



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E AGRIMENSURA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E AGRIMENSURA

GUILHERME LIRA

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE DE SOLUÇÃO ENERGÉTICA
PARA O PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO SÃO FRANCISCO**

Recife
2018

GUILHERME LIRA

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE DE SOLUÇÃO ENERGÉTICA
PARA O PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO SÃO FRANCISCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Orientador: Prof. Dra. Lígia Albuquerque de Alcantara Ferreira

Recife
2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

L768g

Lira, Guilherme.

Geoprocessamento aplicado à análise de solução energética para o projeto de integração do São Francisco / Guilherme Lira - 2018.

97 folhas, il., tabs., abr. e sigl.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lígia Albuquerque de Alcantara Ferreira.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Graduação em Engenharia Cartográfica e Agrimensura, 2018.

Inclui Referências.

1. Engenharia Cartográfica e Agrimensura. 2. Energia. 3. Solar. 4. Eólica. 5. Geoprocessamento. 6. PISF. I. Ferreira, Lígia Albuquerque de Alcantara (Orientadora). II. Título.

UFPE

GUILHERME LIRA

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE DE SOLUÇÃO ENERGÉTICA
PARA O PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO SÃO FRANCISCO**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso da Graduação em Engenharia Cartográfica e Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito básico para obtenção do grau de Engenheira Cartógrafa.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Lígia Albuquerque de Alcantara Ferreira
(Orientadora acadêmica)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dra. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

À minha mãe pelo amor e por me mostrar que as melhores escolhas são aquelas que nos fazem felizes.

À minha família, por sempre acreditarem em mim.

Ao meu amor Paloma Bernardino de Araújo, pelo carinho, paciência e companheirismo.

À Prof. Dra. Lígia Albuquerque de Alcantara Ferreira, por quem tenho uma grande admiração e respeito e que, com muita paciência e sabedoria, conduziu a orientação deste Trabalho de Conclusão de Curso.

A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste Trabalho.

A empresa Aeroespacial LTDA, por ceder os dados, as licenças dos softwares e os computadores para que fosse possível a realização deste trabalho de conclusão de curso.

A Camila Teixeira que me ajudou nos momentos finais.

Ao monstro do espagete voador e seu grande apêndice macarrônico.

Ao Google Acadêmico e outros sites que disponibilizam artigos legais gratuitamente.

A todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco do seu tempo para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso apresenta de forma sistemática a aplicação das ciências cartográficas e geotecnologias no desenvolvimento e implantação de sistemas de aproveitamento de energia solar e eólica para suprir a demanda energética do Projeto de integração do São Francisco (PISF). A metodologia estabelecida abrange a prospecção solar e eólica no intuito de instalar o máximo potencial energético para o PISF. No contexto da energia solar, a área de estudo tem com objetos 3 cenários distintos, foram eles o potencial instalável sobre os canais, no entorno dos canais e sobre os reservatórios, onde foram analisados critérios indispensáveis para melhor aproveitamento das áreas, seguindo todas as legislações vigentes e analisando o ponto de conexão para escoamento da produção gerada. No contexto da energia eólica, a região de estudo teve como critério a existência de altas velocidades de ventos, prosseguindo com a análise geoespacial onde foram analisadas as áreas de exclusão e análise dos modelos meteorológicos de mesoescala bem como rugosidade e topografia das áreas de interesse, geração de mapas eólicos, cálculo da Produção Anual de Energia (PAE) e indicação de layout para o posicionamento dos aerogeradores, neste cenário foram analisadas duas áreas, a 100 metros canais e 5 quilômetros entorno dos canais. A partir das análises realizadas, foi possível gerar um mapeamento das exclusões e limitações, como também a indicação de áreas para implantação de Usinas Fotovoltaicas (UFV) nos 3 cenários já citados e indicação de layouts para implantação de aerogeradores também em 3 áreas. Por fim, o geoprocessamento mostrou-se uma poderosa ferramenta para os projetos solares e eólicos, além de ser bastante versátil, visto que possui interdisciplinaridade com a Meteorologia, Geografia, Biologia, Engenharia Elétrica, Civil, de Energia, Geologia e as demais geociências, tendo sua parcela de contribuição para a economia mundial, estudos e pesquisas de desenvolvimento social e urbano e a busca de alternativas para produção de energia de fontes não poluentes.

Palavras-Chave: Energia. Solar. Eólica. Geoprocessamento. PISF

ABSTRACT

This work presents a systematic application of mapping and geotechnology sciences in the development and implementation of solar and wind energy systems to supply the energy demand of the São Francisco Integration Project (PISF). The established methodology covers solar and wind prospecting in order to install the maximum energy potential for the PISF. In the context of solar energy, the study area has 3 different scenarios, which were the potential for installation on the channels, around the channels and on the reservoirs, where indispensable criteria were analyzed for better use of the areas, following all the laws and analyzing the point of connection for flow of the generated production. In the context of wind energy, the region of study had the criterion of the existence of high wind velocities, proceeding with the geospatial analysis where the areas of exclusion and analysis of the mesoscale meteorological models as well as roughness and topography of the areas of interest were analyzed, generation of wind maps, calculation of annual energy production (PAE) and indication of layout for the positioning of wind turbines, in this scenario were analyzed two areas, 100 meters channels and 5 kilometers around the channels. From the analyzes carried out, it was possible to generate a mapping of the exclusions and limitations, as well as the indication of areas for UFV implantation in the 3 scenarios already mentioned and indication of layouts for implantation of aerogenerators also in 3 areas. Finally, geoprocessing has proved to be a powerful tool for solar and wind projects, as well as being quite versatile, since it has interdisciplinarity with Meteorology, Geography, Biology, Electrical, Civil Engineering, Energy, Geology and other geosciences, having its share of contribution to the world economy, studies and researches of social and urban development and the search of alternatives for energy production from non-polluting sources.

Keywords: Energy. Solar. Wind. Geoprocessing. PISF

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Estrutura dos planos de informações no banco de dados de um SIG.....	18
Figura 2-	Configuração de um sistema fotovoltaico isolado.....	19
Figura 3-	Componentes de um aerogerador no interior da nacela.....	20
Figura 4-	Ilustração do procedimento de cálculo da declividade.....	23
Figura 5-	Influência da mudança de rugosidade no perfil vertical do vento.....	24
Figura 6-	Localização dos Eixos do PISF.....	32
Figura 7-	Localização das estações de bombeamento Linhas de Transmissão e Subestações Eixo Norte.....	36
Figura 8-	Localização das estações de bombeamento Linhas de Transmissão e Subestações Eixo Leste.....	37
Figura 9-	Localização da área de estudo.....	38
Figura 10-	Áreas de Radiação em torno dos canais.....	40
Figura 11-	Diagrama para exemplificar o cálculo da distância entre painéis.....	43
Figura 12-	Ilustração do movimento dos seguidores/rastreadores fotovoltaicos durante o dia.....	44
Figura 13-	Ilustração da atuação do backtracking em uma planta solar.....	45
Figura 14-	Componentes básicos de uma UFFV.....	46
Figura 15-	Layout usado para a determinação do potencial eólico. 3D X 20 D (3 diâmetros de rotor na lateral e 20 diâmetros de rotor na direção do vento	52
Figura 16-	Eixo Leste - Trecho entre a EBV1 e o Reservatório Itaparica.....	55
Figura 17-	Eixo Leste - Trecho entre a EBV1 e EBV2.....	56
Figura 18-	Eixo Leste - Trecho entre a EBV2 e EBV3.....	57
Figura 19-	Eixo Leste - Trecho entre a EBV3 e EBV4.....	58
Figura 20-	Eixo Leste - Trecho entre a EBV4 e EBV5.....	59
Figura 21-	Eixo Leste - Trecho entre a EBV5 e EBV6.....	60
Figura 22-	Eixo Leste - Trecho entre a EBV6 e o Açude Poções.....	61
Figura 23-	Eixo Leste - Trecho entre a SF.....	62
Figura 24-	Eixo Norte - Trecho entre o Rio São Francisco e EBI1.....	63
Figura 25-	Eixo Norte - Trecho entre o EBI1 e EBI2.....	64
Figura 26-	Eixo Norte - Trecho entre o EBI2 e EBI3.....	65
Figura 27-	Eixo Norte - Trecho entre EBI3 e o Reservatório Jati.....	66
Figura 28-	Eixo Norte - Trecho entre o Reservatório Jati e o Reservatório Atalho.....	67
Figura 29-	Eixo Norte - Trecho entre o Reservatório Atalho e o Rio Piranha-Açu.....	68
Figura 30-	Ilustração do traçado de área útil no entorno dos canais.....	70
Figura 31-	Localização da Área 01, no Eixo Norte. Única área próxima aos canais do PISF com potencial eólico – Eixo Norte.....	80
Figura 32-	Mapa detalhado do escoamento do vento a 120 metros de altura e layout para a Área 01 – Próxima aos canais do PISF.....	82
Figura 33-	Áreas com potencial eólico no Eixo Norte com até 5 km de raio de distância dos canais.....	83
Figura 34-	Mapa detalhado do escoamento do vento a 120 metros de altura e layout para a Área 01 Expandida – 5 km dos canais do PISF – Eixo Norte.....	84
Figura 35-	Localização da Área 02 no Eixo Norte. Área a 5 km do PISF com potencial eólico – Eixo Norte.....	85

Figura 36-	Mapa detalhado do escoamento do vento a 120 metros de altura e layout para a Área 02 – 10 km da EBI-2 – Eixo Norte - PISF.....	86
Figura 37-	Áreas com potencial eólico no Eixo Leste com raio de até 5 km de distância dos canais.....	87
Figura 38-	Mapa detalhado do escoamento do vento a 120 metros de altura e layout para a Área 03 – 12 km da EBV-4 – Eixo Leste - PISF.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Características dos Aquedutos.....	29
Tabela 2-	Características dos Túneis.....	30
Tabela 3-	Demandas de Carga no PISF – Etapa 1 e Etapa 2.....	32
Tabela 4-	Reservatórios do PISF utilizados na análise.....	42
Tabela 5-	Classes e alturas de rugosidade adotadas.....	48
Tabela 6-	Área disponível sobre os canais para instalação de painéis fotovoltaicos – Eixo Leste.....	54
Tabela 7-	Área disponível sobre os canais para instalação de painéis fotovoltaicos – Eixo Norte.....	55
Tabela 8-	Resumo do escoamento da geração fotovoltaica para a alternativa sobre os canais.....	69
Tabela 9-	Área propícia para UFVs no entorno dos canais do PSIF – Eixo Leste...	71
Tabela 10-	Área propícia para UFVs no entorno dos canais do PSIF – Eixo Norte...	71
Tabela 11-	Resumo dos escoamentos da alternativa entorno dos canais utilizando seguidores.....	77
Tabela 12-	Resumo dos escoamentos da alternativa sobre os reservatórios.....	79
Tabela 13-	Potencial Máximo Instalável de Eólica na Área 01 – Próximo aos Canais.....	81
Tabela 14-	Potencial Máximo Instalável de Eólica na Área 01 Expandida – 5 km do Canal – Eixo Norte.....	83
Tabela 15-	Potencial Máximo Instalável de Eólica na Área 02 – Eixo Norte.....	85
Tabela 16-	Potencial Máximo Instalável de Eólica na Área 03 – Eixo Leste.....	87
Tabela 17-	Máximo Potencial Eólico Escoável.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ADCT	Ato das Disposições Constitucionais Transitórias
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Área de Preservação Permanente
CAC	Cinturão das Águas do Ceará
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EB	Estação de Bombeamento
EOL	Central Geradora Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FFV	Sistemas Flutuantes Fotovoltaicos
GHI	Radiação Global Horizontal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LT	Linha de Transmissão
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
MNT	Modelos Numéricos do Terreno
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAE	Produção Anual de Energia
PE3D	Pernambuco Tridimensional
PISF	Projeto de Integração do São Francisco
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGEL	Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídrico
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission,
exUC	Unidades de Conservação
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica
USGS	United States Geological Survey
WRF	Weather Research and Forecasting Model

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
2	EMBASAMENTO TEÓRICO.....	17
2.1	GEOPROCESSAMENTO.....	17
2.2	ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	18
2.2.1	Solar.....	18
2.2.2	Eólica.....	20
2.2.3	Condicionantes.....	21
2.2.3.1	Condicionantes Climatológicos.....	21
2.2.3.1.1	<i>Velocidade do Vento.....</i>	<i>21</i>
2.2.3.1.2	<i>Radiação.....</i>	<i>21</i>
2.2.3.1.3	<i>Precipitação.....</i>	<i>22</i>
2.2.3.1.4	<i>Temperatura do Ar.....</i>	<i>22</i>
2.2.3.1	Condicionantes Físicos.....	23
2.2.3.1.1	<i>Topografia.....</i>	<i>23</i>
2.2.3.1.2	<i>Declividade.....</i>	<i>23</i>
2.2.3.1.1	<i>Rugosidade.....</i>	<i>24</i>
2.2.3.1.2	<i>Hidrografia.....</i>	<i>24</i>
2.2.3.2	Condicionantes Espaciais.....	25
2.2.3.2.1	<i>Assentamentos.....</i>	<i>25</i>
2.2.3.2.2	<i>Comunidades Quilombolas.....</i>	<i>25</i>
2.2.3.2.3	<i>Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação.....</i>	<i>26</i>
2.2.3.2.4	<i>Sítios Arqueológicos.....</i>	<i>28</i>
2.2.3.2.5	<i>Aquedutos.....</i>	<i>28</i>
2.2.3.2.6	<i>Túneis.....</i>	<i>29</i>
2.2.3.2.7	<i>Rodovias e Ferrovias.....</i>	<i>30</i>
2.3	PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO SÃO FRANCISCO – PISF.....	30
2.3.1	Concepção do Projeto.....	30
2.3.2	Aspectos Gerais das Estruturas dos Canais.....	33
2.3.2.1	Eixo Norte (Trecho I e II).....	33
2.3.2.2	Eixo Leste (Trecho V).....	34
2.3.3	Premissas de Escoamento de Energia do PISF.....	35
2.3.3.1	Dados de Entrada.....	35
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	38
3.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	38
3.2	ANÁLISE SOLAR.....	39
3.2.1	Dados de radiação.....	39
3.2.2	Exclusões.....	40
3.2.2.1	Declividade.....	40
3.2.2.2	Rodovias e Ferrovias.....	40
3.2.3	Limitantes.....	41

