás da turbina (m²);

V = Velocidade do vento (m/s);

ρ = Massa do Ar (kg/m³);

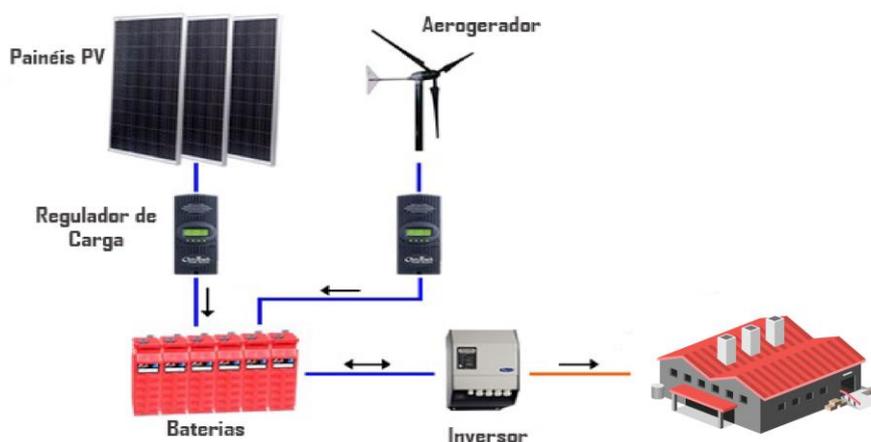
C_p = Coeficiente de potência.

2.6.3 Modelo Híbrido

As combinações mais utilizadas em um sistema híbrido, que utiliza mais de uma fonte geradora de eletricidade, são solar-eólica, solar-diesel, eólica-diesel.

O foco do presente trabalho é a energia híbrida decorrente do modelo eólico-fotovoltaico, ilustrado na Figura 14.

Figura 14: Sistema híbrido fotovoltaico-eólico de geração de energia elétrica



Fonte: tecnoveritas.net (2019)

Conforme disposto na Figura 14, a energia gerada pelo painel fotovoltaico e pela turbina eólica passa por controladores de carga, seguindo

para o banco de baterias, que armazena o quantitativo de geração elétrico, tendo a dupla função de alimentar o sistema e de continuar recebendo e armazenando a energia gerada.

Entre as baterias e os equipamentos eletrônicos que farão uso da energia gerada pelo sistema, encontra-se o inversor de carga, que transforma corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) (DI SOUZA, 2016).

O ponto chave do sistema híbrido é a relação de auto complementação que cada uma das fontes fornece ao conjunto (VELA, 2018).

A potência híbrida é obtida a partir do somatório das potências fotovoltaica e eólica.

2.6.4 Sistemas “on grid” e “off grid”

Os sistemas de geração de energia possuem dois tipos de subsistemas, os conectados à rede elétrica (“on grid” ou “grid-tie”) e os que possuem arquitetura isolada, sem ligação com a rede elétrica da concessionária (“off grid”), conforme demonstrado na Figura 15.

Figura 15: Diferenças entre os sistemas “ongrid” e “offgrid”



Fonte: coopesolar.wordpress.com (2019)

As maiores vantagens do sistema “on grid” são: 1) não necessitar de controlador de carga e de baterias; e 2) possibilidade de repasse do excedente de energia elétrica gerado para a rede da concessionária, gerando créditos em. Em contrapartida, suas principais desvantagens são: a) necessitar de acesso à rede de distribuição; b) não possuir armazenamento da energia gerada para utilização posterior; c) pagamento de energia consumida da rede pública.

O sistema “off grid”, a seu turno, tem como pontos positivos: 1) utilização em localidades remotas - independe da rede elétrica pública; 2) livre de conta mensal de energia; e 3) possui sistema de armazenamento da energia elétrica gerada. Seus pontos fracos, em contrapartida, são: a) possuir custo de aquisição e de manutenção mais elevado (baterias + controladores de carga); e b) impossibilidade de uso da rede elétrica pública em caso de necessidade.

2.7 Políticas Públicas – Energias Renováveis

O desenvolvimento da sociedade gira em torno do montante de energia possuída e o seu conseqüente consumo (GOLDEMBERG, 2003).

Conforme o relatório especial sobre energias renováveis e mitigação de mudança de clima, do painel intergovernamental de mudanças climáticas (IPCC, 2012), realizado na Alemanha, no ano de 2012, há potencial de redução mundial da emissão de dióxido de carbono (CO₂) em torno de 220Gt a 560Gt (gigatoneladas), de 2010 a 2050. Em 2012, o uso de energias renováveis girava em torno de 13% em nível global. Tais dados nos trazem a realidade de que, atingindo 50% em nível mundial, até 2050, torna-se possível arrefecer o aquecimento global.

No Brasil, em 2017, 42,9% da matriz energética já era renovável, enquanto a média mundial, no ano de 2015, não atinge os 15% (Balanço Energético Nacional – BEN) (EPE, 2015).

No entanto, os números dispostos na Figura 16, produzidos a partir de estudos do Balanço Energético Nacional (EPE, 2017), evidenciam que o Brasil, entre os períodos de 2016 e 2017, manteve o nível de produção de energias limpas, enquanto apresentou crescimento nos níveis de produção e oferta de energias produzidas a partir de fontes não renováveis, especialmente de petróleo e seus derivados, gás natural e carvão mineral.

Figura 16: Oferta interna de energia 2016/2017

Fonte (Mtep)	2016	2017	$\Delta 17 / 16$
RENOVÁVEIS	125,3	125,3	0,0%
Energia hidráulica ¹	36,3	35,0	-3,4%
Biomassa da cana	50,3	49,8	-1,1%
Lenha e carvão vegetal	23,1	23,4	1,4%
Eólica	2,9	3,6	26,5%
Solar	0,007	0,072	875,6%
Lixívia e outras renováveis	12,8	13,4	4,9%
NÃO RENOVÁVEIS	163,0	166,8	2,3%
Petróleo e derivados	105,4	106,2	0,8%
Gás natural	35,6	37,9	6,7%
Carvão mineral	15,9	16,6	4,1%
Urânio (U ₃ O ₈)	4,2	4,2	-0,4%
Outras não renováveis	1,9	1,8	-4,7%

Fonte: epe.gov.br (2019)

Os principais impactos da geração energética no modelo atual são pouco visíveis, embora seu grau de produção de danos seja considerável. O acúmulo de gases do efeito estufa na atmosfera (dióxido de carbono-CO₂, metano-CH₄ e óxido nitroso-N₂O) pode causar desde irritação em olhos e pele, até a incidência de chuvas ácidas; desde severos problemas no aparelho respiratório, ao aumento no buraco na camada de ozônio, que representa grave ameaça à vida no planeta.

Os dados apresentados quanto ao potencial brasileiro de geração de energia renovável por meio das fontes eólica e fotovoltaica, evidenciam que o país conta com dimensões continentais com forte capacidade produtiva. Também restou evidenciado que diversas empresas estrangeiras já construíram usinas de geração de energia eólica e fotovoltaica no Brasil, bem como que diversos outros projetos internacionais e multinacionais estão sendo preparados para implementação.

Partindo dessas premissas, tem-se que o vasto potencial nacional está sendo subaproveitado por empresas nacionais e estrangeiras. O fomento de políticas públicas voltadas para a geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis, com foco na eólica e na fotovoltaica, atende a interesses multifatoriais, eis que a abertura do mercado para muitas empresas aumentaria exponencialmente a produção, reduzindo o custo e o preço final, reduziria o

impacto ambiental devido a menor utilização de outras fontes poluidoras e ainda geraria empregos, renda e aumentaria a arrecadação de impostos.

2.7.1 – Políticas públicas do setor energético renovável em nível mundial

À nível global e em análise sintética, utilizaremos como parâmetro de amostragem a China, os Estados Unidos da América e a Europa (países componentes da União Europeia), destacando suas matrizes energéticas predominantes e as políticas públicas para o setor de energias renováveis.

A China, além de possuir fortes investimentos em seu território, também investe em outros países, a exemplo da construção de plantas eólicas no polo norte; da participação no consórcio que visa ligar a Usina de Belo Monte, no Xingu-PA, à subestação de Estreito na cidade de Ibiraci-MG; e do mega projeto Global Energy Interconnection - GEI (CEIRI NEWS, 2018), estimado em 50 trilhões de dólares.

As políticas públicas adotadas por EUA e União Europeia também se afiguram distintas do modelo chinês, em que o governo incentiva universidades e empresas privadas a produzirem em larga escala, fomentando emprego e renda e, como contrapartida, concede benefícios financeiros e fiscais. Nesse modelo, gera-se um círculo virtuoso em termos econômicos e energéticos, em diversos aspectos, mesmo considerado os efeitos da redução na arrecadação. (CARVALHO, 2019).

Quanto às experiências internacionais envolvendo as Parcerias Público Privadas, o renomado professor José dos Santos Carvalho Filho, tece as seguintes considerações:

As parcerias público-privadas têm sido adotadas com sucesso em diversos ordenamentos jurídicos, como, entre outros, os de Portugal, Espanha, Inglaterra e Irlanda, e apresentam como justificativa dois pontos fundamentais, sobretudo em relação aos países ainda em desenvolvimento: a falta de disponibilidade de recursos financeiros e a eficiência de gestão do setor privado. (CARVALHO FILHO, 2010, p.461.)

Assim, as Parcerias Público-Privadas (PPPs) surgem como solução, eis que o setor público, mesmo sem capital, ou sem lastro para tomar empréstimos, pode realizar obras necessárias a garantir direitos fundamentais inadiáveis da população, a exemplo de PPP entre o governo federal e empresa privada do

setor energético para a construção de hidrelétrica de grande capacidade instalada de produção, para atender a demanda de energia de determinada parte do território nacional.

Os investimentos oriundos do capital privado atendem necessidade pública premente e, em contrapartida, conta com a permissão Estatal para explorar a atividade econômica vinculada à comercialização da produção energética, com a redução ou até com a isenção fiscal por determinado prazo (EUR-LEX, 2015).

Exemplo bem-sucedido de política pública é o movimento “100% Renewable Energy” que ganhou destaque especial após a conferência sobre clima COP21, realizada em 2015, na capital francesa. Essa política visa o comprometimento em alcançar a implementação de sistema energético 100% renovável, em todos os setores das cidades aderentes: Coffs Harbour, Byron Shire e Uralla, na Austrália; as cidades de Vancouver e Oxford County, no Canadá; e as cidades estadunidenses de San Diego, na Califórnia e Rochester, em Minnesota.

2.7.2 – Políticas públicas do setor energético renovável em nível nacional

No Brasil, compete à União, de forma privativa, legislar em matéria de energia (Constituição Federal, 1988). Contudo, Estados e Municípios podem elaborar políticas públicas com regulamentações voltadas para a geração de energia elétrica. No caso dos governos estaduais e municipais, a tônica continua sendo a concessão de benefícios fiscais para geração e uso. Em âmbito federal, infelizmente, o foco continua sendo o de leiloar, por parte do Governo Federal, potencial de produção energética para o setor privado, que passa a explorar a atividade por décadas.

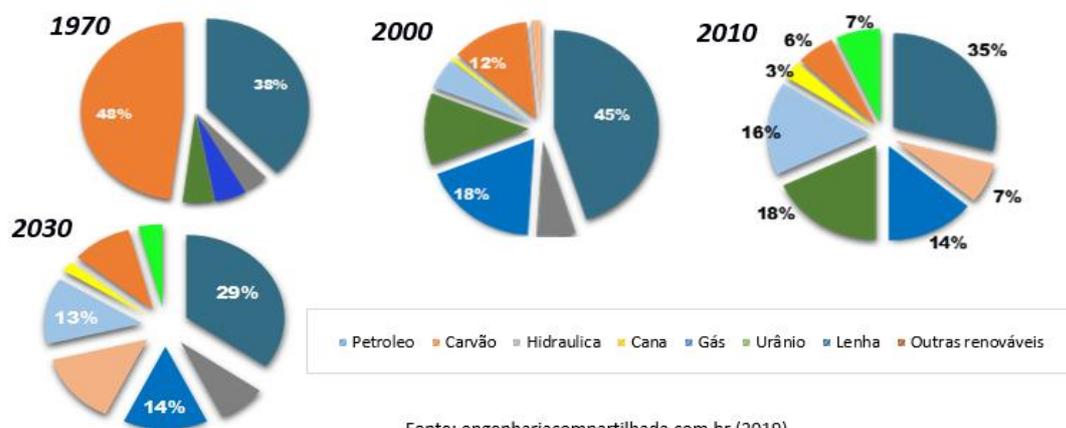
Os leilões são espécie de política regulatória em que autoridades públicas ou empresas concessionárias do ramo de energia elétrica preparam certame com objetivo de alcançar volume de energia capaz de suprir a necessidade do mercado. Os valores são definidos de acordo com as ofertas dos participantes e os contratos possuem prazos determinados (em média dez, vinte, trinta anos), com garantia de compra de todo o montante contratado. (BRASIL, 2006).

O Estado (Nação), em vez de focar em leilão de geração e também na concessão de incentivos tributários (créditos fiscais, isenções, deduções e reduções de alíquotas), poderia priorizar a realização de parcerias público privadas para fomentar, em larga escala, o uso das energias.

Em termos de políticas públicas que fomentem a energia renovável em nível nacional, as opções não são vastas, nem tampouco específicas e detalhadas.

Por meio do Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007), relatório elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), torna-se possível o planejamento acerca do suprimento energético para as próximas décadas. O não menos importante relatório “Matriz Energética Nacional 2030” (BRASIL, 2007), figura ao lado do PNE 2030, sendo eles as principais ferramentas de planejamento de longo prazo disponível aos gestores públicos e também ao setor privado, conforme demonstra os números contidos na figura 17.

Figura 17: Balanço energético, em gráficos de 30 anos, de 1970 a 2030



Fonte: Adaptado pelo Autor

Em relação a legislação sobre políticas energéticas, são duas as regulamentações que mais se destacam em cenário nacional.

A Lei 12.187/2009, institui a Política Nacional sobre Mudanças do Clima. Sua regulamentação é utópica, generalista e não prevê sanções. Trata-se de norma programática que estabelece os princípios, os objetivos, as diretrizes e os instrumentos necessários à implantação da PNMC (BRASIL, 2009).

Outra normatização de destaque é a Resolução 482/2012 da ANEEL, atualizada pela Resolução 687 de 2015, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia elétrica (BRASIL, 2015a).

Essas Resoluções disciplinam acerca da possibilidade de geração de sua própria energia, pelo consumidor brasileiro, a partir de fontes renováveis, ou de cogeração qualificada, além da possibilidade de fornecer o excedente para a rede de distribuição local (Energisa, no caso da PB). Trata-se, portanto, de regulamentação acerca da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica.

Merece destaque, ainda, o estímulo governamental aos veículos híbridos/elétricos, que favorece indiretamente o setor de energias renováveis.

Em junho de 2019, foi derrubado o veto presidencial (nº 40/2018) a trecho do art. 1º da Lei 8.989/95, com redação dada pela Lei 13.755/2018, que passou a vigorar com a dispensa do Imposto sobre Produtos Importados (IPI) que incidia sobre compra e venda de veículos híbridos e elétricos fabricados no país e de potência limite de 2.000 CC (Centímetros Cúbicos), também isentando o setor de autopeças desses segmentos da taxaçoão federal. (BRASIL, 2018a).

O incentivo fiscal beneficia motoristas profissionais, permissionárias ou concessionárias de transporte público, portadores de necessidades especiais e beneficiários do Projeto Balcão de Ferramentas.

Essa, dentre outras adequações legislativas, surgiu como forma de fomentar Programa Rota 2030, instituído por meio da Medida Provisória 843/2018, convertido para a Lei 13.755/2018, cujo objetivo principal é a busca pelo aprimoramento das políticas públicas voltadas para os setores de mobilidade, logística e transporte.

Trata-se de renúncia fiscal federal que pode chegar na ordem de bilhões de reais até 2025. No entanto, os benefícios por ela trazidos são exponencialmente superiores à cifra não arrecadada imediatamente pelo Governo Federal, eis que o estímulo à fabricação de veículos e autopeças, às concessões de rodovias que geram crédito extraordinário, a produção em massa de componentes vinculados à geração e ao armazenamento de energias renováveis, por exemplo, aquecem a economia, proporciona a geração de

emprego e renda e chama atenção dos investidores quanto ao potencial da indústria nacional. (BRASIL, 2018b)

O crescente estímulo governamental aos veículos elétricos e híbridos, fomenta a implementação de cadeia de produtos e serviços em benefício do setor, a exemplo da empresa do setor elétrico Energias de Portugal – Brasil, que anunciou plano para implantação de 30 eletropostos de abastecimento automotivo com geração da energia elétrica por meio da matriz fotovoltaica, cobrindo todo o estado de São Paulo, sendo disponibilizados a cada 150km, ao custo de R\$ 32,9 milhões e com prazo final para 2022. (PORTAL SOLAR, 2019).