3.2.3.1	Aquedutos.....	41
3.2.3.2	Túneis.....	41
3.2.3.3	Dimensão dos canais.....	41
3.2.3.4	Áreas Úteis dos Reservatórios.....	41
3.2.4	Elaboração de Layouts.....	42
3.2.4.1	Estrutura com Eixo Fixo.....	42
3.2.4.2	Estrutura com Seguidor/Rastreador (um eixo).....	43
3.2.4.3	Estruturas Flutuantes.....	45
3.3	ANÁLISE EÓLICA.....	46
3.3.1	Modelo Eólico de Mesoescala.....	46
3.3.2	Topografia.....	47
3.3.3	Rugosidade.....	47
3.3.4	Série Temporal.....	48
3.3.5	Exclusões.....	49
3.3.5.1	Declividade.....	49
3.3.5.2	Rodovias e Ferrovias.....	49
3.3.5.3	Assentamentos e Comunidades Quilombolas.....	49
3.3.5.4	Áreas de Preservação Permanente e Unidade de Cnservação.....	50
3.3.5.5	Sítios Arqueológicos.....	50
3.3.6	Mapa de vento.....	50
3.3.7	Elaboração de Layouts.....	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
4.1	ANÁLISE DO VENTO NA REGIÃO DO EMPREENDIMENTO.....	53
4.2	ANÁLISE DA RADIAÇÃO E TEMPERATURA DO AR.....	53
4.3	ANÁLISE DAS ÁREAS PROPÍCIAS.....	53
4.3.1	Solar.....	53
4.3.1.1	Sobre os Canais.....	53
4.3.1.1.1	<i>Trecho Reservatório Itaparica – EBV1 – Eixo Leste.....</i>	<i>55</i>
4.3.1.1.2	<i>Trecho EBV1 – EBV2 – Eixo Leste.....</i>	<i>56</i>
4.3.1.1.4	<i>Trecho EBV3 – EBV4 – Eixo Leste.....</i>	<i>58</i>
4.3.1.1.5	<i>Trecho EBV4 – EBV5 – Eixo Leste.....</i>	<i>58</i>
4.3.1.1.6	<i>Trecho EBV5 –EBV6 – Eixo Leste.....</i>	<i>59</i>
4.3.1.1.7	<i>Trecho EBV6 – Açude Poções – Eixo Leste.....</i>	<i>60</i>
4.3.1.1.8	<i>Trecho Rio São Francisco – EBI1 – Eixo Norte.....</i>	<i>62</i>
4.3.1.1.9	<i>Trecho EBI1 – EBI2 – Eixo Norte.....</i>	<i>63</i>
4.3.1.1.10	<i>Trecho EBI2 – EBI3 – Eixo Norte.....</i>	<i>64</i>
4.3.1.1.11	<i>Trecho EBI3 – Reservatório Jati – Eixo Norte.....</i>	<i>65</i>
4.3.1.1.12	<i>Trecho Reservatório Jati – Reservatório Atalho – Eixo Norte.....</i>	<i>66</i>
4.3.1.1.13	<i>Trecho Reservatório Atalho – Rio Piranha-Açu – Eixo Norte.....</i>	<i>67</i>
4.3.1.1.14	<i>Resumo dos resultados encontrados.....</i>	<i>69</i>
4.3.1.2	Entorno dos canais.....	70
4.3.1.2.1	<i>Trecho Reservatório Itaparica – EBV1 – Eixo Leste.....</i>	<i>71</i>
4.3.1.2.3	<i>Trecho EBV2 – EBV3 – Eixo Leste.....</i>	<i>72</i>
4.3.1.2.4	<i>Trecho EBV3 – EBV4 – Eixo Leste.....</i>	<i>72</i>

4.3.1.2.5	<i>Trecho EBV4 – EBV5 – Eixo Leste.....</i>	73
4.3.1.2.6	<i>Trecho EBV5 –EBV6 – Eixo Leste.....</i>	73
4.3.1.2.7	<i>Trecho EBV6 – Açude Poções – Eixo Leste.....</i>	74
4.3.1.2.8	<i>Trecho Rio São Francisco – EBI1 – Eixo Norte.....</i>	74
4.3.1.2.9	<i>Trecho EBI1 – EBI2 – Eixo Norte.....</i>	74
4.3.1.2.10	<i>Trecho EBI2 – EBI3 – Eixo Norte.....</i>	75
4.3.1.2.11	<i>Trecho EBI3 – Reservatório Jati – Eixo Norte.....</i>	75
4.3.1.2.13	<i>Trecho Reservatório Atalho – Rio Piranha-Açu – Eixo Norte.....</i>	76
4.3.1.2.14	<i>Resumo dos resultados encontrados.....</i>	77
4.3.1.3	<i>Sistemas Flutuantes Fotovoltaicos - sobre os reservatórios (FFV).....</i>	78
4.3.1.3.1	<i>Resumo dos resultados encontrados.....</i>	79
4.3.2	Eólica.....	80
4.3.2.1	<i>Eólica ao Longo do Canal.....</i>	80
4.3.2.2	<i>Eólica em um Raio de até 5km do Eixos do PISF.....</i>	82
4.3.2.2.2	<i>Layout e Potencial 5km do Canal - Área 02 (Eixo Norte).....</i>	85
4.3.2.3	<i>Eólica em Um Raio de 5 km do Canal – Área 03 (Eixo Leste).....</i>	86
5	CONCLUSÃO.....	90
	REFERÊNCIAS.....	92

1 INTRODUÇÃO

O Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), trata-se de um empreendimento de infra-estrutura hidráulica, estratégico pela sua inserção regional ampliada na Região Nordeste, composto por dois sistemas independentes de obras hidráulicas – canais, estações de bombeamento de água, pequenos reservatórios intermediários e usinas hidrelétricas de auto-suprimento do projeto, denominados de Eixo Norte e Eixo Leste, que captam água no rio São Francisco entre as barragens de Sobradinho e Itaparica, no Estado de Pernambuco.

O PISF justifica-se basicamente por uma questão de equidade social, na medida em que esta região semi-árida do país concentra elevada população e recursos hídricos limitados, obtidos com investimentos em açudagem e poços, mas de eficácia hídrica relativamente baixa, em vista das características climáticas e geológicas da área. O direito ao acesso à água doce para o abastecimento da população e para a segurança alimentar reflete uma necessidade humana básica, essencial à saúde e bem-estar, diz a Declaração Ministerial de Haia. “Distribuir as águas com parcimônia e justiça é tão importante para o Estado quanto promover a Justiça, quanto prover Educação, Saúde e Segurança” (Campos, 1999).

O empreendimento conta com 450 quilômetros de extensão nos seus dois eixos (Leste e Norte), com 9 estações de bombeamento (EB) elevatórias para levar água por toda a sua extensão, segundo informações de projeto, os maiores custos de operação do PISF estão relacionados ao custo/consumo da energia elétrica usada para bombear a água do Rio São Francisco para as bacias setentrionais do Nordeste.

Devido à expressiva demanda de energia elétrica do empreendimento, essencialmente para bombeamento, e o elevado custo da mesma, se reveste de extrema importância o estudo de viabilidade da utilização de fontes de energia renovável agregada ao PISF, considerando os potenciais de geração eólica e solar na área do projeto, e a contribuição das duas usinas hidrelétricas previstas desde o projeto original e com as obras civis e hidráulicas.

Segundo boletim da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica) a fonte eólica tem mostrado um crescimento consistente, passando de menos de 1 GW em 2011 para os 14 GW em 2018, completamente conectados à rede de transmissão. Em média, a energia gerada por estas eólicas equivale atualmente ao consumo residencial médio de cerca de 26 milhões de habitações (80 milhões de pessoas).

Além da energia eólica o aproveitamento da energia solar também é uma das alternativas energéticas para o Nordeste brasileiro. O crescimento do uso de energia solar pode ser atribuído, entre outros fatores, ao avanço da tecnologia que propicia um aproveitamento mais eficaz na

captação e conversão da radiação solar em energia elétrica e a queda vertiginosa do preço dos painéis fotovoltaicos no mundo. Ainda que estudos científicos e Atlas Solares anteriores apontem o grande potencial do Brasil, a energia solar ainda tem uma participação pequena na matriz energética. Segundo dados da Aneel (2016).

Os projetos de instalação de parques eólicos e solares incluem estudos aprofundados, tomando como base os interesses econômicos, e questões que envolvem a adequada escolha da área e os impactos ambientais associados (AZEVEDO et al., 2017; JUNQUEIRA e UTURBEY, 2017). Nesse aspecto se destaca as ciências cartográficas e seus desmembramentos, que têm apresentado potencial para auxiliar na tomada de decisões sobre os locais mais adequados e, conseqüentemente, identificar as áreas que fornecerão um maior aproveitamento do recurso energético em questão (FERNANDES, 2015; SANTOS e ARAÚJO, 2016; CELESTINO e JULIÃO, 2017). Para essa finalidade, os processos e metodologias envolvem técnicas de análise geoespacial, topografia do terreno, utilização de imagens de satélites, foto identificação, processamento em Sistema de Informação Geográfica (SIG), mapeamento de sistemas (rodoviários, ferroviários, hídricos, eólicos, solares, etc.).

A elaboração da avaliação do potencial energético em áreas em potencial para o desenvolvimento de projetos eólicos e solares foi elaborada através da metodologia usada no Atlas Solar e Eólico de Pernambuco, com procedimentos oriundos das ciências cartográficas e das geotecnologias, objetivando avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental – EVTEA, para a adoção de fontes renováveis (hídrica, solar e eólica), em separado ou agregadas, ao longo das estruturas e áreas disponíveis no PISF.

1.1 OBJETIVOS

Apresentam-se aqui os objetivos desta pesquisa, divididos em objetivo geral e objetivos específicos, abaixo descritos.

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver metodologia para analisar alternativas de fornecimento de energia solar e eólica para o Projeto de Integração do Rio São Francisco no Estado de Pernambuco a partir de técnicas de geoprocessamento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Mapear o potencial solar e eólico no entorno da área do Projeto de Integração do Rio São Francisco no Estado de Pernambuco;
- Identificar áreas propícias para implantação de parques solares e eólicos na área de estudo;
- Avaliar a viabilidade técnica e ambiental para a utilização de energias solar e eólica, em separado ou agregadas, ao longo dos canais e nas áreas propícias identificadas na área de estudo.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Para substanciar o desenvolvimento da pesquisa o presente capítulo apresenta os conceitos envolvidos no geoprocessamento, além disso caracteriza as fontes de energia renovável levadas em consideração e detalha o Projeto De Integração Do São Francisco – PISF.

2.1 GEOPROCESSAMENTO

O Geoprocessamento tem influenciado de maneira crescente as áreas de Cartografia, diagnósticos de recursos naturais, análises de transporte, comunicação, energia e planejamento urbano e regional (CÂMARA et. al., 2001). As ferramentas do geoprocessamento, que somam técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, compõem um sistema de informações geográficas (SIG).

Sánchez-Lozano (2013), conceituou o SIG como um sistema de hardware e software, baseado na manipulação de dados espacialmente referenciados, incluindo a captura, armazenamento, análise, modelagem e apresentação de dados. De acordo com Burrough e McDonell (1998) *apud* Silveira, Carneiro e Portugal (2008) a definição de SIG pode ser categorizada em três tipos, cada um considerando os usos e perspectivas desta tecnologia:

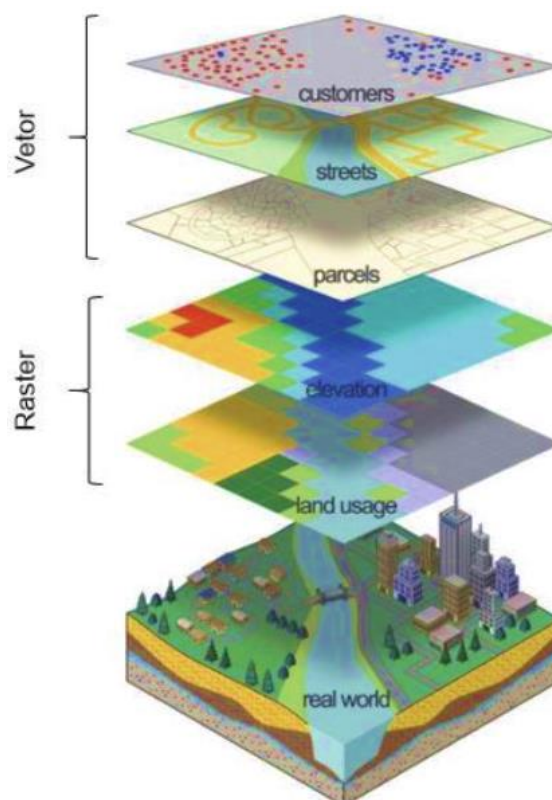
- Baseada em ferramentas: SIG é um poderoso conjunto de técnicas e procedimentos capazes de coletar armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais do mundo real (BURROUGH, 1986);
- Baseada em bancos de dados: SIG é um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais (SMITH *et al.*, 1987);
- Baseada em estruturas organizacionais: SIG é um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente em um ambiente de respostas a problemas (COWEN, 1988).

Os abundantes softwares de SIG executam o geoprocessamento de modo análogo, partindo da importação de dados para processamento e diagnóstico de determinadas variáveis, até a criação dos mapas ou dados tabulados. A estrutura do SIG é constituída, fundamentalmente, por recursos de interface com o usuário, entrada e integração de dados, pesquisa e análise espacial, visualização, plotagem, armazenamento e recuperação de dados e informações, estruturados sob forma de banco de dados (VICARI, 2012).

Segundo Schmidt (2016), as estruturas de dados espaciais para representar uma situação real compõem-se de dados digitais no formato raster (ou matricial) ou vetor (vetorial). A estrutura matricial é particionada em pixels, que representam a superfície analisada. A estrutura

vetorial é constituída por elementos geométricos, como pontos, linhas ou áreas. Essas informações originam mapas que podem ser gráficos ou não gráficos, tomando os valores da base de dados como camadas, denominadas planos de informação, e combinando-as (FOOTE e LYNCH, 2012), como apresentado na Figura 01. Essa sobreposição de informações torna o sistema uma poderosa ferramenta de análises espaciais simultâneas de vários aspectos da superfície.

Figura 1 – Estrutura dos planos de informações no banco de dados de um SIG



Fonte: Adaptado de Sánchez-Lozano, 2013

2.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS

2.2.1 Solar

Energia solar é aquela proveniente do Sol (energia térmica e luminosa). A radiação solar que atinge a superfície terrestre por meio de ondas eletromagnéticas (sendo por radiação difusa ou direta), pode ser aproveitada como fonte de energia térmica, para produção de potência mecânica e de eletricidade, por intermédio de tecnologias de concentração de radiação (ANEEL, 2008; KEMERICH et al., 2016). É considerada como uma forma energia limpa por não produzir ruídos e por não poluir o ambiente, além de ser um sistema duradouro (AMARAL, 2018).

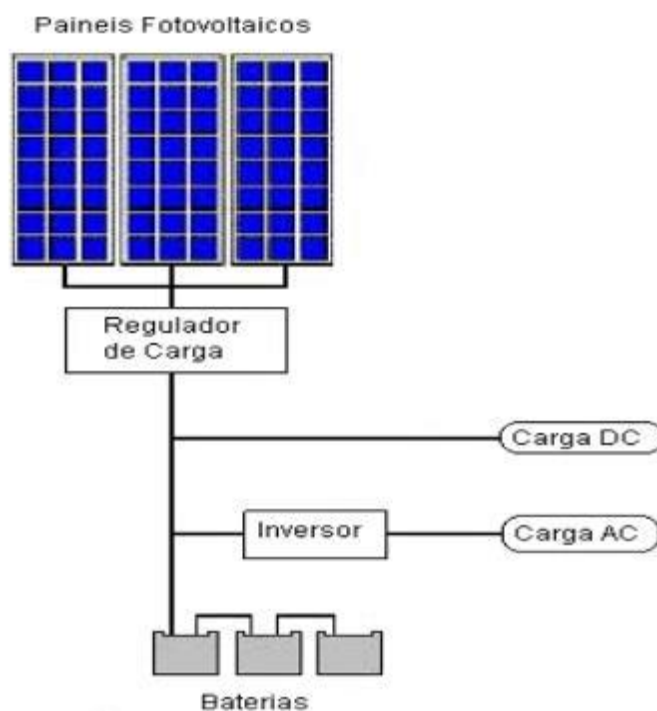
Como supracitado, dois processos são aplicados para realizar o aproveitamento energético da radiação solar: o térmico e fotovoltaico. No processo térmico, uma diferença de

potencial é produzida por dois metais em condições específicas, que aquecem substâncias numa larga variação de temperatura (KEMERICH et al., 2016). No processo fotovoltaico, são utilizados materiais semicondutores para obtenção da eletricidade. Dentre eles, o silício (Si) se destaca pela abundância na natureza, viabilidade econômica e difusão mundial (PINHO e GALDINO, 2014).

Segundo Pinho e Galdino (2014), o efeito fotocondutivo ocorre quando um material semicondutor é atingido pela radiação solar, a energia presente nos fótons dos raios solares é o bastante para excitar os elétrons da placa, promovendo o surgimento de lacunas e elétrons livres, e o aumento de temperatura da placa levando ao aumento da condutividade. A condução dos elétrons livres na placa se dá por um campo elétrico, este pode ser produzido com a utilização de um semicondutor com carga positiva de um lado e negativa do outro (AMARAL, 2018).

Portanto, a incidência de fótons fornece energia suficiente para desprender um elétron e promover a reorganização interna do material, resumindo-se na geração de uma corrente elétrica. Esse é o princípio utilizado nas células fotovoltaicas (PINHO e GALDINO, 2014; AMARAL, 2018). A Figura 02 expõe o mecanismo de forma isolada e simplificada.

Figura 2 – Configuração de um sistema fotovoltaico isolado



Fonte: Valente, 2011

Tal como apresentado na Figura 02, a energia é transferida para um regulador de carga, cuja função básica é não deixar que aconteçam prejuízos elétricos nas baterias. Posteriormente

a energia vai para o inversor, onde é transformada em energia elétrica (VALENTE, 2011; KEMERICH et al., 2016).

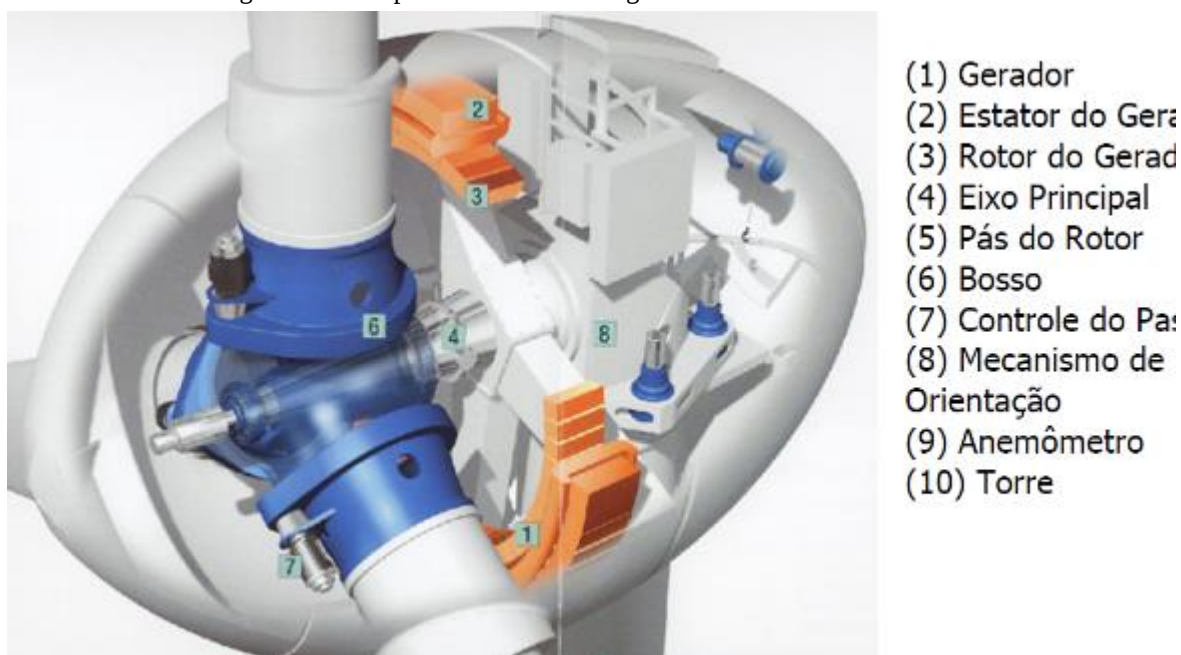
2.2.2 Eólica

Energia eólica é uma fonte de energia renovável que utiliza o ar em movimento. Nesse sistema, as correntes de vento são responsáveis por girar um conjunto de hélices acopladas a um gerador que transforma a energia cinética em eletricidade (DÍAZ et al., 2015). A produção de energia eólica pode ser considerada uma fonte energética de baixo impacto ambiental e como um sistema alternativo para suprir as demandas energéticas (CARRASCO-DÍAZ et al., 2015).

Segundo Carrasco-Díaz *et al.* (2015) e Trapp e Rodrigues (2016), Além das características intrínsecas da variabilidade espaçotemporal das componentes de velocidade dos ventos, fatores como o comprimento das hélices, a dimensão do gerador e o rendimento do sistema influenciam fortemente o potencial de eletricidade gerado em todo processo.

As pás da turbina (também chamadas de aerogeradores), que estão em contato direto com o vento, são acopladas por meio de flanges em um suporte de metal chamado de cubo. Ambos (as pás e o cubo) formam o denominado rotor eólico do aerogerador. O resultado da interação das pás da turbina com a corrente eólica que atravessa a área do rotor deve ser a maior possível, no intuito de obter uma maior potência e, conseqüentemente, maior aproveitamento energético (RODRIGUES et al., 2015). As componentes podem ser visualizadas na Figura 03.

Figura 3 – Componentes de um aerogerador no interior da nacele



Fonte: Enercon, 2011

Conforme Salino (2011), a torre sustenta e mantém os rotores na altura adequada; o nacele abriga o gerador, a caixa de engrenagens e o sistema de controle; o número de pás de

um aerogerador é função da capacidade de energia que elas conseguem capturar. Lima (2009) explica que a velocidade angular dos aerogeradores possui uma amplitude de 20 a 150 RPM e uma velocidade de trabalho dentro de 1200 e 1800 RPM, sendo necessário uma estrutura de engrenagens (multiplicador de velocidade) que fará a conexão e a produção da eletricidade. A energia gerada é enviada por cabos internos da torre, conectados a uma subestação.

2.2.3 Condicionantes

Neste capítulo, serão adotados os condicionantes indispensáveis para elaboração dos layouts de parques eólicos e fotovoltaicos. Os condicionantes foram classificados em: Condicionantes Climatológicos, Condicionantes Físicos e Condicionantes Espaciais.

2.2.3.1 Condicionantes Climatológicos

A climatologia local tem grande impacto nas energias renováveis, como os efeitos da temperatura e dissipação de temperatura dos módulos fotovoltaicos, as perdas por acumulação de poeira nos módulos em função da chuva e do vento na região.

2.2.3.1.1 Velocidade do Vento

O vento, dependendo da velocidade, pode atuar para melhor ventilar as placas e, ao contrário, para aumentar a acumulação de poeira sobre as mesmas.

As perdas de energia devido a acumulação de poeira/sujeira nos módulos fotovoltaicos podem ter um impacto significativo, principalmente em regiões com estiagens de vários meses nos períodos de altas temperatura do verão. A sujeira pode ser causada, pela poluição, pelo excremento de pássaros, pelo acúmulo de poeira e/ou pólen, pelo vento que carrega poeira de outras regiões (até 30 km) e pela ocorrência e frequência de chuvas. As perdas anuais médias de energia devido à sujeira estão tipicamente no intervalo de 1 a 6% por ano.

Se tratando do potencial eólico, a climatologia define a estrutura da coluna de ar na região dos aerogeradores, determinando a densidade do ar e o tipo de cisalhamento vertical do vento (capacidade de estabilizar após uma turbulência), pode determinar qual máquina e altura de rotor é mais adequada ao local para a densidade de potência do local.

2.2.3.1.2 Radiação

Para um melhor aproveitamento da energia solar é de fundamental importância conhecer a variabilidade da radiação solar incidente no local, que efetivamente atinge a superfície terrestre. A radiação na superfície varia especialmente em função da geografia da região, da altitude do local e das condições climáticas, estando, portanto, fortemente ligada à latitude e à longitude do ponto de interesse (DUBAYAH e RICH, 1995). Para quantificarmos de forma

mais apropriada o quanto da radiação solar emitida efetivamente atinge a superfície, pode-se dividir, de uma forma simplificada, a radiação que atinge a atmosfera em cinco componentes:

- A parcela da radiação que é refletida pela atmosfera;
- A parcela da radiação que sofre difusão em função da atmosfera;
- A parcela da radiação que é absorvida pela atmosfera;
- A parcela da radiação que é refletida de volta para o espaço pela superfície; e, por fim,
- A parcela da radiação que consegue ultrapassar a atmosfera e que é absorvida pela superfície da terra, correspondendo a aproximadamente metade da radiação incidente.

Para o cálculo de produção de energia em uma usina solar fotovoltaica, a principal componente que é utilizada nesta estimativa é a que consegue ultrapassar a atmosfera. Esta pode ser subdividida em duas componentes: a componente direta horizontal, que como o próprio nome sugere, incide diretamente sob a superfície, e a componente difusa, que é composta pela reflexão de radiação no solo (albedo) e a radiação refletida de volta ao solo pela atmosfera (DUBAYAH e RICH, 1995).

A radiação global horizontal (GHI), é o dado a ser considerado na prospecção para empreendimentos solares. A radiação global horizontal é resultante da soma da radiação direta horizontal com a radiação difusa. A radiação difusa é função das componentes do solo e da atmosfera (DUBAYAH e RICH, 1995).

2.2.3.1.3 Precipitação

Em se tratando da precipitação, não somente o total mensal de precipitação, ciclo anual, mas também a sua distribuição é fator significativo para a estimativa de produção de energia solar, pois, esta determina o potencial para acumulação de poeira na superfície dos módulos fotovoltaicos. A chuva, quando maior do que 10 mm, é um limpador natural da sujeira acumulada. Mais do que a quantidade de precipitação, o intervalo entre elas é o maior contribuinte para uma maior ou menor acumulação de poeira.

2.2.3.1.4 Temperatura do Ar

A temperatura do ar e do solo também pode interferir na produção, causando perdas por emprego da radiação para aumento do calor sensível. A eficiência de painéis fotovoltaicos, está relacionada à manutenção de características elétricas determinadas nas condições padrões de teste, ou seja, com temperatura na célula de 25°C, muito inferior à temperatura do Nordeste,

quando submetidas a temperaturas altas, próximo aos 40°C, os módulos fotovoltaicos podem ter uma redução de até 7% na potência de saída.

A temperatura é uma variável meteorológica de importância tanto para eólica (alterações na densidade do ar em função da temperatura) como para solar (eficiência dos módulos fotovoltaicos em função da temperatura do ar).