Tabela 1: Comparativo entre as políticas públicas em escala mundial e em escala nacional (Brasil)

Escala Mundial	Escala Nacional (Brasil)
1- EUA e UE – PPPs -> Governo, Empresas e Univ. Criação. Pesquisa, Produção e Aprimoramento. U\$ 180 bi 2017-2020; 2- China – Desoneração – Executa cronogramas de empresas globais. Engenharia Reversa. Fortalecendo Indústria. U\$ 360 bi 2017-2020; 3- Brasil – Indefinida – Desonera e Licita. Importa materiais e abre mercado de geração para estrangeiros.	1- Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030); 2- Lei 12.187/2009, Política Nacional sobre Mudanças do Clima. Utópica, generalista e não prevê sanções. Estabelece princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos para sua implantação; 3- Res 482/2012 da ANEEL, atualizada pela Res 687 de 2015, estabelece condições gerais para microgeração e minigeração de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia.

Fonte: Criada pelo autor (2020)

2.7.3 Programas estaduais e municipais de fomento ambiental envolvendo energias renováveis

Conforme frisado no item 3.3, a Lei 12.187/2009, que institui a Política Nacional sobre Mudanças do Clima, trata-se de norma programática que estabelece os princípios, os objetivos, as diretrizes e os instrumentos necessários à implantação da PNMC. (BRASIL, 2009).

Como sua essência é a de estabelecer diretrizes fundamentais acerca de programa de interesse do país, sua regulamentação é utópica e generalista, devido a necessidade de concessão de margem de atuação dos legisladores estaduais e municipais, que passam a legislar, em sua competência complementar/delegada, tornando os objetivos traçados nas normas programáticas, voltados para o atendimento de interesses locais.

Um exemplo bem-sucedido é o do IPTU Verde, programa de incentivo fiscal já adotado pelas seguintes cidades: Salvador-BA, Colatina-ES, Campos do Jordão-SP, Goiânia-GO, Camboriú-SC, Ipatinga-MG.

Trata-se de programa de incentivo à construção (para o caso de imóveis novos) e/ou reforma de imóveis (novos e usados), pela população, com características autossustentáveis, em que alguns municípios concedem descontos na forma de percentuais sobre a taxa de IPTU, para os moradores que adotarem soluções ecológicas e práticas sustentáveis em suas habitações, a exemplo de: 1) sistema de captação e de utilização de água da chuva; 2) sistema de aquecimento hidráulico por indução solar; 3) sistema de iluminação predial por meio de placas fotovoltaicas; 4) construção com material sustentável (ex.: tijolo feito de caroço triturado de açaí e argila); e 5) sistema de separação e de encaminhamento de resíduos sólidos inorgânicos para reciclagem (coleta seletiva do lixo).

No estado do Rio Grande do Sul, a Lei 14.864/2016 institui a Política Estadual do Biometano, Programa Gaúcho (RS GÁS) de Incentivo à Geração e a Utilização de gás Biometano que possui, dentre outros, os objetivos, promover a disposição final adequada de resíduos orgânicos e o aproveitamento econômico de insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis. (RIO GRANDE DO SUL, 2016).

Em Santa Catarina, o Decreto 233/2015 institui o Programa Catarinense de Energias Limpas (SC+ENERGIA) visa diversificar a matriz energética local e garantir o desenvolvimento do estado. (SANTA CATARINA, 2015).

No estado do Mato Grosso, o Decreto 1187/2008, que regulamenta a Lei nº 8.794/2008, institui a Política Estadual de Apoio à Produção e à Utilização do Biodiesel, de óleos vegetais e de gordura animal, possui, dentre outros, o objetivo de “apoiar a produção e a utilização do biodiesel, óleos vegetais e de gordura animal, como fonte de energia renovável” (MATO GROSSO, 2008).

Já no estado do Paraná, o Decreto 11.671/2014, dispõe sobre o Programa Paranaense de Energias Renováveis “Iluminando o Futuro” e prevê medidas de incentivo à produção e uso de energia renovável. O programa tem como objetivo de incentivar a produção e o consumo de energias de fontes renováveis, com foco na biomassa, na fotovoltaica e na eólica. (PARANÁ, 2014).

O estado de São Paulo, por meio da Lei 15.997/2014, regulamentada pela Portaria 063/2015 da Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, institui a política de incentivo ao uso de carros elétricos ou híbridos, que fornece desconto de 50% no valor do Imposto sobre Propriedade de Veículo Automotivo (IPVA) para veículos elétricos ou híbridos adquiridos a partir de 2015, no limite de R\$ 10 mil, para veículos que custem até R\$ 150 mil, possuindo 05 anos de benefício fiscal. Outro incentivo do município de São Paulo para os adquirentes de automóvel elétrico ou híbrido é a exclusão do veículo do rodízio municipal obrigatório.

A vanguarda paulista em relação aos estímulos automobilísticos/ambientais, repercutiu positivamente. Além de São Paulo, os estados de Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro, oferecem desconto de 50% no Imposto sobre Propriedade de Veículo Automotor (IPVA). Em outros sete estados da federação, o IPVA é zerado para os adquirentes de “veículos ecológicos” (Maranhão, Piauí, Sergipe, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Rio Grande do Sul).

Tabela 2: Comparativo entre programas de fomento ambiental em energias renováveis em escalas Estadual e Municipal

Escala Estadual	Escala Municipal
<p>1- Política Estadual do Biometano (RS GÁS) - incentivo à produção e utilização de “combustíveis ecológicos”;</p> <p>2- Política sul mato grossense de apoio à produção e à utilização do biodiesel, de óleos vegetais e de gordura animal;</p> <p>3- Programa Paulista de incentivo ao uso de carros elétricos ou híbridos. Desconto de 50% no IPVA para veículos que custem até R\$ 150 mil. Exclusão do rodízio;</p> <p>4- Programa Piauiense que visa a instalação de aerogeradores e painéis fotovoltaicos, com 90% de nacionalização em escolas públicas, hospitais e rede hoteleira do PI;</p> <p>5- Programa Paranaense “Iluminando o Futuro”. Incentiva produção e consumo eólico, fotovoltaico e de biomassa (benefícios fiscais);</p>	<p>1- IPTU verde – (Salvador-BA, Goiânia-GO, etc) Concessão de descontos na forma de percentuais sobre a taxa de IPTU para os moradores que adotarem soluções ecológicas e práticas sustentáveis em suas habitações;</p> <p>2- Telhado verde – (Recife-PE) obriga que edificações residenciais e comerciais, novos e em reforma, a ter cobertura com plantas vivas e/ou placas fotovoltaicas. +umidade e qualidade do ar +paisagismo;</p> <p>3- Programa Paulistano que cria reserva de vagas para “automóveis-ecológicos” em Shoppings Centers (híbridos, fotovoltaicos, hidrogênio ou elétricos);</p> <p>4- Programa Paulistano de modernização dos veículos públicos de transporte de passageiros. Motorização elétrica, híbrida ou etanol (benefícios fiscais).</p>

Fonte: Criada pelo autor (2020)

2.7.4 Programas de fomento ambiental envolvendo energias renováveis no estado da PARAÍBA

No cenário do estado da Paraíba, em termos de regulamentação normativa, verifica-se que por meio da Resolução nº 16/2015 do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal da Paraíba (COSEPE/UFPB), foi criado o Curso de Graduação em Engenharia de Energias Renováveis, pelo CEAR (Centro de Energias Alternativas e Renováveis) – UFPB. Essa graduação visa capacitar os alunos:

para absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando-os para atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade” (UFPB, 2015).

A Universidade Federal da Paraíba (UFPB) ainda conta com o estudo e a produção científica de soluções voltadas para a criação e a implementação de tecnologias ligadas às energias renováveis por meio do CEAR – Centro de Ciências Exatas e da Natureza e do PRODEMA – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Em junho de 2019, a UFPB inaugurou o Laboratório de Práticas Experimentais, preparado ao custo de 2 milhões de reais em equipamentos, contando com 14 estações de trabalho nas áreas de máquinas de fluxo, termodinâmica, fenômenos de transportes, energias solar e eólica, instrumentação, eletrônica de potência, sistemas de controle, comunicações digitais, dentre outras, para atender graduandos de Energias Renováveis e Engenharia Elétrica, além de outros projetos, aprimorando o aparelhamento vinculado ao CEAR, o que fornece incremento às pesquisas e aos projetos por ele desenvolvidos. (UFPB, 2019)

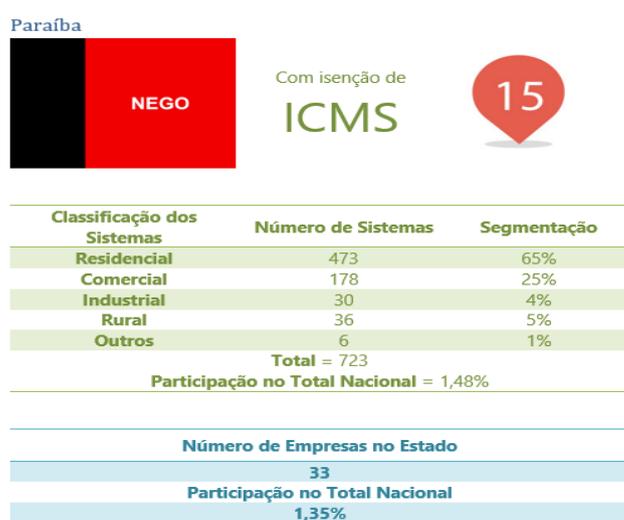
Ressalta-se que o foco dos projetos desenvolvidos nestes setores não giram apenas em torno dos badalados proveitos econômicos e tecnológicos decorrente da utilização das fontes renováveis de geração de energia, mas também e, principalmente, mantém firme o foco no benefício ao meio ambiente, consubstanciado pela redução do risco de desastres ambientais e da forte pegada ecológica presente em outras fontes de geração de energia amplamente utilizadas em nosso país, a exemplo de hidrelétricas, termelétricas e nucleares.

Em maior escala, a Lei Estadual nº 10.718/2016 (Estado da Paraíba), dispõe sobre “a obrigatoriedade de instalação de sistemas de captação de energia solar na construção de novos prédios, centros comerciais e condomínios residenciais”. A legislação, em seu artigo 3º, preceitua que todo projeto de construção predial, comercial e residencial, deverá instalar sistema de captação, de armazenamento e de utilização da energia solar, com dimensionamento capaz de cobrir, ao menos, 30% da demanda mínima anual de energia elétrica. (PARAÍBA, 2016a)

O blog Bluesol apurou os dados estatísticos (até dezembro de 2018) dos estados em que os sistemas fotovoltaicos mais ganham espaço entre os telhados dos consumidores e elaborou ranking com o número absoluto de

sistemas em cada território, além da divisão de sistemas (comercial, residencial, rural e outros), a participação percentual em relação ao número nacional e também o número de empresas que fornecem produtos e serviços do setor de energias renováveis. O estado da Paraíba ficou em 15º lugar, dentre os 27 estados da Federação, constatando o déficit de incentivo ao setor, conforme figura 18 (BLUESOL, 2018).

Figura 18: Ranking nacional de evolução na utilização de painéis fotovoltaicos



Fonte: blog.bluesol.com.br (2018)

A Lei nº 10.720/2016, atualiza e amplia a legislação que dispõe sobre a matéria e institui a “política estadual de incentivo à geração e aproveitamento de energia solar **e eólica**” no estado da Paraíba por meio de créditos de ICMS para estabelecimento industrial que utilize essa fonte (art. 5ª, III) (PARAÍBA, 2016b).

2.7.5 Fragilidade da legislação que regulamenta os programas de energias renováveis no estado da PARAÍBA

Como visto, fora os programas de fomento ambiental envolvendo energias renováveis implementados no âmbito da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), de menor escala, o estado da Paraíba possui duas leis voltadas especificamente para a implementação de tecnologias de geração de energia renovável fotovoltaica e eólica.

A Lei Estadual nº 10.718/2016 determina que novos prédios, centros

comerciais e condomínios residenciais instalem sistemas de captação de **energia solar** (PARAÍBA, 2016a). Por sua vez, a Lei nº 10.720/2016, atualiza e amplia a legislação acerca da matéria, também tratando da utilização de créditos de ICMS para estabelecimentos industriais que utilizarem as **energias solar e eólica** (PARAÍBA, 2016b).

No entanto, apesar de a Lei Estadual nº 10.720/2016 se propor a atualizar e ampliar a implementação prática das tecnologias renováveis de geração de energia elétrica, inicialmente tratada pela Lei nº 10.718/2016, a redação daquele texto legal, que inclui o setor industrial no espectro de incentivo fiscal e tributário para fomento e utilização de energias renováveis solar e eólica, cria discrepâncias em relação à priorização do modelo de geração solar.

Em seu art. 3º, incisos X à XIII, ao tratar das responsabilidades do Estado quanto à implementação das políticas programadas, a Lei nº 10.720/2016 trata do financiamento de ações, pesquisas e estudos para implementação prática, além da concessão de benefícios fiscais e tributários, direcionando atenção “**especial da energia solar**”. (PARAÍBA, 2016b).

No art. 5º, III, a Lei nº 10.720/2016, que trata do incentivo fiscal e tributário, da pesquisa tecnológica, da assistência técnica e da promoção dos produtos, a legislação não apenas prioriza a geração de energia solar, como sequer elenca a geração de energia eólica como atividade que bonificaria estabelecimentos industriais por meio de crédito presumido em ICMS: “**O estabelecimento industrial que adquirir energia elétrica de fonte renovável solar deverá ser estimulado mediante a concessão de crédito presumido do ICMS, na forma do decreto de regulamentação da lei**” (PARAÍBA, 2016b).

Da análise detida das legislações estaduais da Paraíba que tratam do incentivo à geração de energias renováveis de fontes solar e eólica por meio da concessão de incentivos fiscais e tributários, percebe-se o nítido direcionamento de privilégios estatais à um único modelo de geração: o fotovoltaico.

A Lei nº 10.718/2016 regulamenta a obrigatoriedade de instalação de sistemas de captação de energia solar na construção de novos prédios comerciais e condomínios residenciais no Estado (PARAÍBA, 2016a). A Lei nº 10.720/2016, a seu turno, oferta aos estabelecimentos industriais a concessão

de créditos de ICMS para os que adquirirem energia elétrica de fonte renovável solar. O intuito do legislador, além da limitação ao modelo fotovoltaico, sequer foi o de incentivo direto à pesquisa, desenvolvimento e geração de energia renovável, mas tão somente o de conceder benefício fiscal e tributário para a indústria que “*adquirir energia elétrica de fonte renovável solar*” (PARAÍBA, 2016b).

Verifica-se, dessa forma, a existência de inconsistências na regulamentação legislativa das normas programáticas de incentivo à pesquisa e implementação de tecnologias de geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis, bem como a forte presença de direcionamento dos incentivos fiscais/tributários para o modelo fotovoltaico.

2.7.5.1 Estudo comparado entre a legislação paraibana e a pernambucana de fomento ao uso de energias eólica e fotovoltaica por meio da concessão de crédito presumido de ICMS

O Decreto Estadual nº 39.460/2013 (Estado de Pernambuco) regulamenta a concessão e a utilização do crédito presumido do ICMS do Programa de Sustentabilidade na Atividade Produtiva (PESUSTENTÁVEL), instituído pela Lei estadual nº 14.666/2012. (PERNAMBUCO, 2013)

Os artigos 1º, 2º e 8º deste Decreto disciplinam que o estabelecimento industrial que adquirir energia elétrica de fonte renovável solar pode ser estimulado mediante a concessão de crédito presumido do ICMS, detalhando os critérios a serem preenchidos para a percepção do incentivo fiscal e tributário.

O Decreto Estadual 14.876/1991 apenas beneficiava a indústria eólica. As complementações feitas por meio do Decreto Estadual 42.034/2015, estendeu os benefícios fiscais e tributários para a indústria fotovoltaica.