2.2.3.1 Condicionantes Físicos

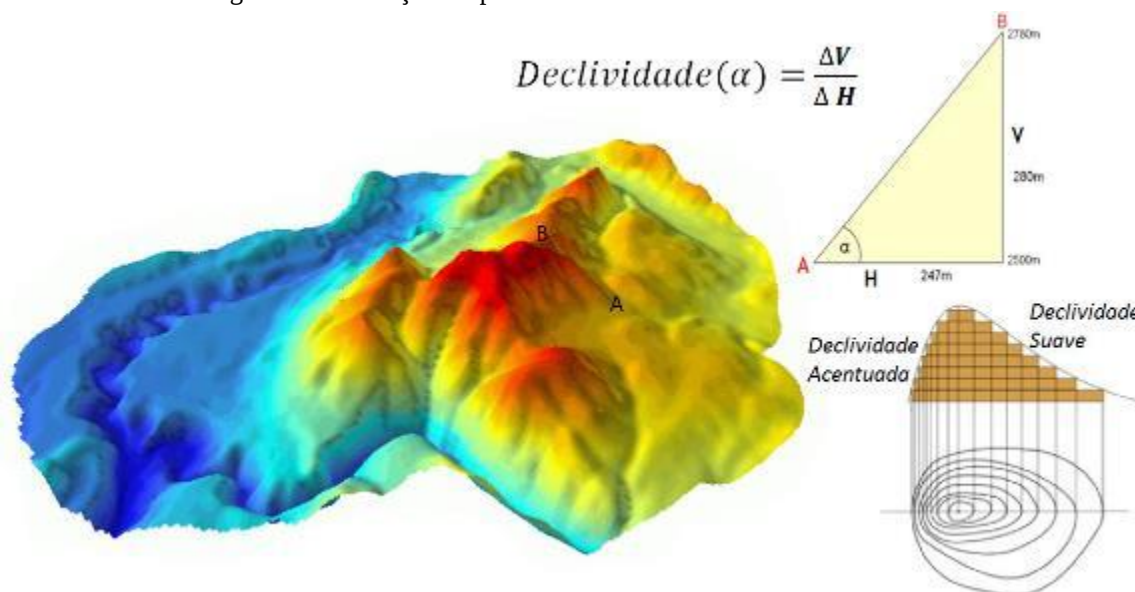
2.2.3.1.1 Topografia

Vale ratificar que a topografia é um fator de suma importância para a análise inicial de empreendimentos solares e eólicos. Em áreas com topografia heterogênea, a radiação incidente varia em função da altitude, da declividade e da orientação da superfície, bem como da posição da mesma em relação a superfícies vizinhas. No caso de eólica, a topografia exerce grande influência na velocidade e na distribuição de frequência de ocorrência dos ventos. Serras e montanhas, dependendo do seu tamanho, forma e orientação com respeito à direção do vento, implicam em uma série de efeitos em diferentes escalas, que vão desde o bloqueio, o redirecionamento do escoamento do vento, ou a aceleração do mesmo (ATLAS, 2016).

2.2.3.1.2 Declividade

A declividade é a inclinação da superfície do terreno com respeito à horizontal, ou melhor, é a relação entre a diferença de altura entre dois pontos e a distância horizontal entre esses pontos, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Ilustração do procedimento de cálculo da declividade.



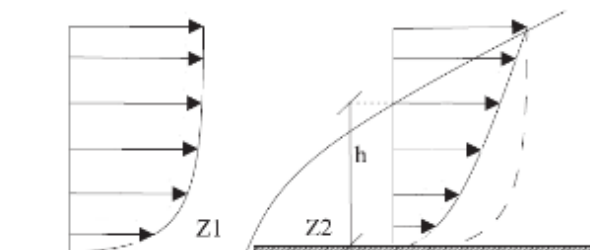
Fonte: Atlas Eólico e Solar de Pernambuco, 2016

A declividade é um item de grande importância para projetos eólicos e solares. No caso de eólica, lugares com acentuada declividade podem provocar a separação do escoamento, que ocorre quando a inclinação do terreno é maior do que 20° corrente acima (barlavento), e maior do que 17° , corrente abaixo (sotavento). Como o vento pode soprar de qualquer direção, usa-se em eólica 17° como um valor médio para a classificação de terrenos complexos. Além da potencial separação do escoamento, os terrenos complexos tornam a implantação tanto do projeto eólico como do projeto solar mais onerosa.

2.2.3.1.1 Rugosidade

A relação entre o escoamento do vento e a rugosidade da superfície terrestre é explicada pela teoria da camada limite sobre uma placa plana, que representa a variação de velocidade do escoamento com a vertical sendo a velocidade na superfície nula e aumentando com o aumento da distância à placa, até atingir a velocidade de escoamento não perturbado. Esta variação é caracterizada por perfil vertical de velocidades. (JERVELL, 2008; LIRA, CAVALCANTE e ALCANTARA, 2018), a variação do perfil vertical de velocidades do vento em analogia à mudança de rugosidade da superfície pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 - Influência da mudança de rugosidade no perfil vertical do vento.



Fonte – Jervell, 2008

A partir da Figura 5 pode-se verificar a influência no perfil vertical do escoamento em função da alteração da rugosidade $Z1$ para $Z2$. Na superfície $Z2$ O perfil da velocidade é mais aberto em relação ao perfil da superfície $Z1$, ou seja, há uma transferência da velocidade da parte inferior para a parte superior do perfil, causado pelo atrito superficial. A determinação da altura h torna-se de grande importância no posicionamento dos aerogeradores num determinado local, uma vez que, pode influenciar na produção de um aerogerador e nas questões de fadiga das pás do rotor devido a solicitações cíclicas às quais estão sujeitas, quando giram num campo de velocidades que varia na vertical (IRWIN e JOHN,1979).

2.2.3.1.2 Hidrografia

Em 1997 foi publicada a Lei Nº 9.433, denominada de Lei das Águas. A mesma instituiu a PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o SINGREH – Sistema Nacional de

Gerenciamento de Recursos Hídricos, tendo como fundamentos principais a definição da água como um bem público, o seu gerenciamento de forma a proporcionar usos múltiplos (abastecimento, agricultura, energia, indústria etc). A presença da hidrografia foi analisada para verificação do porte e posterior determinação da Área de Preservação Permanente (APP) equivalente.

2.2.3.2 Condicionantes Espaciais

2.2.3.2.1 Assentamentos

Furtado (2000), conceitua assentamentos como a instalação de novas propriedades agrícolas, por intermédio de políticas governamentais, visando uma distribuição de terras menos concentradora, cujos favorecidos são os trabalhadores rurais sem-terra e aqueles com pouca terra. Os assentamentos também podem ser definidos como novas unidades de produção que, no nível local ou regional, reordenam, em vários sentidos, o sistema de propriedade e uso das terras, estabelecem outros padrões sociais de produção agrícola e, por vezes, criam novas dinâmicas econômicas e sociais (BERGAMASCO; NORDER, 1996, MEDEIROS et al., 2002, MARTINS, 2003). Leite et al. (2004) completam explicando que o termo assentamento rural envolve diversas situações com características que diferem conforme o contexto histórico no qual se inserem as unidades de produção. Do mesmo modo, também são diversificados os beneficiários diretos dos assentamentos de reforma agrária.

Os assentamentos tornam-se uma exclusão pelo fato de os assentados não terem a propriedade da terra, o que impede os contratos de arrendamento para o uso, uma vez que os contratos precisam ser averbados na matrícula do imóvel.

2.2.3.2.2 Comunidades Quilombolas

Segundo Almeida (2000), as chamadas “terras de preto ou terras de santo”, apresentam uma territorialidade derivada da propriedade detida por ordens religiosas, da doação de terras para santos e do recebimento de terras em troca de serviços religiosos prestados a senhores de escravos por negros sacerdotes de cultos religiosos afro-brasileiros. A constituição de territórios étnicos no Brasil foi, num momento inicial, derivada da segregação social e permitiu a defesa da identidade cultural. Deste modo, o reconhecimento do domínio destes territórios vai além da consolidação de uma política fundiária, é um resgate da cultura afro-brasileira, originando uma cartografia social de matriz étnica e hereditária.

A nomeação oficial do seguimento social como quilombo, é dada com base nos artigos 68, 215 e 216 da Constituição Federal de 1988, que enfatizam os direitos de reminiscência aos

afrodescendentes e responsabiliza o Estado como defensor dos direitos fundiários dessas comunidades.

No artigo 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias (ADCT), lê-se: “Aos Remanescentes das Comunidades dos Quilombos que estejam ocupando suas terras é reconhecida à propriedade definitiva, devendo o Estado, emitir-lhes os respectivos títulos”. O artigo 215 da Constituição Federal de 1988 estabelece em seu § 1º que “o Estado protegerá as manifestações das culturas populares, indígenas e afro-brasileiras, e das de outros grupos participantes do processo civilizatório nacional”. Já o artigo 216 da Constituição Federal de 1988, dispõe em seu § 5º que “Ficam tombados todos os documentos e os sítios detentores de reminiscências históricas dos antigos quilombos”.

Os artigos 3º e 4º da Instrução Normativa nº 49 do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) conceituam que:

Art. 3º. Consideram-se remanescentes das comunidades dos quilombos os grupos étnico-raciais, segundo critérios de auto definição, com trajetória histórica própria, dotados de relações territoriais específicas, com presunção de ancestralidade negra relacionada com a resistência à opressão histórica sofrida.

Art. 4º. Consideram-se terras ocupadas por remanescentes das comunidades de quilombos toda a terra utilizada para a garantia de sua reprodução física, social, econômica e cultural.

O artigo 5º da Instrução Normativa nº49 institui as competências:

Art. 5º. Compete ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA a identificação, o reconhecimento, a delimitação, a demarcação, a desintrusão, a titulação e o registro imobiliário das terras ocupadas pelos remanescentes das comunidades dos quilombos, sem prejuízo da competência comum e concorrente dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios.

2.2.3.2.3 Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação

Atribui-se as Área de Preservação Permanente as bordas dos rios e ao redor de nascentes naturais. De acordo com o art. 2º do Código Florestal, tem-se:

Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será: (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*
 - 1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*
 - 2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*

3 - de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)
4 - de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)
5 - de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros; (Incluído pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)
b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;
c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

As unidades de conservação (UCs) são um tipo especial de área protegida, ou seja, espaços territoriais (incluindo seus recursos ambientais e as águas jurisdicionais) com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e de limites definidos, sob regime especial de administração, às quais se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

Segundo a Lei nº 9.985/2000 (SNUC), as unidades de conservação dividem-se em dois grupos com particularidades distintas, são eles: unidades de proteção integral e unidades de uso sustentável nos termos do artigo 7º.

As unidades de proteção integral têm por objetivo básico a conservação e preservação da natureza, restringindo desse modo, o uso de seus recursos de forma indireta, ou seja, uso que não envolve o consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais existentes, com exceção apenas para casos previstos no §2º, art. 7º, da referida Lei (BRASIL, 2000).

Em equivalência, as unidades de uso sustentável possuem por finalidade harmonizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parte dos recursos naturais existentes, conforme previsão do §2º, art. 7º, da referida Lei (BRASIL, 2000).

As unidades de proteção integral são divididas por cinco categorias de unidades de conservação: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de vida silvestre (MACHADO, 2004).

Segundo o Art 8º da Lei nº 9.985/2000 o grupo das Unidades de Proteção Integral é composto pelas seguintes categorias de unidade de conservação:

- I - Estação Ecológica;
- II - Reserva Biológica;
- III - Parque Nacional;
- IV - Monumento Natural;
- V - Refúgio de Vida Silvestre.

Segundo o Art 14º da Lei nº 9.985/2000 o grupo das Unidades de Uso Sustentável é composto pelas seguintes categorias de unidades de conservação:

- I - Área de Proteção Ambiental;

- II - Área de Relevante Interesse Ecológico;
- III - Floresta Nacional;
- IV - Reserva Extrativista;
- V - Reserva de Fauna;
- VI - Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e
- VII - Reserva Particular do Patrimônio Natural.

2.2.3.2.4 Sítios Arqueológicos

Conforme o artigo 1º do Decreto-lei nº 25, de 30 de novembro de 1937 Patrimônio Histórico é:

Art. 1º - Constitui o patrimônio histórico e artístico nacional o conjunto dos bens móveis e imóveis existentes no País e cuja conservação seja de interesse público, quer por sua vinculação a fatos memoráveis da história do Brasil, quer por seu excepcional valor arqueológico ou etnográfico, bibliográfico ou artístico.

De acordo com Luz (2012) "sítio arqueológico" pode ser definida como um local onde ficam ou ficaram preservados artefatos, construções ou outras evidências de atividades humanas, ocorridas num passado recente, distante ou mesmo remoto. Os sítios arqueológicos mais conhecidos correspondem a cidades, templos, cemitérios e túmulos antigos soterrados em várias partes do mundo. No Brasil, acordo com o artigo 3º da Lei nº 3.924 de 26 de julho de 1961 esses locais são protegidos por lei e é crime destruí-los.

2.2.3.2.5 Aquedutos

Os aquedutos serão implantados nos pontos em que houver cruzamentos com interferências, travessias de rios e riachos e talvegues cuja amplitude indique tal solução como mais racional. Serão construídos em concreto armado e seção retangular.

A Tabela 1 apresenta as características principais dos aquedutos que serão adotados no projeto.

Tabela 1 - Características dos Aquedutos

Trecho	Aqueduto	Vasão (m³/s)	Largura da Base (m)	Área de Secção Transversal (m²)	Altura da Água (m)	Altura Total (m)
I	Logradouro	99,00	2x5,20	26,18	5,04	5,80
	Saco de Serra	99,00	2x5,20	26,18	5,04	5,80
	Mari	99,00	2x5,20	26,18	5,04	5,80
	Terra Nova	99,00	2x5,20	26,18	5,04	5,80
	Salgueiro	99,00	2x5,20	26,18	5,04	5,80
II	Zé Joaquim	89,00	2x5,00	24,03	4,81	5,60
	Cana Brava	89,00	2x5,00	24,03	4,81	5,60
	Boi	89,00	2x5,00	24,03	4,81	5,60
	Catingueira	89,00	2x5,00	24,03	4,81	5,60
	Palha	89,00	2x5,00	24,03	4,81	5,60
III	Cipó	80,00	14,02	22,13	4,61	5,40
	Serrote	80,00	14,02	22,13	4,61	5,40
V	Beldroega	28,00	12,26	16,94	4,03	4,70
	Jacaré	28,00	12,26	16,94	4,03	4,70
	Caetitu	28,00	12,26	16,94	4,03	4,70
	Branco	10,00	8,28	7,80	2,69	3,30
	Barreiros	10,00	8,28	7,80	2,69	3,30
VI	Traíras	10,00	8,28	7,80	2,69	3,30
	Macacos	10,00	8,28	7,80	2,69	3,30
	Tigre	10,00	8,28	7,80	2,69	3,30
	Brígida	10,00	8,28	7,80	2,69	3,30
	Pedra Grande	10,00	8,28	7,80	2,69	3,30

Fonte: Autor, 2018

2.2.3.2.6 Túneis

Os critérios adotados para túneis com escoamento livre foram determinados pelos seguintes parâmetros:

- Vazão máxima a transpor (em uma única etapa de obras);
- Declividade;
- Rugosidade;
- Escoamento com lâmina d'água a 75%.

Em todos eles, foi previsto o revestimento dos pisos em concreto e os convencionais terão seção arco-retângulo. No caso dos túneis com escoamento forçado, serão túneis de seção circular, revestidos de concreto armado e blindados nos trechos finais, com velocidade máxima de 4,0 m/s. A Tabela 2, a seguir, apresenta características dos túneis previstos no projeto.

Tabela 2 - Características dos Túneis

Trecho	Túneis	Vasão (m³/s)	Declividade (%)	Diâmetro (m)	Comprimento (m)	Velocidade (m/s)
I	Angico	99,00	0,04	9,60	800,00	1,61
	Milagres-Jati	89,00	0,04	9,20	2.200,00	1,57
	Jati	89,00	0,01	5,40	231,50	3,89
II	Atalho	89,00	0,04	5,40	700,00	3,89
	Cuncas I	89,00	0,04	9,20	15.220,00	1,57
III	Cuncas II	80,00	0,15	6,70	4.140,00	2,47
IV	Major Sales	40,00	0,04	6,60	4.500,00	1,26
V	Mandantes	28,00	0,04	5,80	2.500,00	1,16
	Monteiro	10,00	0,04	3,90	4.900,00	0,89
VI	Parnamirim	10,00	0,01	5,20	1.800,00	0,54

Fonte: Autor, 2018

2.2.3.2.7 Rodovias e Ferrovias

As Faixas de Domínio são as faixas de terra destinadas para uso rodoviário por decreto de utilidade pública, sendo ou não desapropriadas, onde os limites foram constituídos em consonância com a necessidade estabelecida no projeto de engenharia rodoviária, (CARDOSO, 2013). O DNIT (2018) explica ainda que a faixa de domínio compreende a base física sobre a qual assenta uma rodovia, constituída pelas pistas de rolamento, canteiros, obras-de-arte, acostamentos, sinalização e faixa lateral de segurança, até o alinhamento das cercas que separam a estrada dos imóveis marginais ou da faixa do recuo.

As Áreas *Non Aedificandi*, diferente das Faixas de Domínio, são as áreas com largura de 15 (quinze) metros, medidos a partir da linha que define a faixa de domínio da rodovia, estabelecidas pela Lei Federal para Parcelamento do Solo n.º 6.766, de 19 de dezembro de 1979. A faixa de domínio das ferrovias deve preservar o mínimo de 15 (quinze) metros não edificáveis em cada lado da via, conforme o art. 4º, III, da Lei n.º 6.766/1979.

2.3 PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO SÃO FRANCISCO - PISF

Neste capítulo é evidenciado o Projeto de Integração do São Francisco, nele é apresentando a concepção do projeto, aspectos gerais das estruturas dos canais e as premissas de escoamento da energia gerada, este último consistiu basicamente na localização das subestações e na capacidade de das mesmas.

2.3.1 Concepção do Projeto

O PISF possui 450 quilômetros de extensão nos seus dois eixos (Leste e Norte), com 9 estações de bombeamento (EB) elevatórias para levar água por toda a sua extensão.

O Eixo Norte possui três (EBI1, EBI2, EBI3) e o Eixo Leste possui 6 estações (EBV1, EBV2, EBV3, EBV4, EBV5 e EBV6). Na primeira fase do projeto cada EB terá duas bombas instaladas. Poderão ser adicionadas mais duas bombas nas estações do Eixo Leste, e mais seis

nas estações do Eixo Norte. O bombeamento firme e contínuo da vazão de 26,4 m³/s destina-se ao consumo humano e à dessedentação animal, no horizonte de 2025. Todavia, a outorga definitiva autoriza, também, que, se nas bacias receptoras não estiverem ocorrendo déficits hídricos, e se os estados abrirem mão de uma parte, ou do todo, dessa vazão firme, poderá ela ser destinada, em parte, ou no todo, a outros usos, dentre eles, a irrigação.

Ao longo da sua estrutura o PISF possui também duas linhas de transmissão de 230 kV com cerca de 270 km de extensão e também linhas de distribuição de 6,9 kV, 13,8 kV e 69kV.

O PSIF tem uma demanda de carga significativa, detalhada no presente relatório. As motobombas do projeto têm um funcionamento previsto de 20 horas/dia durante todos os dias do ano. Como já mencionado tal demanda de energia gera um custo impactante na operação do empreendimento.

O Eixo Leste (Trecho V) já se encontra integralmente em operação, com todas as estações de bombeamento funcionando, motorizadas a meia carga, e os reservatórios alimentados, atravessando o Estado de Pernambuco até o Açude de Poções na Paraíba, com a água seguindo daí pelo Rio Paraíba. O Ramal do Agreste (Trecho VII) teve sua ordem de serviço (OS) emitida em 27/02/2018. Esse ramal prevê uma estação de bombeamento (EBVII-1), que não entrou no escopo deste estudo.

No Eixo Norte, até o presente, o Trecho I se encontra em condições de operação, com as estações de bombeamento motorizadas a um quarto da capacidade, e permitindo a chegada das águas ao Reservatório de Jati e o enchimento dos reservatórios do Trecho II, a jusante. Assim, já serão atingidas todas as tomadas de água do Eixo Norte no Estado de Pernambuco e o Cinturão das Águas do Ceará (CAC).

O restante do Trecho II, assim como as demais instalações associadas ao Eixo Norte, será atendido à medida que as obras sejam concluídas.

Figura 6 - Localização dos Eixos do PISF



Fonte: Autor, 2018

Na Tabela 3 apresenta-se a potência consumida nas estações de bombeamento na Etapa 1 e Etapa 2.

Tabela 3 -Demandas de Carga no PISF – Etapa 1 e Etapa 2.

Estação de Bombeamento	Nº de bombas previstas		Potência por bomba (MW)	Potência por estação de bombeamento (MW)	
	Etapa 1	Etapa 2		Etapa 1	Etapa 2
EBV-1	2	4	5,3	10,6	21,2
EBV-2	2	4	3,7	7,4	14,8
EBV-3	2	4	5,3	11,0	22,0
EBV-4	2	4	5,3	10,6	21,2
EBV-5	2	4	2,2	4,4	8,8
EBV-6	2	4	3,4	6,8	13,6
EBI-1	2	8	5,5	11	44
EBI-2	2	8	8,95	17,9	71,6
EBI-3	2	8	12,7	25,3	101,28
TOTAL	18	48	-	105,02	318,48

Fonte: Autor, 2018

Para suprir parte da demanda de energia, há previsão de instalação no Eixo Norte de duas pequenas centrais hidrelétricas (UHE), para aproveitamento da queda natural existentes nas barragens de Jati e de Atalho, no Estado do Ceará, cujas potências instaladas foram

preliminarmente estimadas em preliminar 49,0 MW e 18,5 MW. Tais usinas, projetadas inicialmente para uma vazão de projeto por ora passam por readequação à vazão real, que representa 25% da vazão no projeto.

2.3.2 Aspectos Gerais das Estruturas dos Canais

2.3.2.1 Eixo Norte (Trecho I e II)

O Eixo Norte tem extensão de 260km, partindo do São Francisco no município de Cabrobó-PE em direção ao norte, com entrega de água nos quatro estados receptores.

A vazão máxima prevista para este eixo é de 99m³/s, porém para primeira fase de operação a capacidade de adução está reduzida a 25% de sua capacidade máxima. Os trechos I e II contemplam três estações de bombeamento (EBI-1, EBI-2 e EBI-3), com oito bombas em cada.

Além desta saída, todos os reservatórios do PISF do Eixo Norte no Estado de Pernambuco permitem a liberação de até 2m³/s pelas tomadas de água de uso difuso (TUD's), sendo eles os reservatórios: Tucutu, Terra Nova, Serra do Livramento, Mangueira, Negreiros e Milagres.

O trecho I é responsável pela captação e adução da vazão do primeiro segmento do Eixo Norte, desde a captação até o reservatório de Jati (142km), contendo três estações de bombeamento, para recalcar até 99m³/s em uma altura de 169 metros. Ao longo do Trecho I, especificamente no reservatório de Mangueira, está prevista a derivação para atendimento à bacia hidrográfica do Rio Brígida-PE correspondente ao trecho VI, também denominado Ramal Entremontes com vazão de 25m³/s.

O sistema adutor do Trecho I é composto por:

- 17 seguimentos de canais que perfazem aproximadamente 104km de extensão (ou 105,4km considerando as extensões);
- Aquedutos: Logradouro (75m), Saco da Serra (100m), Mari (275m), Terra Nova (75m) e Salgueiro (150m);
- Túnel Milagres-Jati (1.440m);
- Barragens: Tucutu, Terra Nova, Serra do Livramento, Mangueira, Negreiros e Milagres;
- Galerias: Penaforte (447,6m) e Transnordestina (102m);
- 3 Estações de bombeamento EBI-1, EBI-2 e EBI-3;
- Estruturas de controle de saída dos reservatórios das barragens Tucutu, Serra do Livramento, Negreiros e Milagres;

O trecho II possui 118km de extensão, constituído por um canal adutor, entremeado por uma série de reservatórios e dois túneis, garantindo que a água aduzida ao Reservatório Caiçara alcance o rio Piranhas. Neste trecho o PISF contempla duas hidrelétricas, que quando estiverem operando, recuperarão parte da energia gasta com o bombeamento.

O sistema adutor do Trecho II é composto por:

- 8 seguimentos de canais que perfazem aproximadamente 57km de extensão;
- Aquedutos: Boi (175m), Pinga (150m) a Catingueira (175m);
- 12 pontes e 3 passarelas;
- Túnel Cuncas I (15km) e Túnel Cuncas II (4km);
- Barragens: Jati, Porcos, Cana Brava, Boi I, Boi II, Cipó, Morros, Boa Vista e Caiçara;
- 2 Usinas Hidrelétricas.

2.3.2.2 Eixo Leste (Trecho V)

O Eixo Norte tem extensão de 217km, partindo do reservatório de Itaparica-PE em direção leste no Estado de Pernambuco até atingir o Estado da Paraíba, no município de Monteiro.

A vazão máxima prevista para este eixo é de 28m³/s, com redução de 50% na capacidade de adução na primeira fase, contemplando ao longo da infraestrutura seis estações de bombeamento (EBV-1, EBV-2, EBV-3, EBV-4, EBV-5 e EBV-6), com previsão de quatro bombas em cada EB.

Responsável pela captação no reservatório de Itaparica, em Petrolândia-PE indo até o riacho Mulungu em Monteiro-PB, capacidade de adução de 28m³/s até o reservatório de Copiti; daí em diante, até o fim, sua capacidade é reduzida para 18m³/s.

O sistema adutor do Trecho V é composto por:

- 23 seguimentos de canais que perfazem aproximadamente 162km de extensão;
- Aquedutos: Sobre a BR-316 (146m), Jacaré (164m), Caetitu (164m), Branco (150m) e Barreiro (200m);
- Barragens: Areias, Baraúnas, Mandante, Salgueiro, Muquem, Caçimba Nova, Bagres, Copiti, Moxotó, Barreiro, Campo e Barro Branco;
- 19 Pontes e 15 Passarelas;
- Galeria/Adutora Monteiro (inclusive transições) (4km);
- 6 Estações de Bombeamento: EBV-1, EBV-2, EBV-3, EBV-4, EBV-5 e EBV-6.

2.3.3 Premissas de Escoamento de Energia do PISF

2.3.3.1 Dados de Entrada

O projeto de Integração do Rio São Francisco - PISF possui dois eixos de derivação, o eixo Norte que capta água do rio no Município de Cabrobó (PE) para atender os estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará e o Eixo Leste que capta água no município de Petrolina para atender os estados de Pernambuco e Paraíba.

Para deslocar essa água de forma não natural foi preciso construir nove estações elevatórias ao longo dos eixos da transposição, sendo três estações de bombeamento localizadas no eixo Norte e seis no eixo Leste. A energia para suprir essas estações de bombeamentos é oriunda de duas linhas de 230 kV, uma linha para cada eixo, derivadas da Rede Básica.

A linha de transmissão que alimenta as bombas do Eixo Norte parte da subestação de N1, próxima da estação de bombeamento EBI-1, e tem como destino a subestação de Bom Nome 230 kV, no estado de Pernambuco. Ao longo de sua extensão, a linha de transmissão alimenta as estações de bombeamento EBI-2 e EBI-3 através das subestações N2 e N3.