Por meio da Lei Municipal nº 18.112/2015 da cidade do Recife, também instituiu o programa “Telhado Verde”:

Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações comerciais e habitacionais, obrigando a instalação de 'telhado verde' e a construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem. (RECIFE,2015).

Também cria a obrigatoriedade de os imóveis comerciais e residenciais a

providenciar cobertura com vegetação verde apropriada, de preferência nativa, com a finalidade de melhorar “o aspecto paisagístico, diminuir a ilha de calor, absorver parte do escoamento superficial e melhorar o microclima local”, sem que haja incentivo fiscal e/ou tributário (RECIFE, 2015).

O programa pernambucano é inspirado na legislação francesa, que instituiu, na cidade de Paris, no ano de 2014, norma que obrigou prédios comerciais a terem cobertura com plantas vivas e/ou placas fotovoltaicas.

As maiores vantagens dos telhados verdes são a retenção da água das chuvas e a filtragem das partículas suspensas no ar (fuligem), além da produção de energia solar, por meio da instalação de painéis fotovoltaicos, capazes de eliminar até 100% dos custos com energia elétrica para necessidades básicas indispensáveis a um imóvel residencial, comercial ou industrial, a exemplo da iluminação, conforme ilustra a Figura 19.

Figura 19: Telhado de edificação francesa com arborização e placa fotovoltaica



Fonte: hypeness.com.br (2018)

Na legislação pernambucana, verifica-se a existência de relação direta entre os objetivos normatizados e o detalhamento das medidas necessárias para a devida implementação prática dos projetos nelas constantes, inclusive, indicando quais medidas geram benefícios fiscais, detalhando a forma de concessão.

Já no caso da legislação paraibana, como visto nos tópicos precedentes, por meio de duas leis que passaram a vigor no ano de 2016, foram instituídas políticas de fomento à utilização de energia solar e eólica, sem que fossem concedidos benefícios fiscais e tributários para o segundo modelo e sem que nenhuma exposição de motivos fosse apresentada, seque figurando dentre os

artigos que trataram do crédito presumido em ICMS.

De tal modo, além das disposições gerais do texto legislativo paraibano já ensejar o maior beneficiamento do modelo fotovoltaico, a parte dispositiva da Lei Estadual nº 10.720/2016 sacramenta o preterimento do modelo eólico, apenas estendendo os benefícios fiscais e tributários para os estabelecimentos industriais que adquirirem energia elétrica de fonte renovável solar, criando nefasta lacuna legislativa em relação ao incentivo que intentava-se fomentar ao modelo de geração/utilização energética pautada nos ventos. (PARAÍBA, 2016b)

Resta evidenciado, portanto, que estas leis paraibanas se afiguram demasiadamente genéricos e de fragilizado incentivo multigênero (econômico, fiscal/tributário, ecológico/ambiental). As políticas públicas voltadas ao setor energético renovável, no estado, enfrentam dificuldades multifatoriais.

É possível listar obstáculos que dificultam diretamente o processo de implementação de políticas públicas em larga escala no estado da Paraíba.

Além de o setor de geração e também de aproveitamento de energia elétrica advinda de fontes renováveis possuir pouca regulamentação por meio de legislação própria (Estadual e/ou Municipal), as políticas públicas decorrentes de Lei contemplam benefícios fiscais/tributários de dificultosa implementação.

As supra tratadas legislações estaduais paraibanas (Leis nºs 10.718 e 10.720/2016), por exemplo, visam o fomento e a utilização de energias renováveis solar e eólica. No entanto, sequer detalham o que seria tal fomento e utilização, apenas tracejando de forma rasa que o Estado financiará ações, pesquisas e estudos para implementação prática, “preferencialmente da energia fotovoltaica”, além da concessão de benefícios fiscais e tributários para estabelecimentos industriais que utilizarem energia elétrica decorrente de fonte solar e eólica.

A tabela 3 ilustra, resumidamente, as diferenças entre a legislação paraibana e a legislação pernambucana em matéria energética renovável.

Tabela 3: Diferenças entre a legislação paraibana e a legislação pernambucana

Legislação Paraibana	Legislação Pernambucana
1- redação confusa acerca dos objetivos e incentivos ofertados; 2- sucessivas leis para complementação das regulações; 3- legislação abrange fontes fotovoltaica e eólica, embora apenas ofereça benefício fiscal à primeira; 4- ausência de detalhamento: “Fomento e utilização”. “Ações, pesquisas e estudos de implementação”; 5- LEs 10.718/2016 e 10.720/2016.	1- relação direta entre os objetivos normatizados e medidas de implementação prática dos projetos; 2- menos leis para regulamentar teor semelhante de medidas; 3- legislação revista para oferecer benefícios fiscais à fotovoltaica e eólica; 4- Decreto Estadual específico para detalhamento de ações e incentivos; 5- LE 14.666/2012; e DEs 14.876/1991, 39.460/2013 e 42.034/2015.

Fonte: Criada pelo autor (2020)

Não se afigura razoável elencar eventual falta de primor técnico-legislativo para justificar a ausência de incentivos fiscais/tributários ao modelo eólico. Talvez a existência de entraves outros do setor ainda dificultem o incentivo financeiro governamental, especialmente face à notória predominância da utilização do modelo fotovoltaico no estado da Paraíba, tanto em relação à captação, quanto ao aproveitamento da energia gerada por meio desta tecnologia.

Frisa-se que a ausência de marco legislativo específico acerca de determinada matéria, apesar de refletir a ausência formal do Estado em fornecer estímulos, dentre outros, financeiros, não torna as perspectivas regulamentares travadas. No caso das energias renováveis, por tratar-se de setor que envolve tecnologia de ponta e que envolve alto custo em sua cadeia de produção, atrelada à velocidade com que necessita de atualização, torna ainda mais árduo o processo de inserção nas políticas públicas das diversas esferas de poder.

Ponto chave é a constante apresentação de projetos focados na implementação das tecnologias renováveis à rotina diária das empresas e também do cidadão. Especialmente ao apresentar soluções técnico e ecologicamente eficientes e de custo financeiro reduzido. Nesse sentido, as Universidades e Institutos Federais desenvolvem papel primordial por meio das pesquisas que resultam em diversos projetos que promovem a melhoria do setor

energético renovável, além da intensa geração de patentes.

Por fim, faz-se necessário o registro de que existe forte elo entre a implementação prática de uma medida, a normatização da matéria envolvida e a demonstração da necessidade social. Cabe a sociedade, portanto, estimular o poder público a cuidar adequadamente dos interesses da coletividade.

3 SISTEMA DE ANÁLISE PREDITIVA DE POTÊNCIA SOLAR-EÓLICA

Neste capítulo será discutida a utilização de sistema de análise de potência eólica fotovoltaica, composto por 2 softwares e por uma base de dados voltada a fim específico.

Foram utilizados o software Google Earth Engine, do grupo Google, a base de dados climatológica Terraclimate e software de modelagem desenvolvido diante das demandas verificadas no presente trabalho científico, que realizou a análise preditiva de todos os dados fornecidos pelas ferramentas listadas.

O funcionamento do software de predição de potência híbrida, basicamente, depende da obtenção de dados climatológicos para, a partir deles, estimar potências solar, eólica e híbrida de determinada localização geográfica.

No presente trabalho, foi feita a leitura de dados de velocidade do vento e de irradiância solar de ondas curtas da localização geográfica (latitude e longitude) do PRODEMA UFPB, pelo período de 10 anos (2008 à 2018) para, a partir das potências médias eólica, solar e híbrida, traçar a média do comportamento anual destas fontes renováveis e estimar, com precisão, a capacidade de geração de energia elétrica do sistema híbrido teórico.

O resultado das análises realizadas a partir de software de modelagem, sugere que a geração de energia elétrica por meio de matriz híbrida eólica fotovoltaica para iluminação de órgãos públicos confere mais confiabilidade ao sistema, além de produzir efeitos benéficos multifatoriais, o que fomenta a discussão acerca do foco do legislador ao produzir leis que tratem do fomento às energias renováveis.

3.1 – Proposta de modelo híbrido a partir de software de modelagem

Conforme delineado, o sistema de análise preditiva de potência solar-eólico é formado por dois softwares e uma base de dados específica que terão sua operacionalização devidamente apresentada. São elas: Software de Modelagem, Google Earth Engine, base de dados climatológica Terraclimate.

3.1.1 Google Earth Engine

Essa ferramenta trata-se de plataforma de processamento geoespacial, com dados armazenados em nuvem, mais avançada do mundo.

Sua plataforma agrega dados “online” fornecidos por satélites situados ao longo da superfície global, que alimenta o banco de dados da plataforma de pesquisa, em tempo real, além de armazenar informações de diversos aspectos do processamento geoespacial, a exemplo da variação da velocidade do vento, da variação da temperatura ou da variação da radiação solar em ponto específico do globo e durante período especificado.

O processamento de dados da ferramenta é realizado por meio de “scripts”, em interface integrada às linguagens “Python” e “Java Script”.

Dentre a gama de informações que podem ser obtidas por meio da pesquisa na ferramenta “Google Earth Engine”, estão imagens de satélites de todo o globo terrestre, com precisão a nível de detalhes, incrementadas com dados geoespaciais, dados de localização, gráficos, etc. A plataforma é capaz de desenvolver algoritmos interativos em escala global; de ampliar o universo de exploração em termos de sensoriamento remoto; de fomentar a ciência embasada em dados de alto impacto; e de contribuir com as pesquisas a nível global a partir do fornecimento do conjunto de dados geoespaciais.

A ferramenta “Google Earth Engine” além de permitir a visualização de superfícies terrestres, também permite a realização de manipulação, a edição, a criação e a quantificação de dados de qualquer ponto escolhido no globo, quer seja na terra ou no mar. O banco de dados da plataforma é lastreado pelo “Earth Engine Stores”, espécie de nuvem que armazena os dados utilizados pelo “Google Earth Engine” e que pode chegar à trinta anos de história em imagens e

em dados técnicos/científicos, atualizados e expandidos diariamente e em tempo real.

Essa plataforma com informações vastas e atuais organiza e disponibiliza dados para usuários da esfera pública (entes governamentais) e da esfera privada (empresas), além de também atender a usuários pessoas físicas, tratando-se, portanto, de poderosa ferramenta democrática, a nível mundial, com amplo banco de dados, alimentado e atualizado em tempo real.

3.1.1.2 – Base de dados Terraclimate

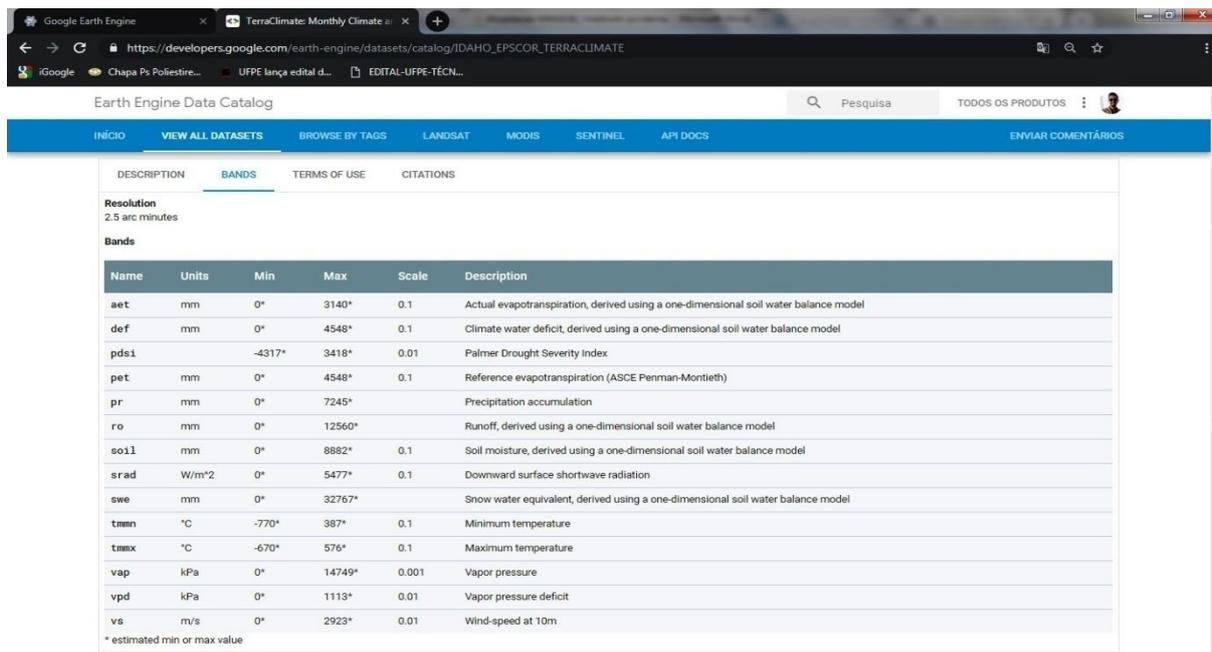
Inserida na plataforma do Google Earth Engine há base de dados “Data Sets” com campo denominado “View All Datasets”, em que é possível visualizar todas as bases de dados dos satélites que podem fornecer informações a partir da demanda a eles fornecida.

Na presente pesquisa, foi escolhida a base de dados “Terraclimate”, desenvolvida pela Universidade de Idaho, nos Estados Unidos da América.

A base de dados Terraclimate contempla números atinentes a balanços hídricos e climáticos com frequência mensal, obtidos de superfícies terrestres do nosso planeta, desde o ano de 1958 até o ano de 2015. Dados importantes podem ser obtidos a partir de suas informações, aprofundando estudos em escala global que necessitem de dados de alta resolução, obtidos por meio de satélite e com escala ampla e variada no tempo.

O Terraclimate classifica seus dados em primários e secundários, sendo os primeiros vinculados à temperatura (escala de mínima a máxima), pressão atmosférica, volume e acúmulo de precipitação, radiação de ondas curtas na superfície, além da velocidade e constância do vento. Os dados secundários, a seu turno, envolvem dados variáveis, a exemplo da umidade do solo, índice de evapotranspiração, escoamento da superfície e déficit hídrico, conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20: Dados contidos na base Terraclimate



Name	Units	Min	Max	Scale	Description
aet	mm	0*	3140*	0.1	Actual evapotranspiration, derived using a one-dimensional soil water balance model
def	mm	0*	4548*	0.1	Climate water deficit, derived using a one-dimensional soil water balance model
pds1		-4317*	3418*	0.01	Palmer Drought Severity Index
pet	mm	0*	4548*	0.1	Reference evapotranspiration (ASCE Penman-Monteith)
pr	mm	0*	7245*		Precipitation accumulation
ro	mm	0*	12560*		Runoff, derived using a one-dimensional soil water balance model
so11	mm	0*	8882*	0.1	Soil moisture, derived using a one-dimensional soil water balance model
srad	W/m ²	0*	5477*	0.1	Downward surface shortwave radiation
swe	mm	0*	32767*		Snow water equivalent, derived using a one-dimensional soil water balance model
tmmn	°C	-770*	387*	0.1	Minimum temperature
tmmx	°C	-670*	576*	0.1	Maximum temperature
vap	kPa	0*	14749*	0.001	Vapor pressure
vpd	kPa	0*	1113*	0.01	Vapor pressure deficit
vs	m/s	0*	2923*	0.01	Wind-speed at 10m

* estimated min or max value

Fonte: Google Earth Engine (2019)

Na figura 20, observa-se a presença de diversos dados fornecidos pelo Terraclimate. Para a presente pesquisa, filtrou-se três tipos de dados conforme parâmetros necessários à aferição acerca da viabilidade do sistema híbrido eólico-fotovoltaico de iluminação, sendo eles: velocidade do vento, incidência de radiação solar de onda curta e temperatura máxima.

Detalhamento acerca dos parâmetros escolhidos são melhor tratados na tabela 4, abaixo disposta.

Tabela 4: Detalhamento dos parâmetros Terraclimate

Nome	Unidade	Min	Máx	Escala	Descrição
Srad	W/m ²	0*	5477*	0.1	Radiação de ondas curtas
Tmmx	°C	-670*	576*	0.1	Temperatura máxima
Vs	m/s	0*	2923*	0.01	Velocidade média do vento a 10m de altura

Fonte: Adaptado de Google Earth Engine (2019) pelo autor (2019)

Foram extraídas informações referentes ao período a ser pesquisado de 1985 à 2015, processados no banco de dados e imagens de satélite, por meio de linguagem “Java Script”, decodificada para seu conteúdo ser utilizado na confecção de gráficos no formato de planilha de cálculos. A tabela 5 contempla trechos dos códigos utilizados na operação de extração de dados.