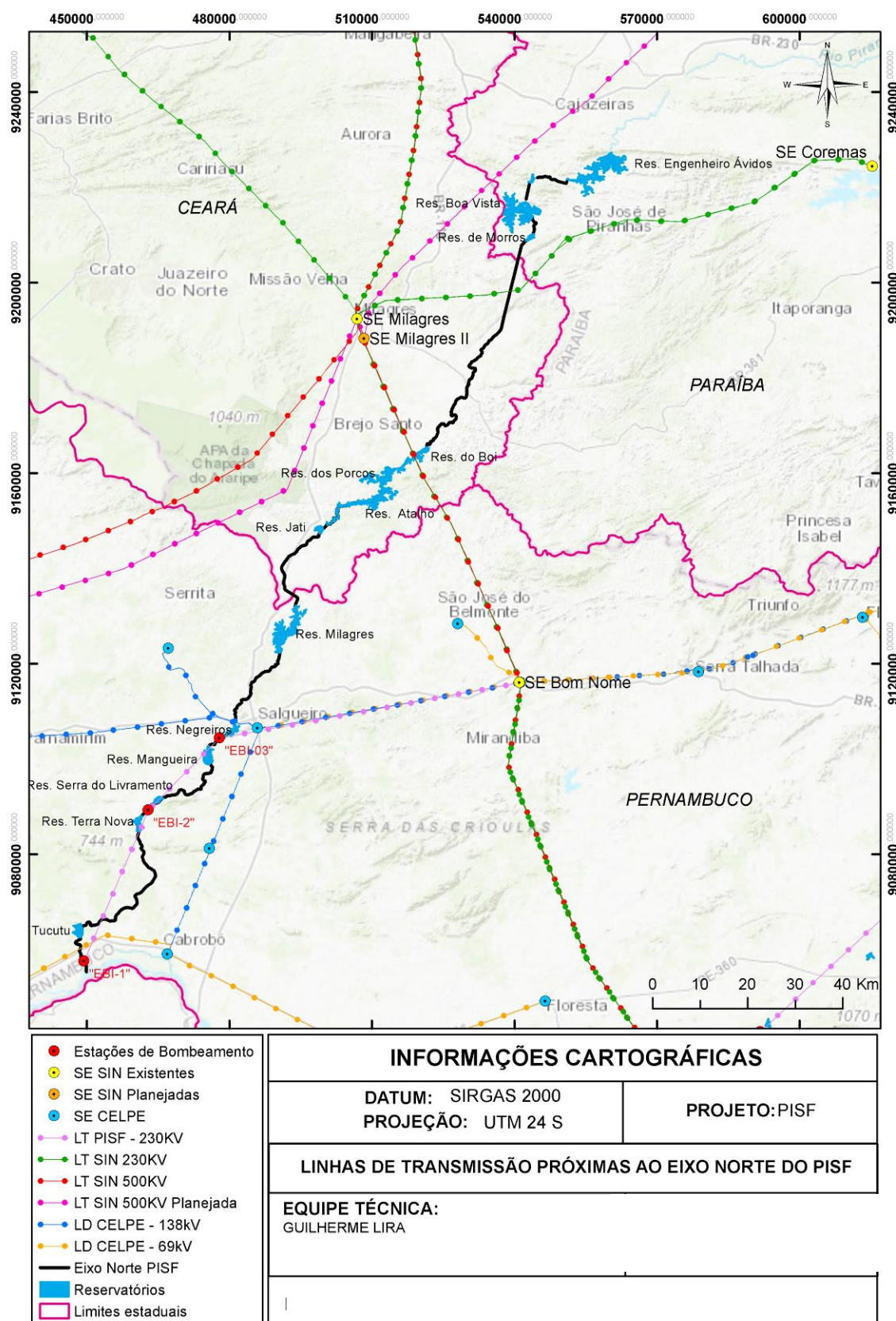
Já a linha de transmissão de 230 kV que alimenta o Eixo Leste tem início na subestação de Floresta 230 kV, que secciona a linha de transmissão de 230 kV Paulo Afonso – Bom Nome, e percorre o eixo até a Subestação E6, que alimenta as centrais de bombeamento EBV-5 e EBV-6. Ao longo de sua extensão a linha de transmissão também alimenta as estações de bombeamento EBV-1, EBV-2, EBV-3 e EBV-4, através das subestações E1, E2, E3 e E4, respectivamente.

As linhas de transmissão do eixo Norte e Leste possuem comprimento de 124 e 137 km, respectivamente, e um condutor por fase do tipo Grosbeak 636 MCM.

Com o intuito de aproveitar a vazão das águas do PISF foram projetadas duas PCHs no Eixo Norte, Jati e Atalho.

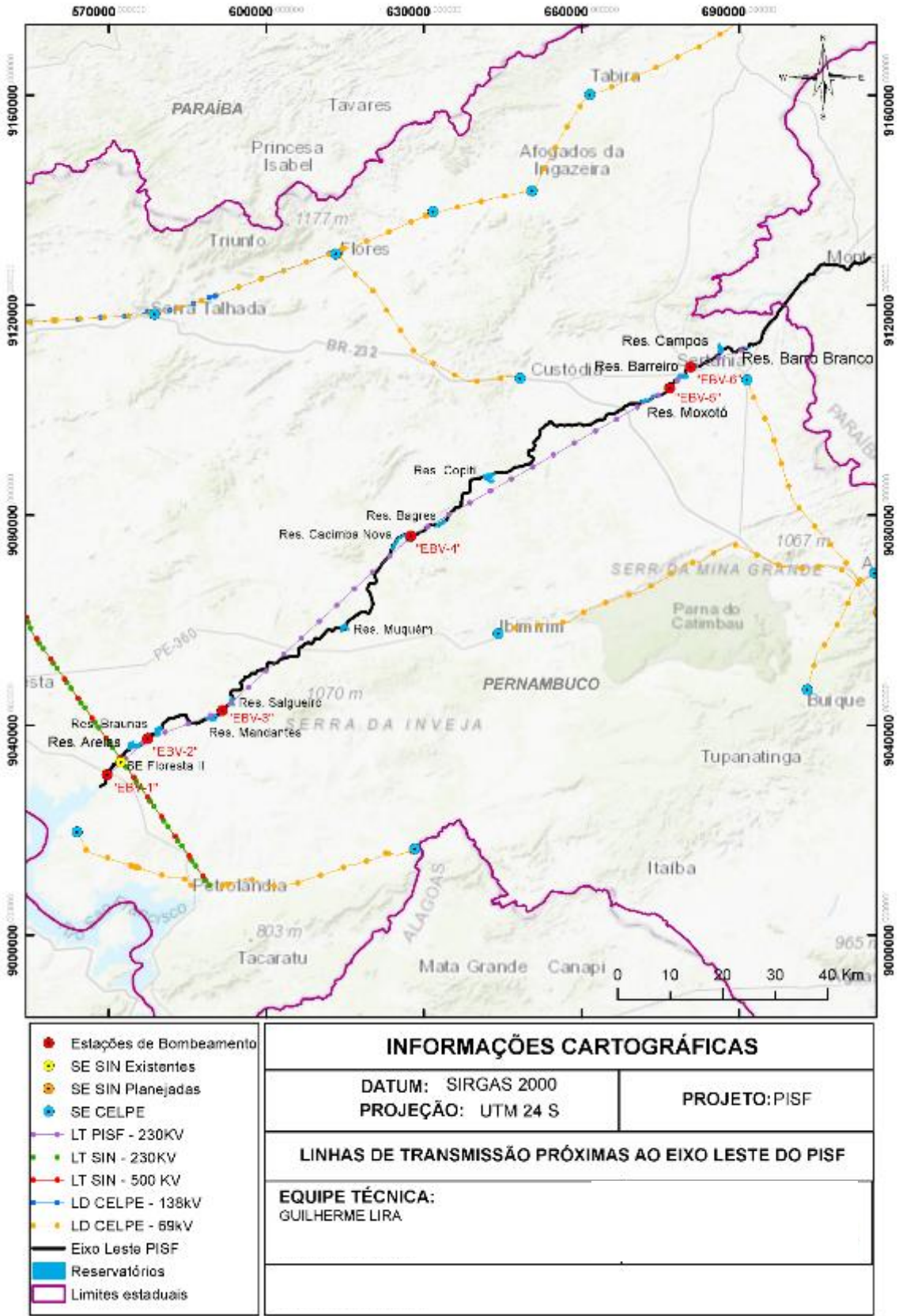
Com a existência das PCHs Atalho e Jati no eixo Norte, foi considerado um cenário em que as PCHs estariam em plena geração enquanto as bombas estariam desligadas, logo, toda a energia produzida pelas PCHs escoariam pela rede de 230 kV presente no Eixo Norte, desta forma a geração solar fotovoltaica deverá ser reduzida (fase final), no outro cenário considerado as PCHs estariam com 25% da sua capacidade de geração (fase inicial).

Figura 7 - Localização das estações de bombeamento Linhas de Transmissão e Subestações Eixo Norte



Fonte: Autor, 2018

Figura 8 - Localização das estações de bombeamento Linhas de Transmissão e Subestações Eixo Leste



Fonte: Autor, 2018

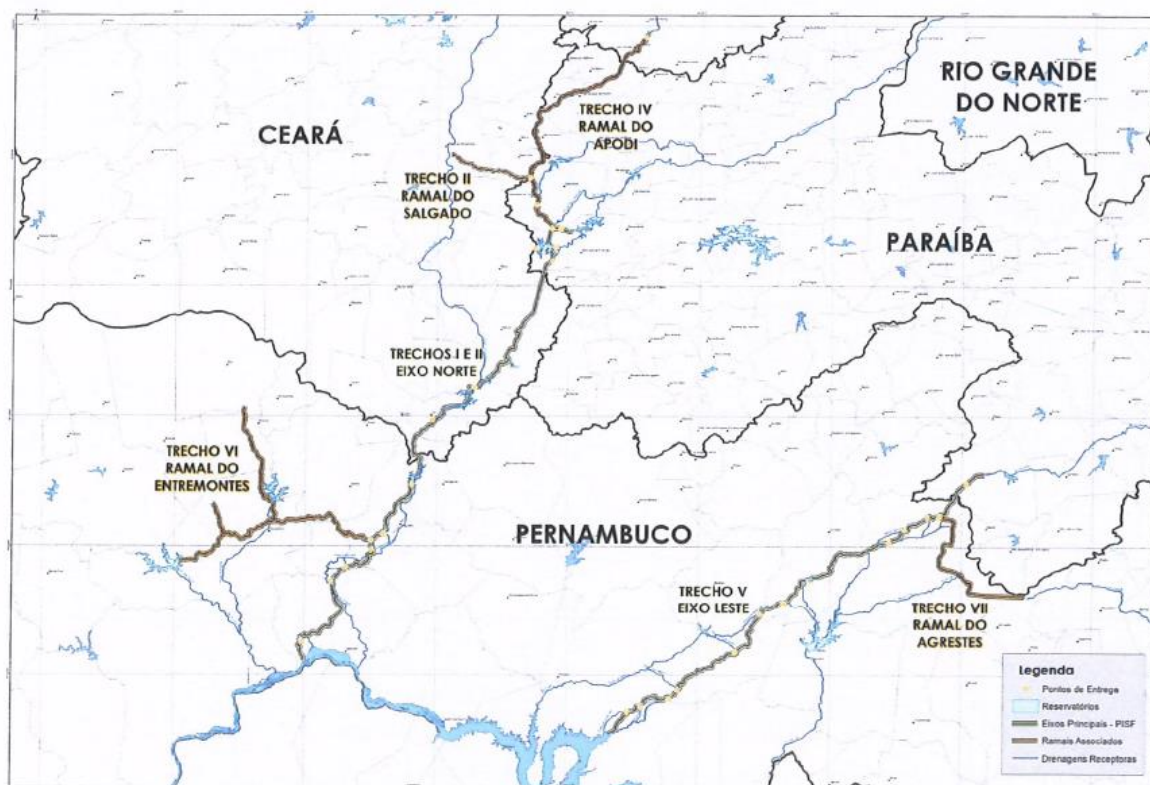
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente capítulo apresenta o detalhamento dos procedimentos metodológicos aplicados para atingir os objetivos da pesquisa incluindo a caracterização da área de estudo.

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O PISF se localiza no sertão nordestino, nos estados de Pernambuco, Ceará e Paraíba. Como exposto na Figura 9 - Localização da área de estudo.

Figura 9 - Localização da área de estudo



Fonte: Autor, 2018

O cenário natural desta região, totalmente inserida no Semiárido é a paisagem do ecossistema Caatinga, espaço historicamente marcado pela fome e pela pobreza.

Grande parte de sua população é considerada pobre, vivendo em condições agudas de vulnerabilidade socioeconômica, com padrões de saúde, nutrição, educação, trabalho e condições habitacionais precárias. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) ainda se encontra em níveis baixos para grande parte dos municípios.

A baixa pluviosidade é característica marcante desta região, com secas periódicas, o que aumenta, em muito, os problemas sociais e econômicos de sua população. Os períodos de seca prolongada geram a desocupação da mão de obra entre as famílias de pequenos agricultores e o desemprego. As interrupções na produção agropecuária colocam em risco as vidas dos agricultores familiares, de seus rebanhos e de suas reservas de alimentos e sementes,

provocando, ainda, por vezes, o abandono da terra e a migração, que nos dias atuais tem sido mais interna ao próprio espaço nordestino.

A região é a maior do país em população de agricultores familiares, concentrando grande parte dos agricultores familiares de baixa renda e dos agricultores assentados em projetos de reforma agrária, hoje estruturados nos Territórios da Cidadania. Conforme Ab'Sáber (1999) “mais do que qualquer outro contingente demográfico do nosso interior, esta população forma um povo e uma cultura em um ambiente físico e humano que não reservou lugar para os fracos e acomodados”.

A população total da área do PISF é de 12.650.661 habitantes, sendo 9.875.602 na área urbana e 2.772.064 na área rural, apresentando assim uma taxa de urbanização de 78,06%. No período entre 2000 e 2010 apresentou uma taxa média geométrica de crescimento de 0,81% aa.

Vale ressaltar que este alto grau de urbanização não corresponde de fato a uma predominância da vida urbana, como atualmente configurada. No entanto, esta “urbanização” é relativizada, considerando que os critérios normativos do IBGE, no caso do Semiárido, principalmente, são confrontados com critérios analíticos, numa análise de José Eli da Veiga (2001), o que faz a população do Semiárido talvez ainda predominantemente ligada ao “modo de vida rural”.

3.2 ANÁLISE SOLAR

Para a determinação da área útil para instalação de painéis fotovoltaicos levou-se em consideração as 3 situações para simulação da produção anual de energia:

- Sobre os canais;
- Entorno dos canais;
- Sistemas Flutuantes Fotovoltaicos - sobre os reservatórios (FFV).

Para cada uma das alternativas foram estudadas a área disponível, as características topográficas da área, as exclusões tais como declividade (>15% - limitação de sombra e dos seguidores), ambientais, bloqueios e sombreamentos.

O estudo foi delimitado na área ocupada de 100 metros a partir do eixo central dos canais ao longo dos dois eixos do PISF, incluindo-se os canais, reservatórios e cursos d'água.