Tabela 5: Detalhamento dos parâmetros selecionados na base de dados terraclimate

Código	Resultado
<code>var WindSurface =ee.ImageCollection(DataBase) .filterDate(StartDate, EndDate) .select('srad')</code>	Campo ‘srad’ relacionado a irradiância solar na Latitude e Longitude informados
<code>var WindSurface =ee.ImageCollection(DataBase) .filterDate(StartDate, EndDate) .select('tmmx')</code>	Campo ‘tmmx’ relacionado a temperatura na Latitude e Longitude informados
<code>var WindSurface =ee.ImageCollection(DataBase) .filterDate(StartDate, EndDate) .select('vs')</code>	Campo ‘vs’ relacionado Velocidade média do vento a 10m de altura na Latitude e Longitude informados

Fonte: Adaptado de Google Earth Engine (2019) pelo autor (2019)

Com a finalidade de obter dados necessários à presente pesquisa, foram inseridas coordenadas geográficas de latitude (Lat.: -7.153071974027067) e longitude (Long.: -34.800280428008534) referentes à localização da cidade de João Pessoa. Executado o “script”, atualizou-se o mapa de pixels com arranjo de cores, que passou a acompanhar os gráficos com informações acerca do período requisitado.

Destaca-se que o arranjo de cores foi modificado com o intuito de gerar gráficos distintos, de acordo com parâmetros para apuração de dados, por meio de software de modulação que simulará a utilização de sistema híbrido (eólico-fotovoltaico) “off grid” de geração de energia elétrica a ser implantado no PRODEMA com o intuito primário de gerar energia suficiente para alimentar o sistema de iluminação do laboratório do Programa, conforme registros fotográficos constantes na figura 21.

Figura 21: Estrutura física/iluminação - laboratório PRODEMA/UFPB



Fonte: Acervo do autor (2018)

O cálculo estimativo que visa a redução de custos e de impacto multifatorial, levou em consideração as 08 lâmpadas tubulares em LED, com 120 cm de comprimento, reator interno, 18W de consumo unitário e capacidade de iluminação com 900 lúmens, da marca FLC.

A potência requerida pelo sistema de iluminação do laboratório do PRODEMA, portanto, é de 144 Watts

Os dois parâmetros selecionados (velocidade do vento e radiação solar de onda curta) estão diretamente vinculados à verificação da viabilidade do sistema híbrido, eis que seus dados fornecem, em números, informações precisas acerca da radiação solar a incidir nas placas fotovoltaicas, bem como no volume de vento que atuará nas pás do aerogerador, o que torna possível calcular a potência e o volume de energia elétrica gerado pelo sistema, com dados a serem apurados pelo software de modelagem.

3.1.2 Software de predição de potência solar-eólica

O software de modelagem desenvolvido a partir do presente trabalho científico, obtém os dados gerados sobre irradiância solar e velocidade do vento a partir da localização geográfica do PRODEMA UFPB, referente ao decênio de 2008 à 2018, passando para a etapa de tabulação dos dados obtidos pelo software Google Earth Engine, a partir da base de dados climatológica Terraclimate, compilados em planilha de cálculos, elaborando-se arquivo a ser processado pelo software de modelagem (.csv) que, por sua vez, utiliza as equações de modelagem elencadas nos itens 2.6.1 e 2.6.2, gerando algoritmo

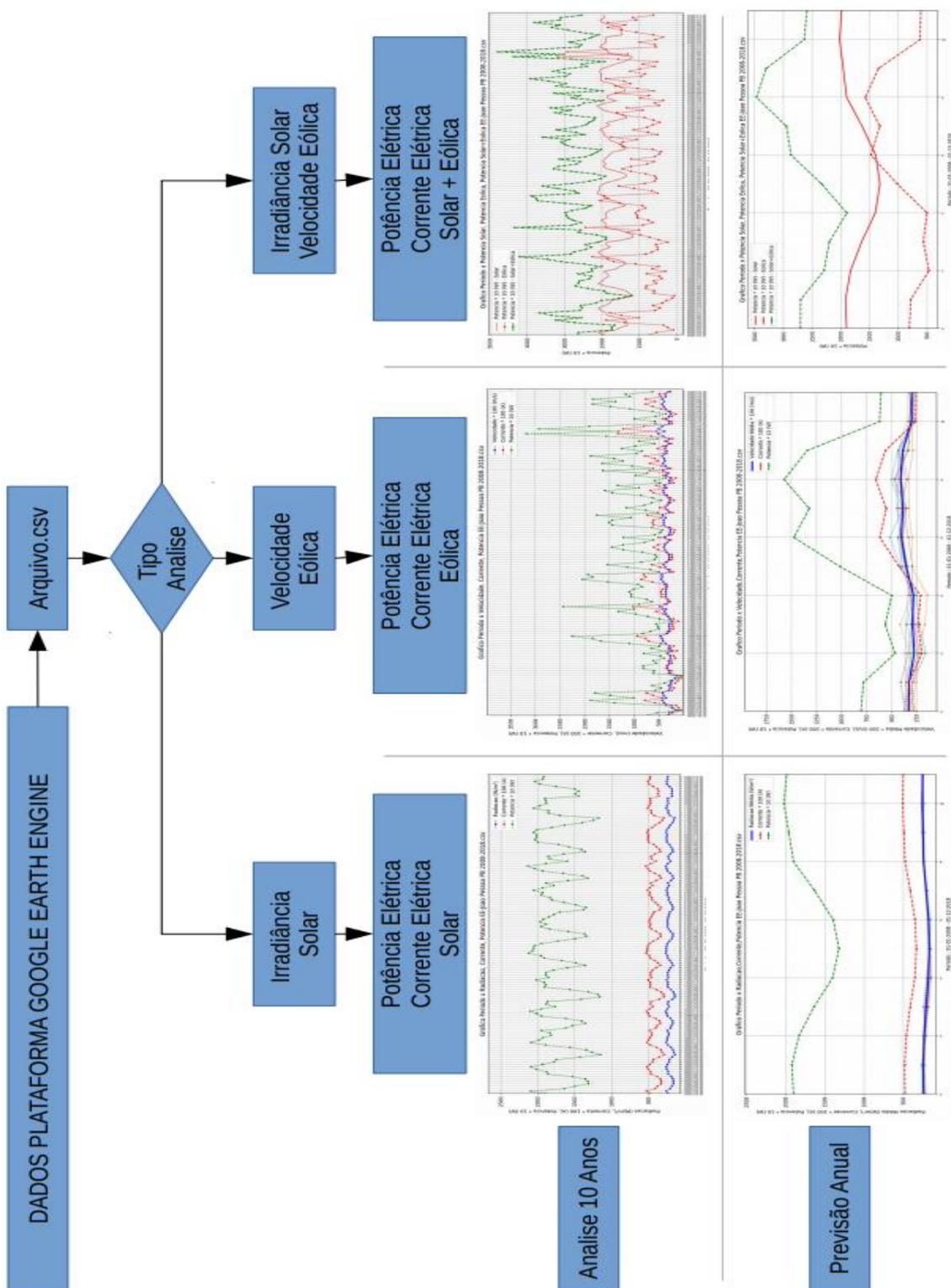
que propicia a escolha de três tipos de análise: 01) Solar; 02) Eólica; 03) Solar + Eólica.

A Figura 22 ilustra fluxograma com o mapeamento da implementação prática do algoritmo utilizado no software de predição de potência solar-eólica. Diante da impossibilidade de exposição do algoritmo, em si, sujeito a processo de patente, o fluxograma ilustra o passo a passo de funcionamento e o produto final a ser entregue pelo software de modelagem.

Basicamente, o software de modelagem, cujos parâmetros de voltagem para Painel Solar e Aerogerador são, respectivamente, de 20V e de 24 V, gera três possibilidades de análise para os modelos: eólico, fotovoltaico e eólico + fotovoltaico, durante 10 anos analisados (2008 à 2018):

- a) irradiância solar: a partir da radiação solar que, submetida a equação, gera corrente elétrica solar e, em submissão à nova equação, chega-se à potência solar
- b) velocidade eólica: os dados referentes à velocidade dos ventos passam por equação, que geram a corrente eólica e, a partir de submissão dos dados da corrente à outra equação, apura-se a potência eólica;
- c) irradiância solar + velocidade eólica: apurados os dados de corrente elétrica e de potência elétrica solar e eólica, chega-se à potência híbrida do sistema de análise preditiva.

Figura 22: Fluxograma - funcionamento do software de modelagem



Fonte: Criada pelo autor (2020)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados resultantes da presente pesquisa subdividem-se em 05 etapas, com distintas perspectivas que se inter-relacionam: 1) tecnológicos; 2) ambientais; 3) sociais; 4) econômicos; e 5) legislativos.

4.1 Perspectivas Tecnológicas

O início dos resultados tecnológicos remete à análise dos dados relacionados à variação da radiação solar e velocidade do vento, captados pelos gráficos gerados pelo software de modelagem, a partir de informações obtidas por meio do software Google Earth Engine e da plataforma de dados Terraclimate.

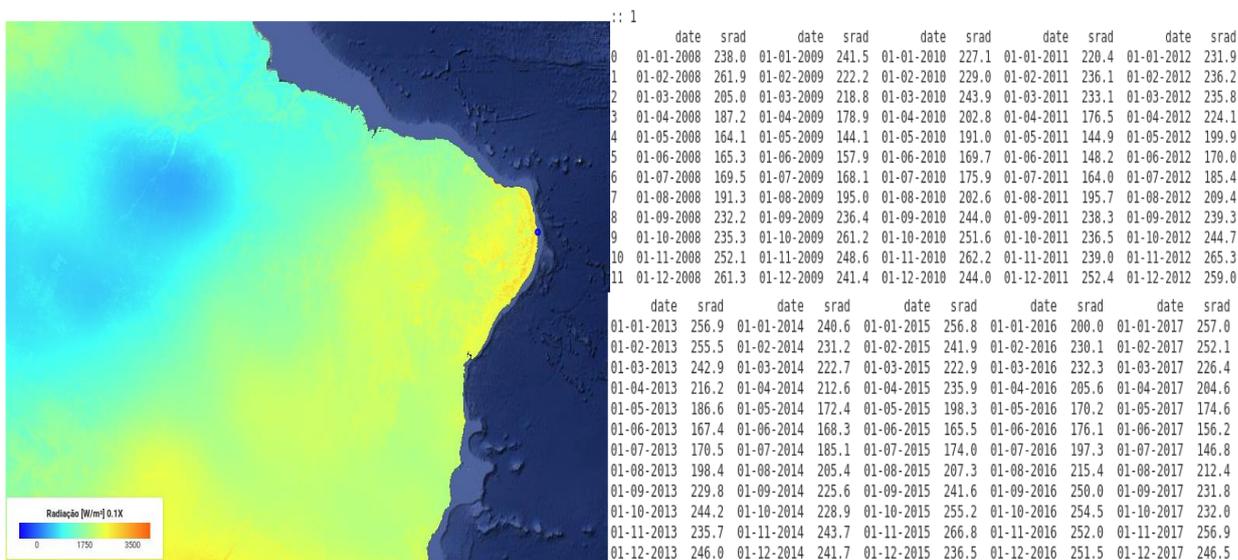
4.1.1 Processamento de dados da cidade de João Pessoa-PB

Ao fornecer coordenadas geográficas (latitude e longitude) do ponto a ser analisado ao software Google Earth Engine, a ferramenta tecnológica, além de apresentar mapa com marcação precisa do local escolhido, gera dados que servem de base para a extração de outras informações, a exemplo de corrente, tensão e potência.

4.1.1.1 Obtenção de dados de radiação solar – geração fotovoltaica

A Figura 23 ilustra mapa e dados obtidos que tratam de radiação solar na cidade de João Pessoa.

Figura 23: Mapa de Radiação e dados da radiação local gerados pelo Google Earth Engine, da cidade de João Pessoa-PB, de 2008 a 2018



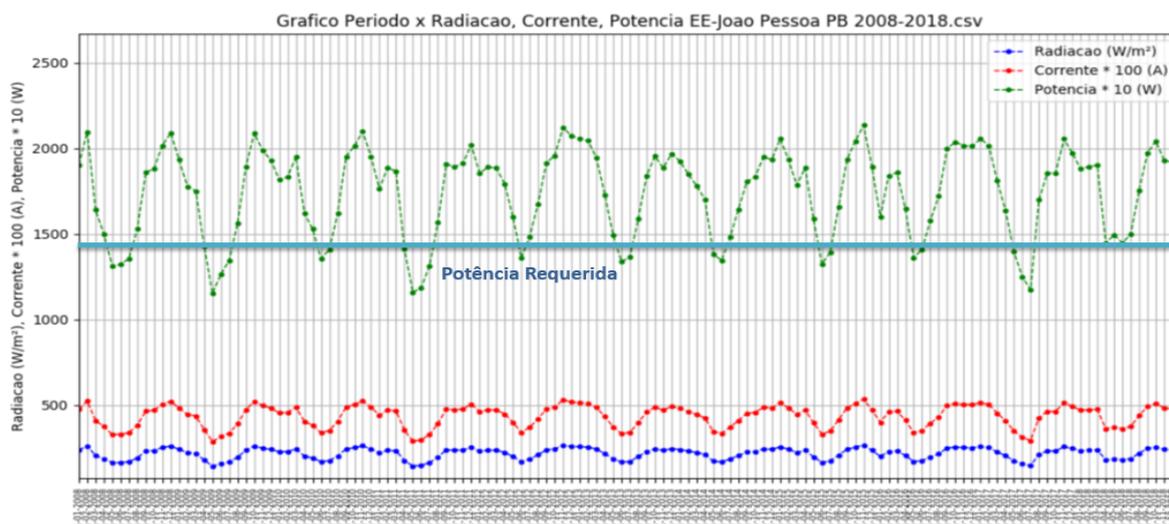
Fonte: Software de modelagem (2020)

Gerados os dados por meio do Google Earth Engine e da plataforma de dados Terraclimate, o software de modelagem coleta as informações sobre radiação solar, submete a equação para encontrar os dados de corrente que, por sua vez, são submetidos a nova equação (itens 2.6.1 e 2.6.2), resultando nos dados de potência.

A Figura 24 representa o gráfico ano a ano, de 2008 a 2018 da radiação solar na cidade de João Pessoa. A linha pontilhada azul diz respeito à radiação solar (W/m^2), a linha pontilhada vermelha, à corrente ($\times 100 A$) e a linha pontilhada verde, à potência solar ($\times 10 W$).

A linha reta azul clara, denominada ‘Potência requerida’, representa o quantitativo necessitado pelo sistema “off grid” de iluminação do laboratório do PRODEMA para manter-se funcionando (144 Watts).

Figura 24: Gráfico Período x Radiação, Corrente e Potência, João Pessoa-PB de 2008 a 2018

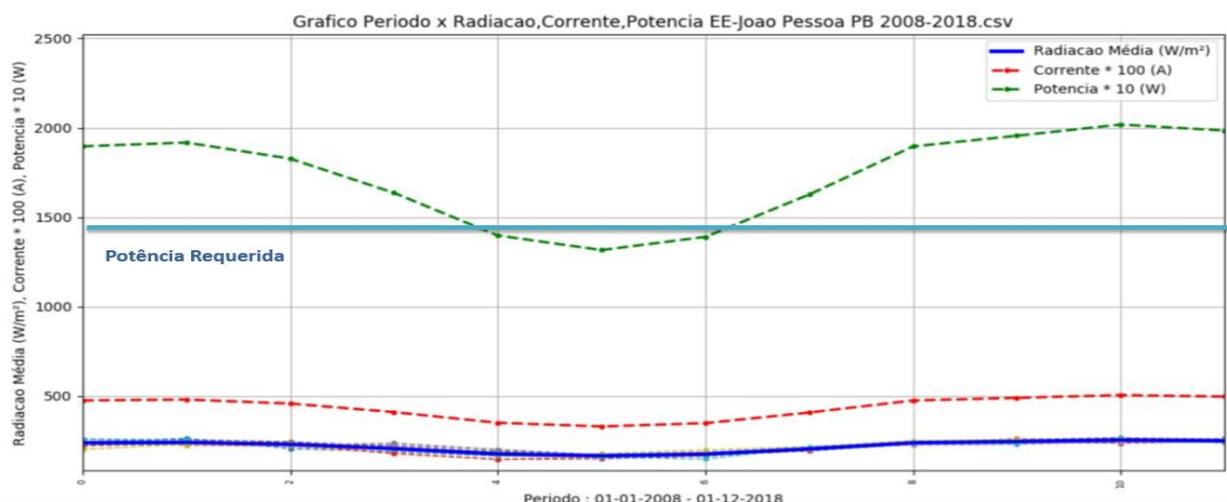


Fonte: Software de modelagem (2020)

A Figura 25 ilustra o comportamento das médias anuais de radiação (linha pontilhada azul), corrente (linha pontilhada vermelha) e potência solar (linha pontilhada verde), em João Pessoa, considerados dez anos (2008 a 2018).

Ressalta-se que a linha pontilhada verde, que indica a potência fotovoltaica, no meio do ano de cada um dos dez anos, evidencia a geração deficitária de energia elétrica, em relação à potência requerida pelo sistema de iluminação do laboratório do PRODEMA (144W).

Figura 25: Gráfico Período x Radiação, Corrente e Potência, João Pessoa-PB de 2008 a 2018



Fonte: Software de modelagem (2020)

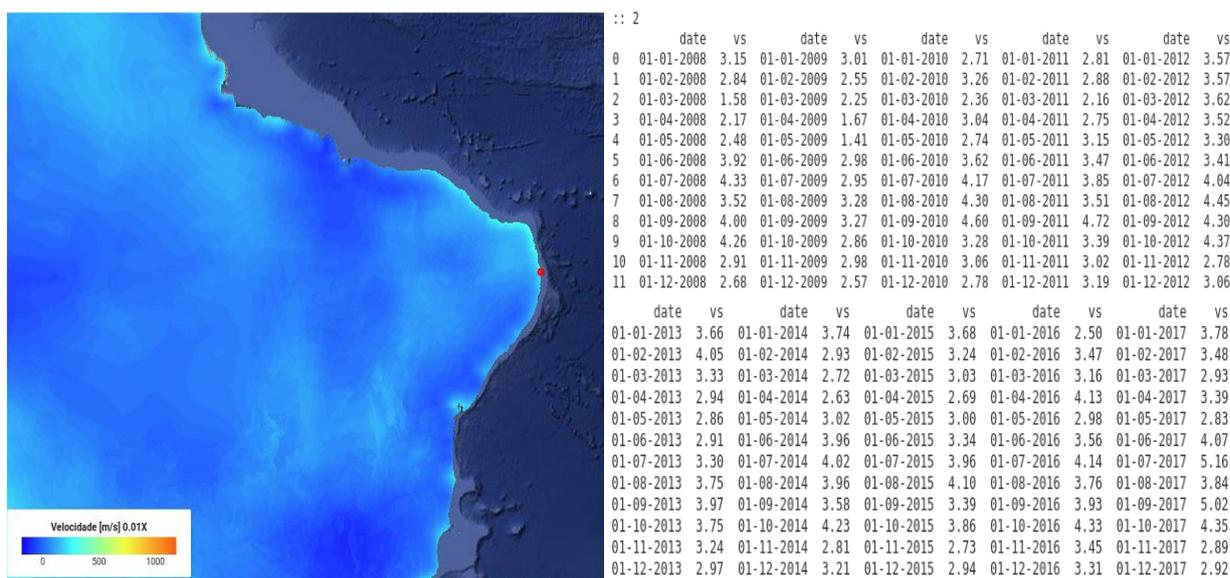
A linha reta azul clara é o quantitativo necessitado pelo sistema “off grid” de iluminação do laboratório do PRODEMA para manter-se funcionando (144 Watts).

O presente gráfico (Figura 25) reflete o comportamento das “**médias anuais**” de radiação, entre 2008 e 2018 e, tal qual verificado na Figura 24, ilustra que nos meses compreendidos no meio do ano de cada ano, a potência fotovoltaica gerada não é suficiente a alimentar o sistema de iluminação do laboratório do PRODEMA (144W).

4.1.1.2 Obtenção de dados de velocidade do vento – geração eólica

A Figura 26, ilustra mapa e dados obtidos que tratam de velocidade dos ventos na cidade de João Pessoa no decênio 2008-2018.

Figura 26: Mapa Eólico (velocidade) e dados dos ventos locais gerados pelo Google Earth Engine, da cidade de João Pessoa-PB, de 2008 a 2018

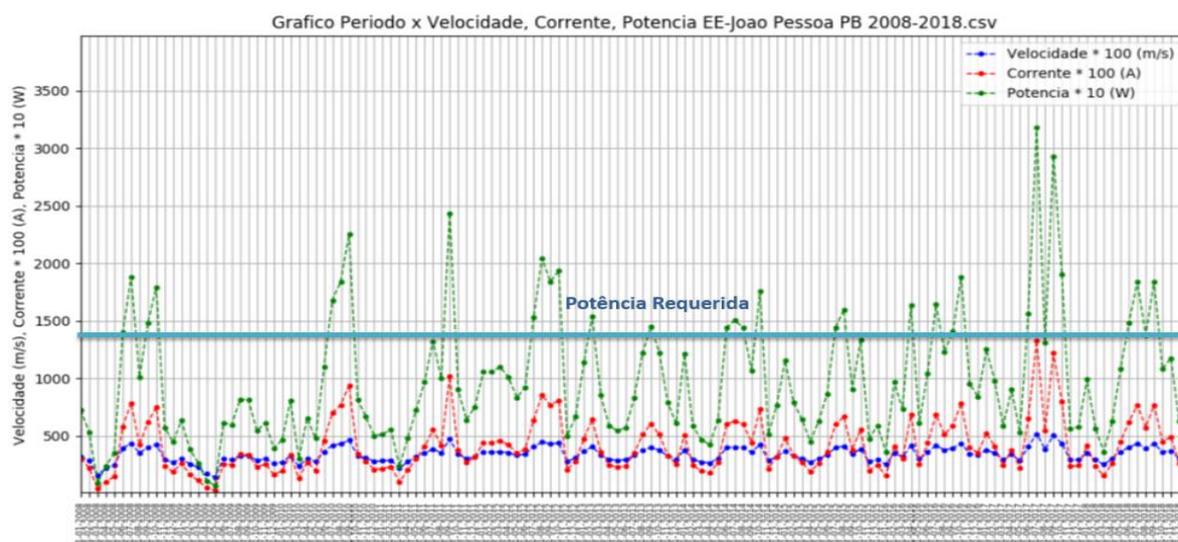


Fonte: Software de modelagem (2020)

A Figura 27 representa de gráfico ano a ano, de 2008 a 2018 da velocidade dos ventos na cidade de João Pessoa. A linha pontilhada azul escuro diz respeito à velocidade (x100 m/s), a linha pontilhada vermelha, à corrente (x100 A) e a linha pontilhada verde, à potência eólica (x10 W).

A linha reta azul clara, como dito, é a potência requerida de 144 Watts.

Figura 27: Gráfico Período x Velocidade dos Ventos, Corrente e Potência, João Pessoa-PB de 2008 a 2018

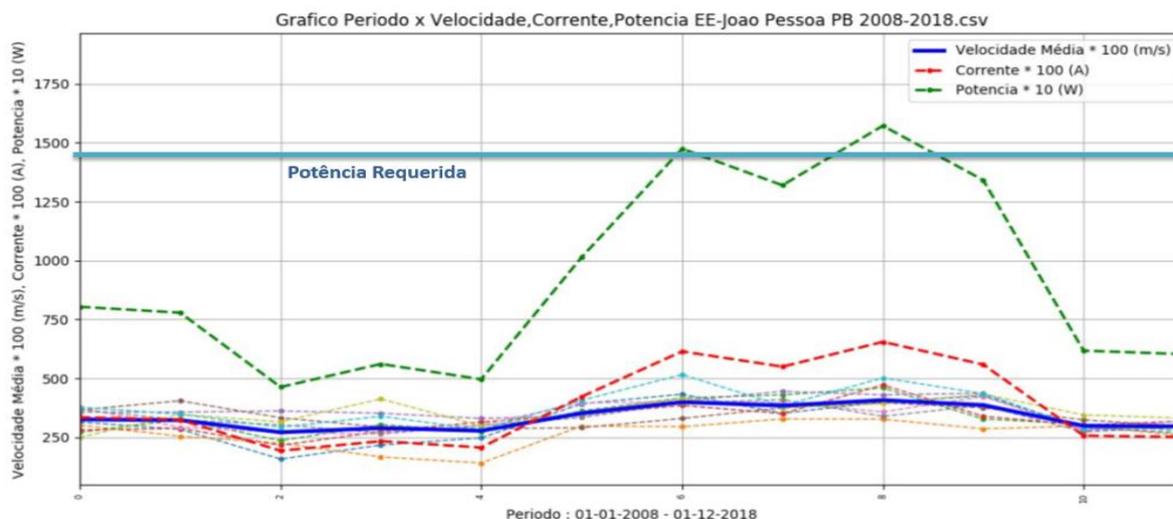


Fonte: Software de modelagem (2020)

A Figura 29 ilustra o comportamento das médias anuais de radiação (linha pontilhada azul), corrente (linha pontilhada vermelha) e potência eólicas (linha pontilhada verde), em João Pessoa, considerados dez anos (2008 a 2018).

Ademais, a linha pontilhada verde, que indica a potência eólica, nos períodos inicial e final do ano, de cada um dos dez anos, evidencia a geração deficitária de energia elétrica, em relação à potência requerida pelo sistema de iluminação do laboratório do PRODEMA (linha azul claro → 144W).

Figura 29: Gráfico Período x Radiação, Corrente e Potência, João Pessoa-PB de 2008 a 2018



Fonte: Software de modelagem (2020)

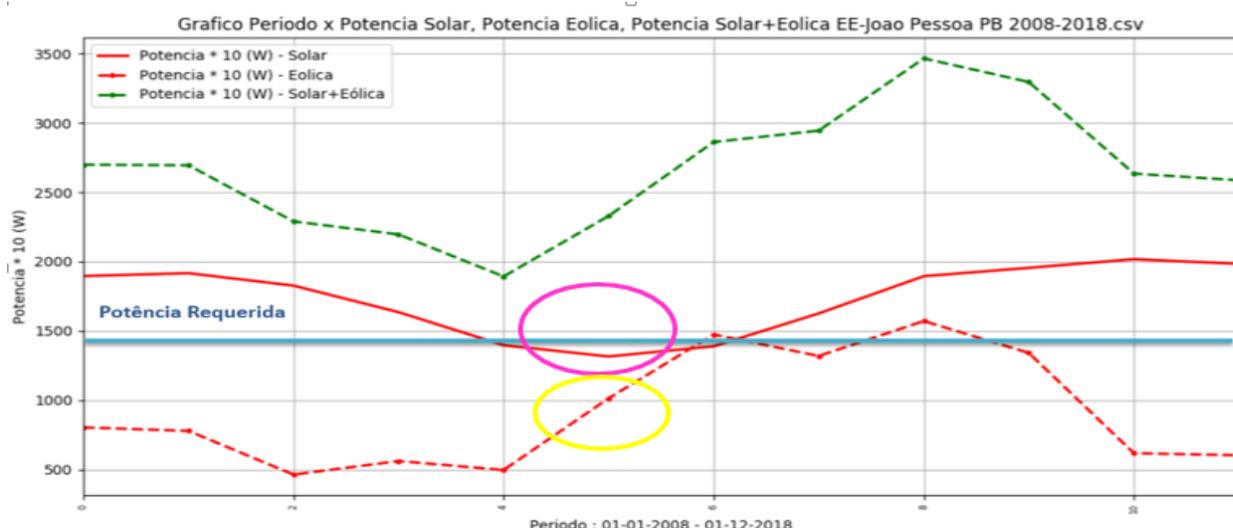
O presente gráfico de “**médias anuais**” de **velocidade do vento**, de 2008 a 2018, na cidade de João Pessoa, reitera a informação extraída da Figura 28, ilustra que nos primeiros e nos últimos meses de cada ano, a potência eólica gerada não é suficiente para alimentar o sistema de iluminação do laboratório do PRODEMA (linha azul claro → 144W).

Na sequência, analisa-se a apuração conjunta dos dados de potência solar e eólica, como forma de mensurar a capacidade de geração híbrida em razão da potência necessária para funcionamento do sistema de iluminação do laboratório do PRODEMA.

4.1.1.3 Obtenção de dados de potência solar + eólica

A Figura 30, ilustra mapa e dados obtidos que tratam das **médias anuais** de radiação solar e de velocidade dos ventos na capital paraibana, João pessoa no decênio 2008-2018.

Figura 30: Gráfico Período x Potência Solar, Potência Eólica, Potência **Solar + Eólica**, Médias Anuais, **João Pessoa-PB** de 2008 a 2018



Fonte: Software de modelagem (2020)

O gráfico ilustra as “**médias anuais**” de **radiação + velocidade do vento**, da cidade de **João Pessoa**, sugerindo que, no período compreendido do meio de cada ano estudado (2008 à 2018), a geração de energia elétrica por

meio da fonte fotovoltaica (linha contínua vermelha) mostrou-se deficitária nos meses compreendidos no meio do ano de cada ano.

Em contrapartida, verifica-se que a geração eólica (linha pontilhada vermelha) evidencia que, no mesmo período em que a geração fotovoltaica tem sua capacidade reduzida a ponto de não conseguir manter o funcionamento do sistema de iluminação do laboratório do PRODEMA (potência requerida de 144W – linha azul claro), a geração eólica tem sua capacidade aumentada, fornecendo energia elétrica suficiente ao pleno funcionamento do sistema de iluminação.

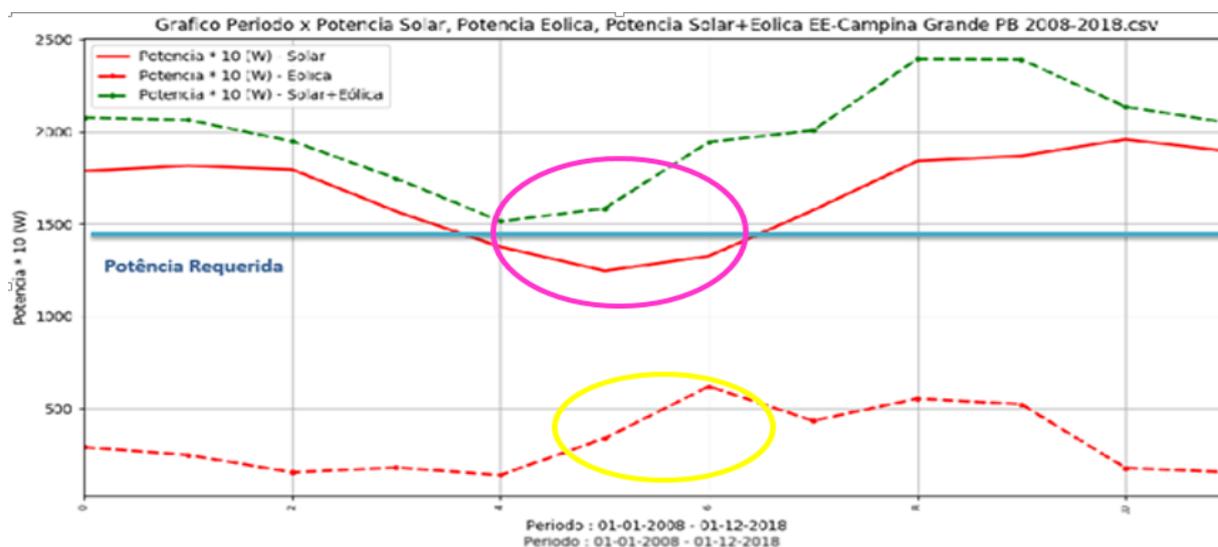
O destaque cor de rosa, na forma ovalada, demonstra o ponto deficitário da geração fotovoltaica, enquanto o destaque amarelo ovalado evidencia o período de melhoria do resultado da geração eólica, o que fez com que a soma das energias resulte em quantitativo superior à potência necessitada pelo sistema de iluminação, durante o lapso temporal analisado.

A linha pontilhada verde, representa a potência híbrida (soma da potência solar com a potência eólica). Ela sugere que a “média anual da potência híbrida” aferida pelo software de modelagem, para o sistema híbrido hipotético, é superior aos 250W, com mínima em cerca de 180W em período compreendido no 2º bimestre anual e com máxima em cerca de 350W no 4º bimestre anual, fornecendo, portanto, energia elétrica em patamar médio superior aos 144W necessários ao funcionamento do sistema de iluminação do laboratório do PRODEMA UFPB.