3.2.1 Dados de radiação

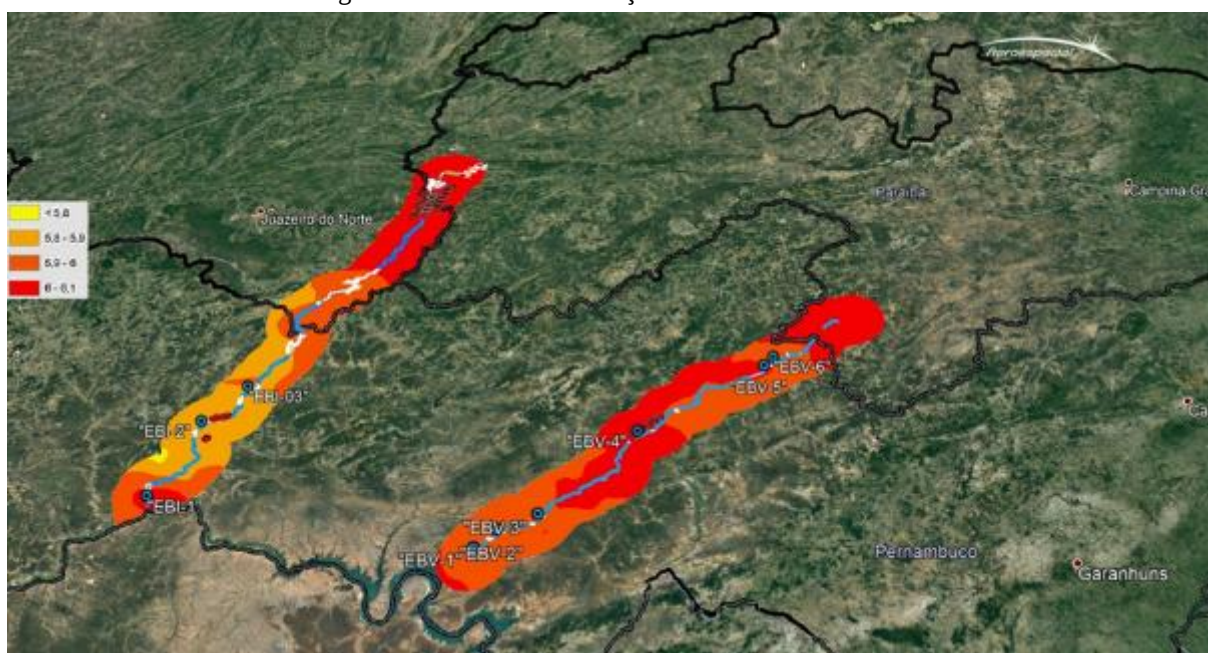
Os mapas foram elaborados a partir de fontes advindas de satélite meteorológicos geoestacionários, o METEOSAT desenvolvido pela Agência Espacial Europeia e operada pela EUMETSAT, e GOES composto de um conjunto de satélites e instalações em terra operados em conjunto pelo NESDIS, fornecido pela National Oceanic and Atmospheric Administration

(NOAA). Os dados passaram por uma fase de análise de consistência, onde foi verificado o perfil diário de radiação junto com a radiação de céu claro, que é máximo de radiação esperado de acordo com a latitude, longitude e altitude da região. As fontes foram então regredidas entre si para gerar uma única série de longo prazo, com 30 anos, representando a climatologia da região.

Para as simulações energéticas foi utilizado o *software PVsyst*, versão 6.6.8 cedido pela empresa Aeroespacial LTDA. O *PVsyst* é amplamente difundido entre todos os segmentos que trabalham com projetos solares e tido como o padrão do mercado atual.

O modelo *PVsyst* permite ao usuário trabalhar em diferentes níveis de complexidade, desde um estágio inicial de representação de uma planta solar até um detalhado sistema de simulação para grandes usinas conectadas à rede. Apresenta também uma ferramenta adicional, tridimensional, que leva em conta as limitações no horizonte e aqueles objetos que possam projetar sombras nos módulos fotovoltaicos.

Figura 10 – Áreas de Radiação em torno dos canais



Fonte: Autor, 2018

3.2.2 Exclusões

3.2.2.1 Declividade

O procedimento utilizado para definir os valores de declividade foi análogo ao desenvolvido na metodologia de eólica (tópico 3.2.5.1), a partir dos dados de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e Pernambuco Tridimensional (PE 3D), processados através do software Qgis. Considerando exclusões as áreas com declividade superiores a 15%.

3.2.2.2 Rodovias e Ferrovias

O mesmo procedimento descrito no tópico de Rodovias e Ferrovias do projeto eólico no tópico 3.2.5.2. foi utilizado para definir as áreas de exclusão das áreas propícias para instalação dos arranjos fotovoltaicos.

3.2.3 Limitantes

3.2.3.1 Aquedutos

Como mencionado anteriormente os aquedutos são implantados nos pontos em que há cruzamentos com interferências, travessias de rios e riachos e talvegues cuja amplitude indique tal solução como mais racional. Sendo assim os aquedutos impactam diretamente na capacidade de instalação dos arranjos fotovoltaicos que serão instalados em torno dos canais. Através dos dados georreferenciados disponibilizado pela Aeroespacial LTDA, foi possível excluir essas áreas sobrepondo os aquedutos nas potenciais áreas de instalação.

3.2.3.2 Túneis

Através das informações do projeto de construção dos canais foi possível identificar o comprimento dos trechos dos túneis, onde obviamente não é possível instalar os painéis fotovoltaicos.

3.2.3.3 Dimensão dos canais

Através das informações do projeto de construção dos canais foi possível identificar, por trecho, as larguras de cada cana, visto que a dimensão dos mesmos influencia diretamente na quantidade de painéis que podem ser instalados.

3.2.3.4 Áreas Úteis dos Reservatórios

Para o cálculo da área dos reservatórios propícia para instalação de Usinas Fotovoltaicas Flutuantes, utilizou-se dados vetoriais disponibilizados pelo projeto PISF.

Para evitar o sombreamento dos painéis causado pela área nas bordas dos reservatórios e também a variação de volume dos reservatórios, adotou-se como critério de linha de base para a área utilizável para implantações dos painéis as áreas do espelho d'água equivalente ao volume mínimo dos reservatórios.

Os reservatórios utilizados na análise se encontram em um raio de 60 km da estação de bombeamento mais próxima. Reservatórios mais distantes não foram levados em consideração devido à grande porcentagem perdas causadas pela distância até o ponto de conexão.

Tabela 4 – Reservatórios do PISF utilizados na análise

Reservatórios	Área dos res. (km ²)	Cota máx. (m)	Cota mín. (m)	Volume mín. (km ³)
Res. Terra Nova	233,81	360,00	346,00	80,9
Res. Serra do Livramento	158,02	408,00	385,00	60,8
Res. Milagres	1.129,93	493,00	461,00	520,9
Res. Jati	131,19	488,00	436,00	57,2
Res. Negreiros	248,07	493,00	362,00	89,8
Res. Braúnas	133,13	400,00	370,00	49,3
Res. Barreiro	75,09	543,00	534,00	40,1
Res. Barro Branco	8,84	600,00	589,00	5,2
Res. Campos	90,92	605,00	581,00	52,8
Res. Mangueira	324,50	407,00	370,00	120,1
Res. Areias	167,45	362,00	346,00	57,9
Res. Moxotó	50,62	510,00	496,00	25,1
Res. Bagres	79,23	509,00	499,00	39,5
Res. Muquém	76,81	456,00	445,00	34,2
Res. Salgueiro	95,88	459,00	444,00	42,6
Res. Mandantes	94,97	399,00	386,00	36,7
Res. Cacimba Nova	250,00	454,00	445,00	111,3
Res. Copiti	152,32	508,00	494,00	75,2

Fonte: Autor, 2018

3.2.4 Elaboração de Layouts

A partir das considerações das exclusões e limitações foram estabelecidas as áreas aproveitáveis para implantação dos módulos fotovoltaicos, que serão instalados em diferentes tipos de estrutura, de acordo com a alternativa de instalação.

Pode-se dividir a estrutura em três classificações:

- Estrutura com eixo fixo;
- Estrutura com seguidor (tracker);
- Estrutura flutuante.

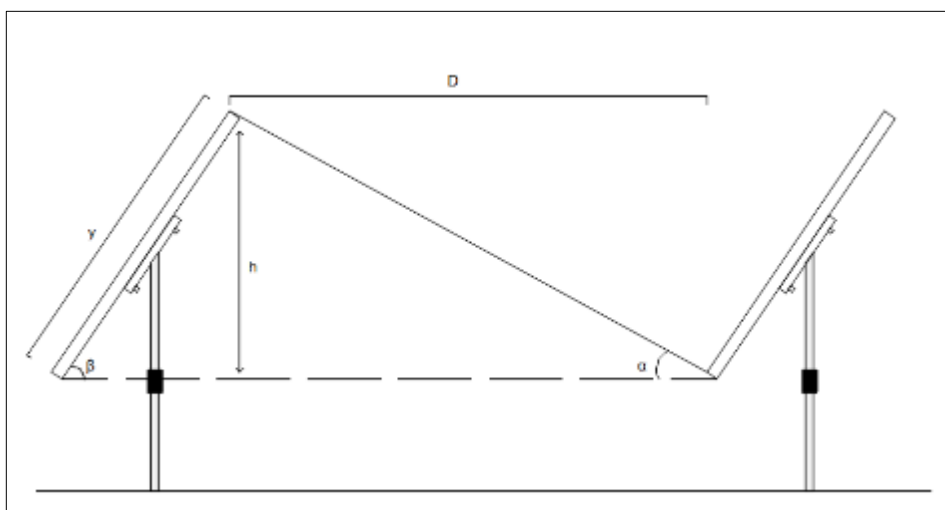
3.2.4.1 Estrutura com Eixo Fixo

As estruturas de eixo fixo foram as primeiras a entrarem no mercado e são usadas tanto em telhados, para a geração distribuída, no entanto em grandes parques fotovoltaicos, vale destacar que nos três últimos leilões de energia no Brasil não contaram mais com estruturas fixas.

Quando são usadas estruturas fixas nas instalações fotovoltaicas, procura-se encontrar o ângulo de inclinação dos painéis e a distância entre as fileiras que proporcione o maior ganho de radiação ao longo do ano e a menor porcentagem de perdas.

Em geral, devido a variação Norte-Sul do posicionamento do Sol ao longo do ano, para o caso do Hemisfério Sul, os painéis são direcionados para norte e possuem inclinação que varia de acordo com a latitude no qual o projeto se encontra. Visto que os painéis são direcionados para norte, a distância entre as fileiras de painéis deve garantir que, durante o solstício, a sombra durante as horas de geração não ocorra ou pelo menos seja minimizada ao máximo.

Figura 11 – Diagrama para exemplificar o cálculo da distância entre painéis.



Fonte: Autor, 2018

Onde:

Y – Comprimento do módulo inclinado

h – Altura de obstrução

D – Distância entre as estruturas

β – Inclinação do painel

α – Altitude do sol

ψ – Ângulo do azimute solar

Para efetuar o cálculo da distância entre os painéis utilizou-se, de acordo com Deethumol et. al.(2016), deve-se utilizar a seguinte fórmula:

$$D' = \frac{h}{\tan(\alpha)} \quad \text{Equação 1}$$

O valor de D' deve ser corrigido pelo azimute através da seguinte equação:

$$D = D' \times \cos(|180 - \varphi|) \quad \text{Equação 2}$$

3.2.4.2 Estrutura com Seguidor/Rastreador (um eixo)

Com o passar do tempo a tecnologia envolvendo a geração de energia solar fotovoltaica foi avançando e a necessidade do melhor aproveitamento da radiação variando ao longo do dia foi crescendo. Portanto, para atender esta demanda, surgiu a tecnologia de estruturas

fotovoltaicas com seguidores/rastreadores, hoje amplamente usada nas usinas de geração fotovoltaica e de concentradores solares (AL-ROUSAN, ISA e DESA, 2018).

Uma vez que os painéis são instalados em estruturas com seguidores, eles não mais são virados para o Norte-Sul e sim para o Leste-Oeste e, ao longo do dia, acompanham a posição do sol, procurando aproveitar de maneira mais eficiente a radiação ao longo do dia.

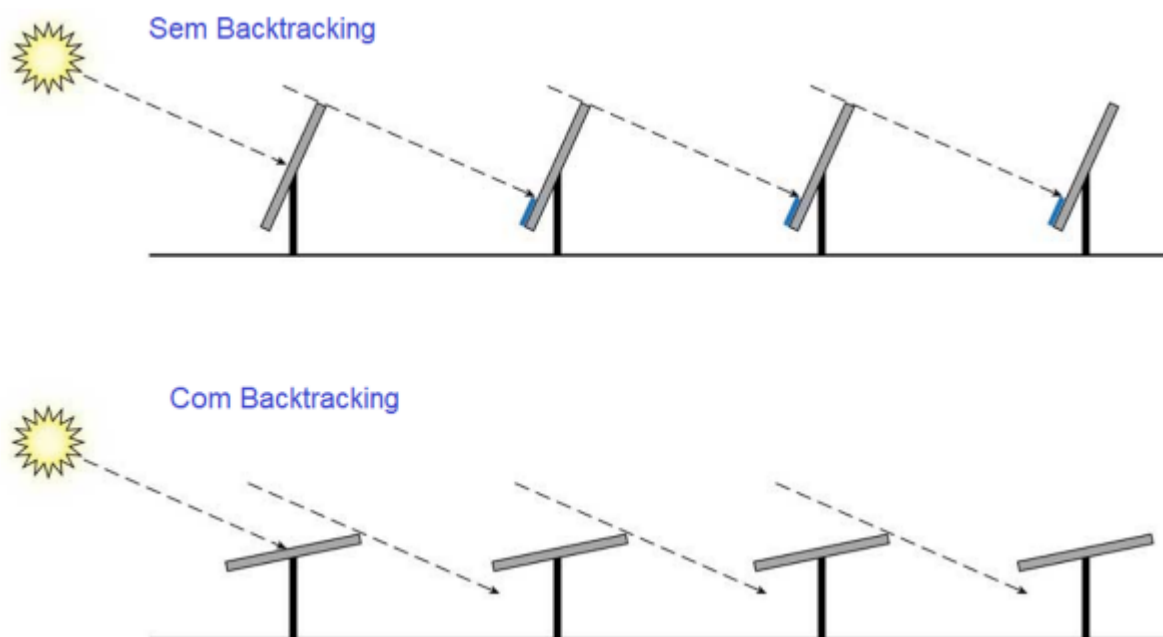
Figura 12 - Ilustração do movimento dos seguidores/rastreadores fotovoltaicos durante o dia.