4.1.2 Obtenção de dados de potência solar + eólica – Campina Grande e Patos

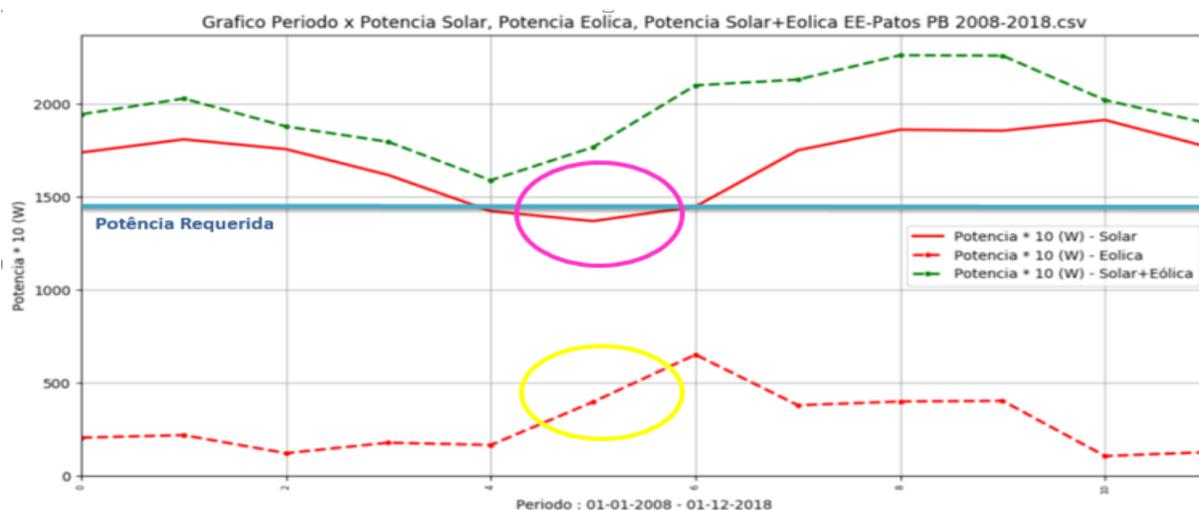
A Figura 31, ilustra mapa e dados obtidos que tratam das **médias anuais** de radiação solar e de velocidade dos ventos nas cidades de Campina Grande e Patos no decênio 2008-2018.

Figura 31: Gráfico Período x Potência Solar, Potência Eólica, Potência **Solar + Eólica**, Médias Anuais, **Campina Grande e Patos-PB**, de 2008 a 2018



Fonte: Software de modelagem (2020)

Figura 32: Gráfico Período x Potência Solar, Potência Eólica, Potência **Solar + Eólica**, Médias Anuais, **Patos-PB** de 2008 a 2018



Fonte: Software de modelagem (2020)

Os gráficos constantes nas Figuras 31 e 32 ilustram as “médias anuais” de **radiação + velocidade do vento**, das cidades paraibanas de **Campina Grande e Patos**, sugerindo que, no período de 2008 à 2018, tal qual vislumbrado para a cidade de João Pessoa (Figura 30), a geração de energia elétrica por meio da fonte fotovoltaica (linha contínua vermelha) mostrou-se deficitária nos meses compreendidos no meio do ano de cada ano.

O comportamento em relação à geração eólica (linha pontilhada vermelha), também foi idêntico ao verificado para a capital paraibana. O modelo eólico, tanto em Campina Grande, quanto em Patos, teve sua capacidade aumentada, no mesmo período, fornecendo energia elétrica suficiente ao pleno funcionamento do sistema de iluminação.

Os destaques cor de rosa e amarelos, nas formas ovaladas, nos gráficos das cidades de Campina Grande e Patos, apresentam idêntico padrão de comportamento em relação ao verificado na cidade de João Pessoa. Demonstra o ponto deficitário da geração fotovoltaica e a melhoria do resultado da geração eólica, no mesmo período, o que fez com que, apenas por meio do somatório das potências geradas pelas duas matrizes, restasse alcançada a potência requerida pelo sistema de iluminação, ano a ano, durante todo o período analisado.

A potência híbrida (soma das potências solar e eólica), representada pela linha pontilhada verde, nas cidades de Campina Grande e de Patos, também demonstra idêntico comportamento ao verificado em João Pessoa, sendo a diferença apenas relativa ao quantitativo gerado.

Enquanto a capital paraibana tem potencial de geração híbrido, aferido pelo software de modelagem, com média superior aos 250W, com mínima em cerca de 180W em período compreendido no 2º bimestre anual e com máxima em cerca de 350W no 4º bimestre anual; as médias de Campina Grande e Patos, são nos seguintes importes: médias aproximadas de 210W e 200W; mínimas de cerca de 150W e 165W em período compreendido no 2º bimestre anual; máximas por volta de 240W e 242W no 4º bimestre anual.

Os números sugerem, quanto a cada uma das cidades analisadas, que a utilização de apenas uma matriz de geração de energia elétrica, quer seja a fotovoltaica ou a eólica, não seria capaz de fornecer pleno atendimento à demanda energética requerida, bem como que o sistema (teórico) híbrido eólico-solar, seria capaz de gerar energia elétrica, ao longo de todo o ano, de cada um dos anos analisados, com potência superior ao montante requerido pelo sistema de iluminação do laboratório do PRODEMA UFPB (144W).

4.1.3 Resultados dos dados obtidos nas cidades paraibanas de João Pessoa, Campina Grande e Patos

Os gráficos das médias anuais de 2008 à 2018 (Figuras 28, 29 e 30) ilustram a existência de uma relação inversa nos comportamentos de radiação solar e de velocidade do vento, ao longo de cada ano. Na medida em que a incidência de radiação solar é mais forte, verifica-se a redução da velocidade do vento, sendo a recíproca verdadeira.

Tal comportamento evidencia a relação de complementaridade existente entre a geração energética por meio dos modelos fotovoltaico e eólico, sugerindo que a energia gerada pelo teórico sistema híbrido seria suficiente a amparar o funcionamento, em condição estável, do sistema de iluminação do laboratório do PRODEMA, o que aponta para maior eficiência do sistema híbrido que utilize as matrizes eólica e fotovoltaica, em comparação com o uso de cada uma destas matrizes de geração, de forma isolada.

Os gráficos gerados pelo software de modelagem evidenciam, ainda, que apesar de o modelo fotovoltaico chegar próximo à geração da potência requerida pelo sistema de iluminação do PRODEMA, não seria possível atender a demanda de geração durante alguns meses, compreendidos entre maio e julho de cada um dos anos analisados.

As médias anuais ilustraram que, em idêntico período, o sistema eólico gerou ainda menos energia elétrica. No entanto, o quantitativo gerado mostrou-se fundamental ao sistema híbrido objeto de estudo, em razão de a potência eólica ser mais pujante justamente no período em que a potência solar é deficitária, evidenciando a poderosa relação de complementaridade existente entre as matrizes eólica e fotovoltaica, que confere, inclusive, maior confiabilidade ao sistema de geração.

O software de modelagem, criado a partir de modelo matemático de sensoriamento remoto aplicado ao estudo climatológico, que manipula dados das plataformas “Google Earth Engine” e base de dados “Terraclimate”, portanto, gerou dados, imagens e gráficos, de distintos pontos do estado da Paraíba, aptos a demonstrar a viabilidade do teórico sistema híbrido fotovoltaico eólico, bem como sua condição de atendimento integral à potência requerida pelo sistema de iluminação do Laboratório do PRODEMA UFPB.

Esse resultado sugere que o modelo teórico híbrido (fotovoltaico eólico), objeto de estudo, também pode funcionar em distintas localidades, desde que

devidamente dimensionados e considerando que as condições de radiação solar e de velocidade do vento evidenciem a geração de potência necessária ao pleno atendimento da potência requerida pelo sistema de iluminação do órgão público a ser beneficiado.

Merece destaque, ainda, o fato de que, conforme visto no item “2.4 Trabalhos científicos sobre utilização de SHGE eólico fotovoltaico”, artigos, dissertações e teses, já publicados, trataram sobre a bem sucedida utilização de sistema híbrido fotovoltaico eólico voltados para variadas aplicações, a exemplo de bombeamento de água, de fornecimento de energia elétrica em comunidades longínquas, dentre outros (DE ARRUDA, 2015). Também indicam as possibilidades de uso do sistema em localidades remotas, bem como o de dimensionamento para atender de micro à sistemas de maior porte (MOREIRA ARAÚJO et al., 2015).

As publicações, que fazem uso de variada plataforma de análise de dados, a exemplo de mapas de potencial de radiação solar e velocidade do vento, mapas de complementaridade energética, software de modelagem de dados, bem como sistemas físicos instalados e em funcionamento, reforçam a viabilidade do sistema híbrido ora sob estudo, a partir da constatação da forte complementaridade do sistema, advinda das matrizes eólica e solar.

4.2 Perspectivas ambientais

O presente projeto repercute de forma concreta na seara ambiental, eis que a energia elétrica renovável oriunda das fontes eólica e fotovoltaica que pode ser empregada em projetos de pequeno a grande porte de iluminação de órgãos públicos, gera inúmeros benefícios em relação ao atendimento das necessidades da vida moderna em sociedade, cada vez mais dependente da energia elétrica, com baixíssimo grau de danos gerados ao meio ambiente.

As fontes eólica e fotovoltaica de energia renovável podem ser consideradas inesgotáveis, por dependerem apenas da radiação solar e do vento como fontes primárias de funcionamento, assegurando a geração de energia elétrica sustentável em longo prazo, em sentido diverso do que ocorre

com os combustíveis fósseis, grandes fontes poluidoras e dependentes de matéria prima finita, como petróleo, carvão e gás, por exemplo.

A redução dos níveis de produção de gases do efeito estufa, contribuiria sensivelmente para redução da onda de aquecimento global. Conforme novo estudo da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 16), duplicando-se a cota de energias renováveis na matriz energética mundial, poderia ser evitado, até 2030, até 12 gigatoneladas em emissões de CO₂, quantitativo cinco vezes superior ao montante que os países se comprometeram por meio de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC).

A geração de energia renovável por fonte eólica e fotovoltaica, além de não gerar gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono, reduzindo a poluição decorrente do setor, oferece riscos operacionais potencialmente reduzidos ao comparar com a geração de energia nuclear, por exemplo.

Ela também preserva a biodiversidade, com amplitude que vai além do local em que esteja situada a usina de geração, o que não ocorre com a fonte hídrica, que alaga grandes áreas para construir a barragem de geração, afetando direta e mortalmente fauna e flora locais. Ainda pior são os desastres envolvendo usinas nucleares, que afetam a vida, em termos gerais, ao espalhar radiação em raio de centenas de quilômetros, a depender da gravidade do evento.

Ponto essencial dentre os benefícios decorrentes da geração de energia por matrizes renováveis é promover a racionalização ambiental (FADIGAS, 2011), por meio do cunho educacional da população que passa a entender que a utilização cada vez mais presente de energias renováveis, a um custo equiparável às demais matrizes, traz melhorias diversas e essenciais para a condição de vida da população e do meio ambiente, sem ressalvas.

4.3 Perspectivas sociais e econômicas

Em todo o globo, o uso das matrizes eólica e fotovoltaica de geração de energia renovável tem se mostrado de fundamental importância não apenas como fontes alternativas de geração de energia elétrica ecologicamente correta,

mas também na complementação do auxílio energético necessário ao crescimento econômico agregado de significativos avanços sociais.

A geração de energia eólica e fotovoltaica vem ganhando escala em vários formatos, desde os projetos de micro geração, até os mega parques em que o quantitativo gerado é colossal. Estas matrizes cumprem a função social de descentralizar a riqueza e pulverizar o desenvolvimento, levando a alta tecnologia empregada em seus equipamentos para o interior, fomentando capacitação, emprego e renda.

Segundo relatório da Agência Internacional de Energia (IEA, 2018), no ano de 2018, as fontes geradoras de energia elétrica mais utilizadas no mundo foram: 1) carvão (38%); 2) gás (23%); 3) hídrica (16%); 4) nuclear (10%); 5) vento/eólica (5%); 6) bioenergia e petróleo (3%); 7) solar/fotovoltaica (2%). Somadas as gerações termelétricas que utilizam carvão e gás, totaliza-se 61% da fonte de energia elétrica global. Trata-se de geração abissal por meio de fontes altamente poluidoras e que, via de regra, centralizam suas atividades em grandes usinas geradoras situadas em localidades que nem sempre repercutem benefícios significativos para a região.

Os benefícios oriundos da adoção das matrizes renováveis superam em 15 vezes seus custos (IRENA, 2016). Destas fontes de geração, as matrizes eólica e fotovoltaica são as que melhor apresentam condição de adaptação para micros, minis, médios e grandes projetos, em qualquer região apta do globo e, o mais importante, de forma descentralizada. A possibilidade de implantação de usinas de geração de energia eólica e fotovoltaica em quaisquer dimensões de tamanho e de forma pulverizada, proporciona a melhor distribuição geográfica de recursos financeiros, de capacitação, de geração de emprego e renda, além de melhorar a qualidade de vida da população, inclusive em relação à saúde pública, menos afetada pelos efeitos nocivos decorrentes dos gases do efeito estufa.

No cenário Brasil, os melhores ventos sopram o ano inteiro no interior e, especialmente, no Nordeste, região carente, que pode explorar esse novo horizonte de geração energética por meio do trabalho direto fornecendo mão de obra para as empresas geradoras, com o aluguel de suas propriedades para implantação das usinas, em razão da criação ou do fortalecimento do comércio nos arredores das áreas de trabalho, situação que fomenta círculo virtuoso

produtivo e de geração de empregos, que tende a melhorar a realidade local em termos de oportunidades profissionais e de qualidade de vida para a população (ONS, 2018).

Ressalta-se que as matrizes eólica e fotovoltaica permitem a instalação de torres de geração suspensas, em diversos níveis de altura, possibilitando o cultivo da terra, a utilização de mananciais e a criação de rebanho pelos proprietários que cederam suas terras para as usinas, sendo regra basilar negocial o acerto que busca otimizar o uso da área com foco no melhor aproveitamento compartilhado de seus recursos.

Outra vantagem é o aumento da diversidade na oferta de energia elétrica, o que reduz o valor do produto final, além de minimizar o risco de colapso energético, a exemplo do ocorrido em 2001, no episódio conhecido como “apagão”, em que indústria, comércio e agropecuária tiveram seus resultados severamente afetados pelo racionamento de energia, desencadeando número alarmante de desemprego, além dos diversos transtornos causados pelo de água e de energia elétrica.

São três os pilares do desenvolvimento sustentável: a equidade social, o desenvolvimento econômico e a proteção ao meio ambiente (ONU, 2010). Resta evidenciado, portanto, que a adoção em maior escala das matrizes de geração de energia elétrica por meio de fontes eólica e fotovoltaica está diretamente alinhada com os pilares do desenvolvimento sustentável.

A proposta de uso de fonte híbrida (eólica e fotovoltaica) com foco na otimização sustentável da iluminação de órgãos públicos, portanto, não apenas afigura-se viável em termos de “custo de elaboração x retorno financeiro x benefícios ambientais”, mas também conta com forte apelo social.

Projetos de médio/grande porte podem ser elaborados para atendimento de escolas, hospitais, universidades e demais centros públicos, inclusive nos situados em regiões remotas e em localidades não atendidas pelo rede elétrica. Já os projetos de porte reduzido podem levar luz a comunidades agrícolas, ribeirinhas, indígenas, que optem pelo isolamento, bem como a salas de aula, postos de saúde e centros de convívio de comunidades carentes e pequenos povoados do interior.

4.4 Perspectivas legislativas

Conforme delineado, não são muitas as políticas públicas voltadas para o fomento da geração de energia elétrica por meio das fontes renováveis eólica e fotovoltaica em cenário global, nacional e regional. No entanto, no Brasil, observa-se a crescente tendência governamental, em todas as esferas (federal, estadual e municipal), em regulamentar geração e uso da energia eólica e/ou fotovoltaica.

Cita-se, a título exemplificativo, a Resolução da ANEEL, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia elétrica; do IPTU Verde, projeto municipal já presente em diversas cidades, que confere descontos no imposto para construções novas ou reformadas que adotem soluções sustentáveis, inclusive quanto à geração de energia por fonte sustentável; o Telhado Verde, projeto da cidade do Recife, que obriga novos imóveis a colocar cobertura com vegetação, de preferência nativa e placa (s) fotovoltaica (s) nas cobertas das edificações, para auxiliar na ilha de calor, no paisagismo, além de produzir energia para a área comum, sem incentivo fiscal e/ou tributário; e o Programa Paranaense de Energias Renováveis “Iluminando o Futuro”, que prevê medidas de incentivo à produção e uso de energia renovável, em especial eólica e fotovoltaica, com prioridade para as regiões de menor desenvolvimento humano.

Por meio da presente pesquisa, vislumbrou-se que o teórico sistema híbrido fotovoltaico eólico possui embasamento científico quanto a sua viabilidade, por meio dos artigos científicos, das teses e das dissertações tratadas ao longo da fundamentação. Também verificou-se que o software de modelagem, que faz uso de sensoriamento climatológico, sugere forte relação de complementaridade entre as fontes eólica e fotovoltaica, o que confere, além do atingimento da potência requerida pelo sistema de iluminação do PRODEMA, a confiabilidade de que, ao longo de todo o ano, essa potência será gerada.

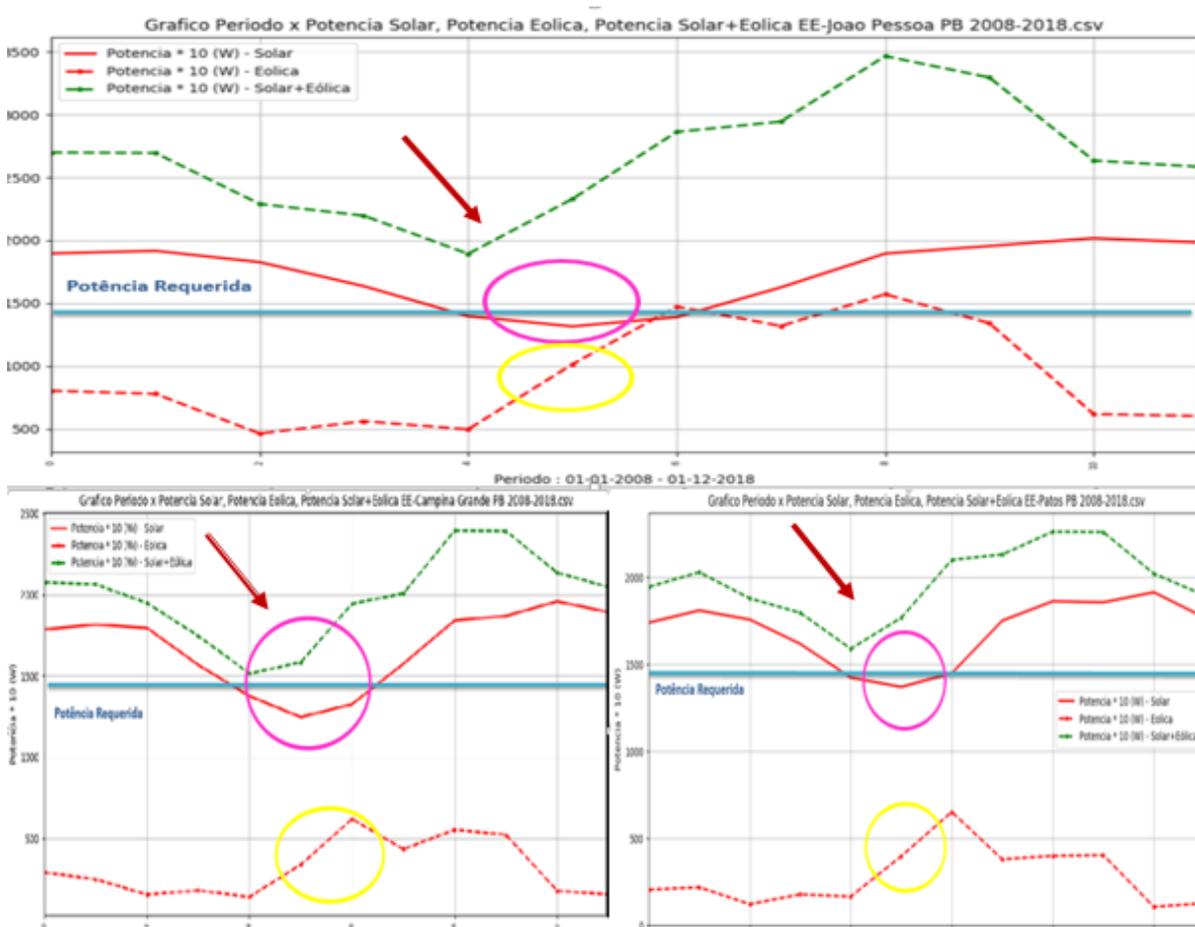
Tais dados são detectáveis nos gráficos das “médias anuais” de potência gerada das cidades de João Pessoa, Campina Grande e Patos, trazendo à tona

questionamento acerca da controvertida legislação paraibana, que não fornece estímulo, de forma paritária, ao uso das fontes fotovoltaica e eólica.

As Leis estaduais 10.718 e 10.720, ambas de 2016, apesar de contemplar, em sua redação, os modelos fotovoltaico e eólico, incentivando o uso destas matrizes, apenas concede benefício fiscal à primeira. As leis também afiguram-se genéricas ao não detalhar as medidas pelas quais ocorreria o “fomento e a utilização”, bem como qual seria o estímulo para “ações, pesquisas e estudos de implementação” dos modelos renováveis por ela agraciados.

A figura 32 ilustra as “médias anuais” das três cidades paraibanas analisadas, acrescidas de destaques realizados pelo autor.

Figura 32: Gráfico Período x Potência Solar, Potência Eólica, Potência **Solar + Eólica**, Médias Anuais, **João Pessoa + Campina Grande + Patos** de 2008 a 2018



Fonte: Software de modelagem (2020)

Os destaques circulares cor de rosa ilustram o período anual em que a geração fotovoltaica apresenta menor grau de eficiência, a ponto de se tornar

deficitária em relação à potência requerida pelo sistema de iluminação do PRODEMA (linha azul clara). Os destaques circulares amarelos, ilustram que, no mesmo período anual, durante os dez anos de aferição, a geração eólica tem seu pico de alta, fornecendo a energia necessária ao pleno atendimento da potência requerida pelo sistema de iluminação.

As setas marrons, indicam a linha pontilhada verde, que representa a potência, no exato ponto em que há o complemento do volume de energia elétrica gerada entre os modelos fotovoltaico e eólico encontra-se em seu momento mais sensível.

Essa poderosa relação de complementaridade entre os modelos eólico e fotovoltaico não pode ser negligenciada pela legislação, inclusive a paraibana. O estímulo fornecido ao modelo fotovoltaico é, além de louvável, necessário. Contudo, o resultado do estudo proposto com o teórico sistema híbrido, sugere que o estímulo, inclusive fiscal, à utilização dos dois modelos, além de fornecer a alternativa de utilização, isolada ou conjunta, confere visibilidade, facilitando a implementação prática de sistemas híbridos de geração de energia elétrica, sistemas mais eficientes.

Outro ponto de fragilidade legislativa verificado não apenas nas leis paraibanas, ora analisadas, é o fato de que nem sempre o estímulo legislativo vai ao encontro de estudos científicos relacionados à matéria regulamentada. No caso paraibano, verifica-se que as legislações, apenas oferecerem incentivo fiscal ao modelo fotovoltaico, negligenciando o incentivo financeiro ao modelo eólico. Ademais, sequer tratou-se da possibilidade de uso conjunto (hibridismo) das matrizes, o que sugere que as leis paraibanas não foram embasadas em estudos sociais e científicos, ou que os dados deles decorrentes não foram devidamente levados em consideração pelo legislador.

A convergência entre maior consciência ambiental da população e a maior atuação político-governamental quanto a adoção de fontes de geração de energia elétrica com matriz renovável, especialmente a eólica e a fotovoltaica, mais práticas, facilmente adaptáveis a distintos dimensionamentos e em maior espectro de localidades, faz com que horizonte novo e promissor desponte para o setor.

Havendo pressão popular, parlamentares federais tendem a colocar em pauta mais Projetos de Lei com foco na geração de energia elétrica a partir de

matrizes renováveis. Com maior normatização federal, parlamentares estaduais e municipais terão como implementar mais políticas públicas voltadas à utilização de painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas para uso residencial, comercial e/ou industrial, mediante estímulos fiscais, dentre outras estratégias.

4.5 Proposições ao Poder Legislativo

A presente dissertação terá seus dados condensados em artigo científico, sendo os resultados deste trabalho de pesquisa enviados ao Congresso Nacional, na tentativa de alertar os Deputados e Senadores, um a um, sobre o potencial de desenvolvimento de projetos vinculados à geração de energia elétrica decorrente de fonte híbrida (eólica e fotovoltaica), destinada à variadas aplicações (iluminação, irrigação, bombeamento de água, etc.), bem como acerca da importância do fomento a políticas públicas voltadas para a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

De igual modo, o artigo científico a ser elaborado com base na presente dissertação será enviado para os parlamentares da Assembleia Legislativa do Estado da Paraíba e à Câmara dos Vereadores do Município de João Pessoa-PB, na tentativa de que matéria estimule Deputados Estaduais e os Vereadores Municipais a aprovar projetos de estímulo ao setor de geração de energia renovável, especialmente a eólica e a fotovoltaica, fazendo com que as políticas públicas do estado se alinhem aos interesses sociais.

Especificamente quanto à Assembleia Legislativa do Estado da Paraíba, será sugerida a formação de grupo de estudo para análise dos pontos de fragilidade verificados nas Leis Estaduais 10.718 e 10.270/2016, conforme tratado no item 2.7.5, para que o incentivo ao uso e a concessão de benefícios fiscais decorrentes de lei sejam estendidos, de forma igualitária, ao modelo fotovoltaico e ao modelo eólico, bem como que seja fomentado o uso da energia híbrida solar-eólica que, conforme verificado no presente trabalho científico, faz com que as matrizes de geração atuem em relação de complementaridade, trazendo, combinação que torna o sistema mais eficiente e confiável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

A partir da criação de software de modelagem matemática, que apura dados obtidos a partir do software Google Earth Engine e da base de dados Terraclimate, gerando mapas de potência solar, eólica e híbrida, foi possível realizar teste teórico de implementação de sistema híbrido solar-eólico para iluminação do laboratório do PRODEMA - UFPB, que conta com 08 lâmpadas tubulares em LED, de 18W de consumo unitário.

O teste teórico demonstrou que o sistema híbrido gerou potência solar e eólica suficientes para garantir o pleno atendimento da potência requerida pela iluminação do laboratório (144W) durante todo o ano, no decênio avaliado (2008 à 2018), de forma estável, o que conduz ao entendimento de que a utilização de sistema híbrido mostrou-se mais eficiente para iluminação de órgãos públicos, em relação à utilização, de forma isolada, de cada matriz energética renovável sob análise.

A utilização de sistemas híbridos solares-eólicos demonstrou possuir eficácia tanto no campo teórico, por meio de análise de modelo conceitual e de mapa de complementaridade energética, quanto no campo prático, a exemplo dos modelos físicos já implementados e testados. Foram expostos resultados de diversos trabalhos científicos (artigos científicos, dissertações e teses) sobre a utilização de SHGE solar-eólico, para distintas aplicações (irrigação, iluminação, bombeamento de água) e em diversos dimensionamentos (item 2.4), o que demonstra a versatilidade e a confiabilidade do hibridismo solar-eólico.

Restou evidenciado que as Políticas Públicas tem potencial de disseminar a ideia de que é possível gerar energia elétrica, com grau elevado de tecnologia empregada, a preço competitivo, sem ou com mínimo de desgaste ambiental e com elevado poder de impulso econômico social, por meio da geração de emprego e renda, em setor que encontra-se em franca expansão.

A título ilustrativo, caso uma Política Pública, regulamentada por meio de Lei, determinasse a utilização de placas fotovoltaicas como fonte geradora de energia elétrica para os sistemas de iluminação de todos os Órgãos Públicos dos Poderes Executivo, Legislativo e Judiciário, em nível nacional, o impacto positivo seria considerável, além de multifatorial.

A fabricação de componentes geraria necessidade de qualificação de mão de obra, aumentando o quantitativo de escolas técnicas existentes, estimularia a indústria nacional a produzir e a desenvolver componentes vinculados a essa tecnologia, originando nova cadeia de produtos e serviços de alta tecnologia, com alto potencial de geração emprego e renda. Esse círculo virtuoso reduziria o gasto do setor público com energia elétrica, além de atenuar a pegada ecológica em razão a redução do uso de energia elétrica produzida por fontes não renováveis.

A baixa necessidade de manutenção do sistema híbrido (eólico-fotovoltaico), a longa durabilidade de suas peças, somada à redução do valor da fatura de energia elétrica, comprova sua viabilidade econômica. O sistema também demonstrou que pode ser dimensionado para outros locais, em que capacidade de geração eólica e fotovoltaica se adequem ao volume de vento e de radiação solar necessários ao seu funcionamento.

Tais dados conduzem ao entendimento de que a elaboração de Políticas Públicas voltadas para a instalação de sistema híbrido (eólico-fotovoltaico) de geração de energia elétrica para iluminação de escolas, universidades, hospitais, centros de convivências, em áreas carentes, regiões remotas e/ou com menor presença do Estado, afigura-se amplamente benéfica ao Ente público.

Também ensejaria considerável economia com a redução dos valores da fatura mensal de energia elétrica e ainda contaria com uma maior arrecadação de impostos, em razão da venda de produtos relacionados ao sistema e da prestação de serviços a ele referentes. De igual modo, fomentaria o auxílio ao meio ambiente, por meio da redução da pegada ecológica decorrente do uso de fontes não renováveis de geração de energia, também beneficiando a sociedade, de modo geral, em razão do avanço tecnológico, do aumento de ofertas de emprego, da melhoria na saúde pública, dentre outros aspectos.

Imprescindível tratar, ainda, acerca da eficácia das normas públicas voltadas ao setor. A legislação paraibana que regulamenta programas de energias renováveis no estado, tratada no item 2.7.5, expõe realidade que pode não tratar-se de fato isolado no país. Duas legislações paraibanas fomentam a utilização de fontes de geração de energia solar e eólica (Leis 10.718 e 10.270/2016) e que apenas concede benefícios fiscais ao modelo fotovoltaico.

Ademais, os marcos legais sequer mencionam a possibilidade de uso conjunto das matrizes solar e eólica.

Os bem sucedidos experimentos teóricos e práticos envolvendo o hibridismo solar-eólico, como visto, inclusive nos resultados do presente trabalho científico, apontam para a importância de os legisladores elaborarem Políticas Públicas voltadas ao setor de geração de energia elétrica sustentável a partir de maior embasamento científico. No caso da legislação paraibana, havendo incentivo fiscal ao modelo solar, tal benefício também poderia ser estendido ao modelo eólico. Melhor seria, ainda, se a legislação estimulasse a utilização de sistemas híbridos solar-eólicos, diante de tantos benefícios já delineados.

Por fim, sugere-se que projetos acadêmicos voltados para o uso de fontes renováveis de geração de energia elétrica, especialmente a eólica e a fotovoltaica, sejam enviados para o Poder Legislativo. Tão importante quanto a produção acadêmico/científica é a difusão do conhecimento. Especialmente, quando trata-se de assunto de relevante interesse social, econômico, ambiental e tecnológico chega aos representantes da população com embasamento técnico que demonstra a viabilidade prática de sua implementação.

REFERÊNCIAS

ABEEOLICA. **Boletim de Dados – Abril 2016**. Associação Brasileira de Energia Eólica. São Paulo, Disponível em: [ABEEolica-Abril-2016-Publico.pdf](#). Acesso em: 20 abr. 2018.

ABSOLAR. Associação brasileira de energia solar fotovoltaica. **Nordeste bate novo recorde de geração de energia solar e eólica**. 2019. Disponível em: <http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/nordeste-bate-novo-recorde-de-geracao-de-energia-solar-e-eolica.html>. Acesso em: 05 dez. 2019

AGÊNCIA EFE. **ONU: Investimento em energia solar bate recorde em 2017**. 2018. Disponível em: <https://www.efe.com/efe/brasil/varios/onu-investimento-em-energia-solar-bate-recorde-2017/50000250-3574454>. Acesso em: 16 Mar. 2019.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Atlas de energia elétrica do Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília : ANEEL, 2018.

AZEVEDO, M.; CUNHA, A. **Fazer uma célula fotovoltaica**. Disponível em: Acesso em 02 Out. 2019.

BLUESOL. Blog energia solar. **Energia Solar no Brasil: Um panorama para [Você] entender tudo**. 2018. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>. Acesso em: 24 abr.2019.

BLUESOL. Blog energia solar. **Maior Usina Solar da América do Sul Inicia Operações em São Gonçalo – PI**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/maior-usina-solar-do-brasil-pi/>. Acesso em: 25 mar. 2020.

BNB. Banco do Nordeste. **Banco do Nordeste inicia financiamento de energia solar para uso residencial**. 2018. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/noticias/-/asset_publisher/x8xtPijhdmFZ/content/banco-do-nordeste-inicia-financiamento-de-energia-solar-para-uso-residencial/50120?inheritRedirect=true. Acesso em: 11 jan. 2019.

BOYLESTAD, R. L. **Introdução à Análise de Circuitos**. 10ª Ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988, artigo 21, XII, b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, DF, 2001, 44 p.

BRASIL. Senado federal. **LEI Nº 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002**. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE),

dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10438.htm. Acesso em: 15 fev. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Pinho, J. T., et al. **Sistemas Híbridos**. Brasília, DF, 2008a, 396p.

BRASIL. Senado Federal. Lei nº 12.187, de 29 dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília, DF: 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm. Acesso em: 25 abr. 2019.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF, 2012a, 12 p.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, DF, 2015a, 25 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília: MME/EPE, 2017b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Brasília: MME/EPE, 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes/matriz-energetica-nacional-2030>. Acesso em: 14 abr. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Relatório sobre eficiência energética em órgãos públicos federais**. Disponível: https://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/arquivos/apresentacao_solange_nogueira.pdf. Acesso em 06 mar. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL de 24 de maio de 2017**. Brasília, DF, 2017c. Disponível: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9. Acesso em 29 abr. 2019.

BRASIL. Senado Federal. **Lei 13.755, de 10 de dezembro de 2018**. Estabelece requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no Brasil; institui o Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística; dispõe sobre o regime tributário de autopeças não produzidas; e altera as Leis n^o 9.440, de 14 de março de 1997, 12.546, de 14 de dezembro de 2011, 10.865, de 30 de abril de 2004, 9.826, de 23 de agosto de 1999, 10.637, de 30 de dezembro de 2002, 8.383, de 30 de dezembro de 1991, e 8.989, de 24 de fevereiro de 1995, e o Decreto-Lei n^o 288, de 28 de fevereiro de 1967. Brasília, DF: 2018a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Lei/L13755.htm. Acesso em: 15 abr. 2019.

BRASIL. Senado federal. **Medida provisória n^o 843 de 2018**. Estabelece requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no Brasil, institui o Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística e dispõe sobre o regime tributário de autopeças não produzidas. Brasília, DF: 2018b. Disponível em: <https://www.congressonacional.leg.br/materias/medidas-provisorias/-/mpv/133866>. Acesso em: 03 de fev. 2020.

BETZ, A. **The maximum of the theoretically possible exploitation of wind by means of a wind motor**. Wind Engeneering, v. 37, n. 4, p. 441-446, 2013.

CACHINA DE CARVALHO, Danilo Diógenes. **Proposta de um modelo para implantação de sistemas híbridos de geração distribuída eólico fotovoltaicos**. 2016. 209f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/23034/1/DaniloDiogenesCachinaDeCarvalho_DISSERT..pdf. Acesso em 05/03/2020.

CARVALHO FILHO, José dos Santos. **Manual de Direito Administrativo**. 23^a ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2010. p. 461.

CARVALHO, P. **Geração Eólica**. Imprensa Universitária. ISBN-85.7485-039-X, pg. 146, 2003.

CARVALHO, I. S. Respostas a crise de 2008, uma análise do brasil e da china. Revista pesquisa e Debate, São Paulo, v.31, n. 1(55)(2019). Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/rpe/issue/archive>. Acesso em: 17 mar. 2019.

CEIRI NEWS. **Global Energy Interconnection: a resposta da China para o aquecimento global**. 2018. Disponível em: <https://ceiri.news/global-energy-interconnection-a-resposta-da-china-para-o-aquecimento-global/>. Acesso em: 26 jun. 2019.

CERSA. Comitê de Energia Renovável do Semiárido. **Alunos da Fábrica-Escola participam de Curso Internacional de Energias Renováveis**. 2018. Disponível em: <http://cersa.org.br/energia/alunos-da-fabrica-escola-participam-de-curso-internacional-de-energias-renovaveis/>. Acesso em: 25 jan. 2019.

CHESF. **Usina Solar Flutuante de Sobradinho. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco**. Disponível em:

<https://www.chesf.gov.br/pdi/Documents/Usina%20Solar%20Flutuante.pdf>.

Acesso em: 25 mar. 2020.

CRESESB. **Energia Solar Princípios e Aplicações**. 2006. 28 p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf. Acesso em: 21 abr. 2019.

CRUZ SIQUEIRA, Jair Antônio. **Desempenho de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico de pequeno porte para energização rural**. 2005. 190f. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Universidade Estadual Paulista, 2005. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/101808/siqueira_jac_dr_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 06/03/2020.

DE ARRUDA, Marcelo Ferreira. **Desempenho técnico-financeiro de sistema híbrido eólico-solar aplicado ao bombeamento de água**. 2015. 156f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) - Universidade Federal do Ceará, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/13181>. Acesso em 05/03/2020.

DE LIMA, Juaceli Araújo. **Análise da viabilidade da geração híbrida de energia solar e eólica no nordeste brasileiro**. 2016. 139f. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Universidade Federal de Campina Grande-PB, 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/992/1/JUACELI%20ARA%20%20DE%20LIMA%20-%20TESE%20%28PPGRN%29%202016.pdf>. Acesso em 06/03/2020.

DI SOUZA, R. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica: Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares**. Org: BlueSol Energia Solar, Ribeirão Preto, São Paulo. 2016.

EPE. Nota Técnica. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em 15 mar. 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica de 2017**. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2017> - Acesso em 22 de Maio de 2018

EUR-LEX. **Para uma energia segura, a preços acessíveis e sustentável: pacote União da energia**. 2015. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=legisum:1801_7. Acesso em: 17 março 2019.

FREIRE, W. Agência Canal Energia. **Geração hidrelétrica no São Francisco reduziu 71% nos últimos cinco anos**. 2018. Disponível em: <http://www2.ctee.com.br/energyexpoforum/2017/zpublisher/materia/?url=gerac-o->

[hidreletrica-no-s-o-francisco-reduziu-71-nos-ultimos-cinco-anos-20180309](#).

Acesso em: 21 abr. 2019.

FADIGAS, E.A.F.A. Energia eólica - Série sustentabilidade. Rio Grande do Sul: Editora Antus, 2011.

FBDS. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. **Estudo sobre Energias Renováveis**. 2018. Disponível em: http://www.fbds.org.br/todasasmaterias.php3?id_rubrique=5. Acesso em: 27 ago. 2019.

GOLDEMBERG, J./ VILLANUEVA, L. P. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 2003, p. 44.

GUSSOW, M. Eletricidade Básica. 2ª Ed. Coleção Schaum. São Paulo: Pearson Makron Books, 1999.

GWEC. **“Global Wind Statistics 2017”**, GWEC, 14/02/2018 - Disponível em: http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL.pdf
HINRICHS, R. et al. **Energia e meio ambiente**. 5 ed. São Paulo. Cengage Learning, 2014.

INPE. Centro de Previsão de tempo e estudos climáticos – CPTEC. **Outono termina com chuvas abaixo da média na maior parte do Brasil**. 2018. Disponível em: <http://infoclima.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 09 jan. 2019.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report of Climate Change, 2012.

IRENA. **Custos de Energia Renovável em Queda Abrem Porta a uma Maior Ambição Climática**. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Press-Release/2019/May/Costs-2018-Press-Release-Portuguese.pdf?la=en&hash=FF4A21247073A680DB51B881994736CC306E3647>. Acesso em 06/02/2020.

IEA. **Relatório Agência Internacional de Energia**. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil>. Acesso em 06/02/2020.

JEAN, Wesly. **Estudo de um sistema fotovoltaico eólico para uma comunidade isolada do Haiti**. 2017. 114f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) - Universidade de Brasília, 2017. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/23497/1/2017_WeslyJean.pdf. Acesso em 05.03/2020.

LEONI, P.; CARVALHO, C.; ABREU, L.; BARBOSA, D. **Projeto híbrido eólicasolar: Uma alternativa para aumentar a competitividade e facilitar a penetração de projetos fotovoltaicos de maior porte no país**. Revista O Setor Elétrico, São Paulo, a.12, ed. 134, p. 60-66, mar. 2017.

MATO GROSSO. **DECRETO Nº 1.187, DE 27 DE FEVEREIRO DE 2008.** Regulamenta a Lei nº 8.794, de 07 de janeiro de 2008, que institui a Política Estadual de Apoio à Produção e à Utilização do Biodiesel, de óleos vegetais e de gordura animal. CUIABÁ, MT: 2008. Disponível em: <http://app1.sefaz.mt.gov.br/Sistema/legislacao/legislacaotribut.nsf/07fa81bed2760c6b84256710004d3940/c574e78d4a04d76d042573fd0044b4bd?OpenDocument>. Acesso em: 14 abr. 2019.

MINAS GERAIS. Lei 22.549/2017. Institui o Plano de Regularização de Créditos Tributários, altera as Leis nº 6.763, de 26 de dezembro de 1975, nº 14.699, de 6 de agosto de 2003, nº 14.937, de 23 de dezembro de 2003, nº 14.941, de 29 de dezembro de 2003, nº 15.273, de 29 de julho de 2004, nº 19.971, de 27 de dezembro de 2011, nº 21.016, de 20 de dezembro de 2013 e nº 21.735, de 3 de agosto de 2015, e dá outras providências. **Diário Oficial de Minas Gerais**, Minas Gerais, MG, 30 DE JUNHO DE 2017. Disponível em: http://www.fazenda.mg.gov.br/empresas/legislacao_tributaria/leis/2017/l22549_2017.htm. Acesso em: 25 maio 2019.

MOREIRA, Orlando. **Estudo da instalação de um sistema híbrido de geração de energia (eólica-fotovoltaica) para o assentamento Eudorado II.** 2015. 19f. Artigo Científico - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2015. Disponível em: <http://eventos.ufgd.edu.br/enepex/anais/arquivos/518.pdf>. Acesso em 05/03/2020.

NEVES, E. G. C. **Eletrotécnica Geral.** 2ª edição. Editora e Gráfica Universitária – UFPEI, 2004.

OLIVEIRA BARBOSA, Claudomiro Fábio, “et al”. **Situação da geração elétrica através de sistemas híbridos no estado do Pará e perspectivas frente à universalização da energia elétrica.** 2004. 190f. Artigo Científico - Universidade Federal do Pará, 2004. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000200052&lng=en&nrm=iso. Acesso em 06/03/2020.

OLIVEIRA SANTOS, Marcos de. **Uso de fontes sustentáveis como alternativa para sistemas de bombeamento de água.** 2017. 125f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, 2017.

OLIVEIRA SANTOS, “et al”. Estudo da produção energética de um sistema de energia híbrida eólico fotovoltaico utilizando modelos de previsão de potência a partir de dados de imageamento geoespacial da Earth Engine Plataforma. João Pessoa, 18 páginas, 2019.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Geração eólica bate recordes no nordeste.** 2018. Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/2018-geracaoeolicane.aspx>. Acesso em: 20 abr. 2019.

PARAÍBA. Diário Oficial do Estado. **Lei Nº 10.718 DE 22/06/2016.** Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de sistemas de captação de energia solar na construção de novos prédios, centros comerciais e condomínios residenciais,

neste Estado. João Pessoa, PB: 2016a. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=325187>. Acesso em: 14 abr. 2019.

PARAÍBA. Diário Oficial do Estado. **Lei Nº 10720 DE 22/06/2016**. Derrubada de Veto. - Institui a Política Estadual de Incentivo à Geração e Aproveitamento da Energia Solar e Eólica no Estado da Paraíba e dá outras providências. João Pessoa, PB: 2016b. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=328750>. Acesso em: 14 abr.2019.

PARANÁ. Diário Oficial do Estado. **Decreto Nº 11.671 DE 15/07/2014**. Dispõe sobre o Programa Paranaense de Energias Renováveis - Iluminando o Futuro e prevê medidas de incentivo à produção e uso de energia renovável. Curitiba, PR: 2014. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=272690>. Acesso em: 14 abr. 2019.

PERNAMBUCO. **Decreto nº 39.437, de 29 de maio de 2013**. Regulamenta, no âmbito da administração direta e indireta do Estado de Pernambuco, o Sistema de Registro de Preços, previsto no artigo 15 da Lei Federal nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Recife, PE: 2013. Disponível em: http://www.sad.pe.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=5e4120a2-12d7-4771-825a-84287b98a4fd&groupId=11927. Acesso em: 14 abr. 2019.

PIANEZOLLA, Gilberto. **Mapas de complementaridade dos potenciais solar e eólico no estado do Rio Grande do Sul**. 2006. 96f. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7608/000549565.pdf?sequence=1&isAllowed=>. Acesso em 06/03/2020.

PORTAL SOLAR. **Energia Fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>. Acesso em: 17 abril 2019.

PORTAL SOLAR. **Energia solar vai impulsionar aumento do mercado de carros elétricos. 2019**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-vai-impulsionar-aumento-do-mercado-de-carros-eletricos.html>. Acesso em: 05 fev. 2020.

PORTILHO, FÁTIMA. **Limites e possibilidades do consumo sustentável. Educação, ambiente e sociedade: ideias e práticas em debate**. Serra: Companhia Siderúrgica de Tubarão, 2004.

RECIFE. **LEI 18.112 de 2015**. Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações através da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências. Recife, PE: 2015. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>. Acesso em: 14 abr.2019.

REIS, L. B. D. **Geração de Energia Elétrica**. Barueri-SP: Ed. Manole, 2003.

RIO GRANDE DO SUL. LEI Nº 14.864, DE 11 DE MAIO DE 2016. Institui a Política Estadual do Biogás e do Biometano, o Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biogás e de Biometano - RS-GÁS – e dá outras providências. Porto Alegre, RGS: 2016. Disponível em: <http://www.legislacao.sefaz.rs.gov.br/Site/Document.aspx?inpKey=249414&inpCodDispositivo=&inpDsKeywords=14864>

SANTA CATARINA. DECRETO Nº 233, DE 24 DE JUNHO DE 2015. **DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO**. Institui o Programa Catarinense de Energias Limpas (Programa SC+ENERGIA) e estabelece outras providências. Florianópolis, SC: 2015. Disponível em: http://legislacao.sef.sc.gov.br/html/decretos/2015/dec_15_0233.htm. Acesso em: 09 fev. 2020.

SANTOS, L. T. **Avanços da Energia Eólica no Brasil: Uma análise das políticas públicas e seus resultados**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 98p, 2017.

SILVA, G.T.F; WEISS, M.A; **“Energias Renováveis E Potenciais Efeitos Para O Desenvolvimento Regional No Brasil.”** Programa de Pós Graduação em Economia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

TELLO ORTIZ, Elvis Richard. **Sistemas fotovoltaicos e eólicos: metodologia para análise da complementaridade espacial-temporal com aplicação no dimensionamento e análise de risco financeiro**. 2014. 178f. Dissertação (Doutor em Ciências) - Universidade de São Paulo, 2014. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-29122014-175607/publico/Tese_ElvisTelloOrtiz.pdf. Acesso em 05/03/2020.

UFPB. Pró-reitoria de Graduação. **Resolução CONSEPE Nº 16/2015**. Disponível em: http://www.prg.ufpb.br/prg/codesc/documentos/legislacao/rsep16_2015.pdf/view. Acesso em: 14 abr.2019.

UFPB. **UFPB investe R\$ 2 milhões em laboratório de energias alternativas e renováveis**. 2019. Disponível em: <https://www.ufpb.br/ufpb/contents/noticias/ufpb-investe-r-2-milhoes-em-laboratorio-de-energias-alternativas-e-renovaveis>. Acesso em: 06 fev. 2020.

VELA, G.A.L. **Dimensionamento e seleção do sistema de armazenamento para sistemas híbridos de geração de eletricidade biomassa/fotovoltaica**. Dissertação de Mestrado - Programa de pós-graduação em engenharia de energia - UNIFEI Instituto de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/1899>. Acesso em: 15 abr. 2019. Acesso em: 15 abr. 2019