Fonte: Autor, 2018

Uma vez que as estruturas alcançam ângulos que chegam até $+60^{\circ}/-60^{\circ}$, o sombreamento, completo ou parcial, decorrente dessa variação pode causar uma diminuição da geração. Para que isto seja evitado, utilizasse de um controle do movimento do painel, chamado de backtracking, quando o ângulo de elevação do sol é pequeno, nas primeiras horas do dia e no final da tarde, as sombras entre filas de seguidores pode influenciar drasticamente a geração de Energia. O backtracking é o sistema responsável pelo controle da abertura (ângulo) de forma a eliminar sombras deletérias na planta e maximizar a área que recebe os raios solares. A Figura a seguir mostra como o raio solar incide na fileira de painéis com backtracking e sem backtracking.

Figura 13 - Ilustração da atuação do backtracking em uma planta solar



Fonte: Autor, 2018

3.2.4.3 Estruturas Flutuantes

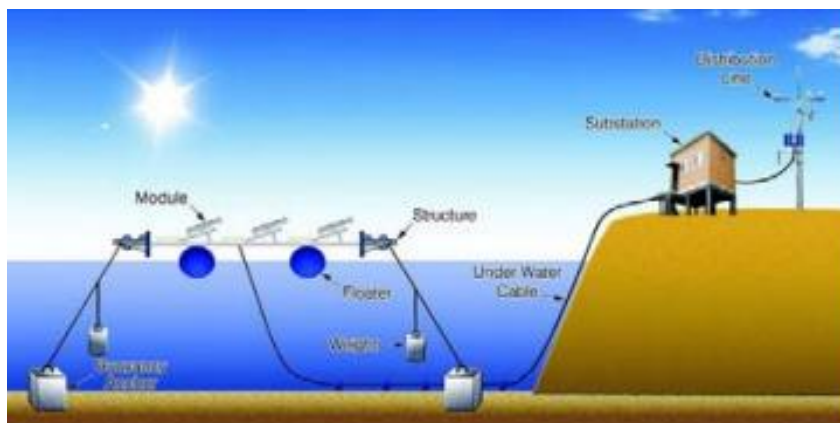
Em muitos países, devido à escassez de área disponível ou útil, tem sido abordado um método diferente de geração fotovoltaica, a geração solar fotovoltaica flutuante (FFV) (SUJAY, WANG e SHINDE, 2017).

A estrutura flutuante que suporta os painéis fotovoltaicos e os demais equipamentos presentes numa usina fotovoltaica deve ser adequadamente ancorada de forma a evitar-se que o vento ou outras variáveis possam mover os painéis ou danificá-los (KIM, YOON e CHOI, 2017).

Neste caso, o espaçamento entre os módulos foi determinado de forma que fosse possível operações de manutenção entre os painéis. O ângulo de inclinação dos painéis foi determinado de forma que se aproveite o máximo do potencial de geração do lugar, entendendo-se que os fornecedores de estruturas flutuantes fornecem o item de variação da angulação (SANTAFÉ et al. 2017).

Vale ressaltar que o presente estudo não se ateve à estrutura do sistema flutuante nem ao dimensionamento, peso de ancoragem e forças de tensão atuantes. Aqui é tratada a questão de arranjos/layout, geração de energia e conexão da energia geradas ao sistema.

Figura 14 – Componentes básicos de uma UFFV.



Fonte: CHOI, 2014

3.3 ANÁLISE EÓLICA

Áreas propícias para instalações de geração de energia por fonte eólica tem um critério diferente de solar. Solar como visto nos mapas de potencial, pode ser plenamente explorada na região delimitada pelo PISF. Já eólica tem como exclusão de primeira grandeza, a velocidade do vento.

Identificadas áreas com vento superior a 6,5 m/s a 120 metros de altura, usados aqui como um mínimo para geração, passa-se a exclusão pelo fator declividade.

Em estudos de viabilidade para projetos eólicos, a declividade é um dos fatores determinantes no momento de definição das áreas de instalação dos aerogeradores, visando a minimização dos custos de terraplanagem das áreas. Para o PISF, foram analisadas as áreas dentro de um buffer de 100 m e de 5 km a partir do eixo central do canal. O critério de exclusão para declividade foram as áreas com inclinações superiores a 17%, visando a mitigação de terraplanagem e a redução de esforços nos aerogeradores com ventos em ângulos de ataque além do suportado pela máquina). Para determinar as áreas propícias e o potencial eólico da região foi aplicada uma metodologia dividida em seis tópicos e descrita a seguir.

3.3.1 Modelo Eólico de Mesoescala

A principal fonte do recurso eólico, ou seja, a velocidade do vento foi extraída do banco de dados do Atlas Eólico e Solar de PE, que tem uma malha retangular maior que os limites do estado. Assim foi possível detectar-se potencial para exploração eólica em toda a extensão do PISF com um raio de 12 km no entorno dos Eixos. Esses dados foram disponibilizados pela Aeroespacial LTDA. em formato raster com informações de velocidade do vento.

3.3.2 Topografia

A topografia, ou modelo digital de terreno utilizado neste trabalho provém de duas fontes de dados distintos, a primeira do programa Pernambuco Tridimensional (PE 3D), iniciado pela SEINFRA em março de 2014, tem o objetivo de realizar varredura a laser e obter ortoimagens de alta resolução de toda a superfície territorial pernambucana, cuja área é de 98.148km². Um dos serviços contratados foi o perfilamento laser e geração de modelos digitais de terreno (1:5000) com erro altimétrico menor que 25 cm.

Outra fonte de dados utilizada contou com dados do projeto TOPODATA que fornece um Modelo Digital de Elevação (MDE) (modelo digital de elevação) com resolução espacial de 30 metros, resultante de processos de interpolação a partir de dados altímetros derivados do SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). O MDE final tem uma resolução de 30 metros (1:3.000). Vale ressaltar que os dados obtidos do projeto TOPODATA foram usados apenas nos estados da Paraíba e Ceará. Utilizando esses dados foi gerado o Modelo Digital de Terreno (MDT) nas áreas úteis para instalação de painéis fotovoltaicos. O processamento da topografia se deu no Software livre Quantum GIS (QGIS), onde foi possível extrair as curvas de nível em formato *shapefile* para inserir no software de simulação de PAE *WindPro*.

3.3.3 Rugosidade

A relação da rugosidade com o perfil vertical do vento, assumindo-se uma atmosfera estratificada neutra e um terreno plano, é dada por:

$$\frac{u(z)}{u_*} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Z_0 é o comprimento da rugosidade em metros;

u_* é a velocidade de fricção (arrasto)

k é a constante de Kármán (≈ 0.4).

u_* e z_0 podem ser facilmente deduzidas uma vez tenha velocidade do vento a duas alturas. A superfície de rugosidade fundamentalmente determina o perfil vertical do vento; outros fatores como estabilidade atmosférica e complexidade do terreno, em superposição à rugosidade, também determinam o perfil do vento.

Para determinação das diferentes coberturas da superfície e posterior modelo de rugosidade, foi usado o método de classificação supervisionada, onde o observador escolhe uma amostra de dezenas ou centenas de pixels na imagem da área em estudo, com padrões por ele reconhecidos ou que possam ser identificados por outras fontes. Com base nestas amostras, o

classificador separa e identifica cada classe selecionada utilizando regras estatísticas pré-estabelecidas (SCHOWENGERDT, 1983; ADENIYI, 1985; MATHER, 1999). Para esta classificação foi utilizado o Plugin de classificação semiautomática (SCP) do QGIS. O SCP é um plugin gratuito de código aberto para QGIS que permite a classificação semiautomática (também classificação supervisionada) de imagens de sensoriamento remoto.

Para a realização do trabalho foram utilizadas imagens do Landsat-8, adquiridas gratuitamente no catálogo do Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey – USGS). O formato de disponibilização é GeoTIFF, em 16 bits sem sinal, com projeção cartográfica UTM em Datum WGS 84, e ortorretificadas com um erro circular de 20 metros (no intervalo de confiança de 90%).

Na classificação foram distinguidos oito usos de solo: Rochas, rodovias, pastagem e gramíneas, caatinga arbustiva, caatinga arbórea, mata nativa, vilarejos, superfícies de areia e barro. Após a classificação da imagem foi atribuído os valores das classes de rugosidade da Tabela 5, com contribuição de diversos autores.

Tabela 5 - Classes e alturas de rugosidade adotadas

Z0	Classes de Rugosidade	Z0Anual
0,0001	Oceano, Rios, Tanques de Criação, Pequenos Lagos	0,0001
0,001 – 0,01	Superfície de Areia/Barro	0,001
	Rochas Nuas	0,005
	Rodovias, Pista de Aeroportos, Superfícies Impermeabilizadas	0,01
0,05 – 0,15	Gramíneas	0,01
	Pastagem	0,03
0,1 – 0,3	Várzeas	0,1
	Mangue	0,3
0,15 – 0,3	Caatinga Arbustiva	0,15
	Caatinga Arbórea	0,3
0,4	Mata Nativa (Mata Atlântica)	0,4
0,5 – 1,0	Vilarejos	0,5
	Áreas Industriais, Subúrbios	0,8
	Áreas Urbanas Verticalizadas	1

Fonte: Autor, 2018

3.3.4 Série Temporal

Uma série temporal nada mais é do que uma série de dados (neste caso dados de velocidade do vento) de um determinado ponto na superfície terrestre durante um determinado período de tempo. Esses dados são de suma importância para o cálculo de produção dos aerogeradores, é através deles que se pode definir quais as áreas que possuem um maior potencial eólico. Desse modo, para garantir uma melhor representação da área de estudo foram extraídos 3 pontos da base de dados do Atlas Eólico e Solar de Pernambuco, que usou modelo atmosférico de mesoescala WRF (*Weather Research and Forecasting Model*), para as 3 áreas

de interesse. Através desses pontos foram extraídas as séries temporais de velocidade e direção do vento.

Ao final o arquivo da climatologia eólica observada da série temporal foi utilizado no software *WindPro*, juntamente com o MDT (topografia extraída a partir dos dados do PE-3D) e modelo digital de elevação (Rugosidade extraída a partir das imagens do LANDSAT-8, definida anteriormente), para que fosse possível o cálculo da PAE para as áreas de interesse.

3.3.5 Exclusões

3.3.5.1 Declividade

Como mencionado anteriormente a topografia do local é um dos fatores determinantes para a escolha da área onde serão instalados os aerogeradores. É através da topografia que é possível conhecer as declividades presentes na região de estudo. A partir do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), foram adquiridos os MDT para as áreas fora do estado de Pernambuco que não são contempladas pelo levantamento a laser PE-3D.

Após a aquisição das cartas, foi feita uma análise da declividade a partir do MDT através da função *slope* do software QGIS, tem-se como saída do arquivo raster, com informações de declividade. Os dados contidos no raster podem apresentar informações em graus ou em porcentagem. Para o trabalho em questão, adotou-se a declividade em porcentagem.

Após este procedimento, foi possível obter todas as áreas cujas declividades excederam 17%, visto que tais valores serão considerados como exclusões devido a possibilidade de provocar separação do escoamento do vento.

3.3.5.2 Rodovias e Ferrovias

A análise das rodovias e ferrovias foi feita através da identificação das rodovias nos arredores do projeto. Para definir as áreas de exclusão, foram identificadas as Rodovias Federais e Estaduais. Para tal, fez-se uso do *shapefile* disponível no Banco de Dados do Departamento de Estradas e Rodagem (DER) dos estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco, além dos dados do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT). A área de exclusão definida envolve a via propriamente dita, suas respectivas faixas de domínio e áreas *Non Aedificandi*.

3.3.5.3 Assentamentos e Comunidades Quilombolas

Como supracitado, o INCRA é a autarquia competente, na esfera federal, pela titulação dos territórios quilombolas e desapropriação de imóveis para fins de reforma agrária, e por este motivo os dados vetoriais em formato *shapefile* foram adquiridos junto ao INCRA. Para definir a exclusão foi levado em consideração o próprio limite do assentamento ou quilombo.

3.3.5.4 Áreas de Preservação Permanente e Unidade de Conservação

Dados vetoriais adquiridos junto ao I3GEO, onde a exclusão é o próprio limite da APP ou UC.

3.3.5.5 Sítios Arqueológicos

Para definir as exclusões dos sítios arqueológicos foram usados dados vetoriais adquiridos junto ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), onde a exclusão foi considerada a área de um Buffer de 300m a partir dos locais de ocorrência. Foi definido este raio pois as áreas de delimitação para sítios arqueológicos nem sempre podem ser definidas com precisão, além disso em revisão bibliográfica não foi encontrado um manual para tais áreas.

3.3.6 Mapa de vento

A principal fonte do recurso eólico, ou seja, a velocidade do vento foi extraída do banco de dados do Atlas Eólico e Solar de PE, que tem uma malha retangular maior que os limites do estado. Assim foi possível detectar-se potencial para exploração eólica em toda a extensão do PISF com um raio de 12 quilômetros no entorno dos Eixos.

O software utilizado para estimar a produção de energia foi o *WindPro*, licença disponibilizada pela empresa Aeroespacial LTDA. Ele está diretamente ligado ao software *WASP* (*Wind Atlas Analysis and Application Program*), o qual é responsável pelos cálculos dos resultados obtidos no *WindPro*. Caso não se tenha as medições do vento na altura das turbinas que se pretende instalar, o *WASP* realiza uma simulação através da extrapolação dos dados coletados em uma determinada região, para realizar o cálculo do potencial eólico de outro ponto desta mesma região (CALDAS, 2010). Os principais dados de entrada do *WindPro* são: (i) Série temporal dos dados do vento; (ii) Orografia (descrição do relevo); (iii) Obstáculos; (iv) Rugosidade; (v) Modelo de turbina eólica; (vi) Número de turbinas eólicas; (vii) Coordenadas da torre anemométrica; (viii) Altura de medição; (x) Mapas vetoriais de orografia; (xi) Mapas vetoriais de rugosidade; (xii) Modelo de obstáculos. Estes dados serão lidos pelo *WASP* para calcular suas estimações (CALDAS, 2010).

Os dados da série temporal do vento descritos no item 3.2.4 foram inseridos no *WindPro*. Utiliza-se um módulo especial no *WASP* (módulo Park) para calcular a estimativa de energia eólica gerada pelo parque. Como resultado, o *WindPro* formula um relatório com dados como a velocidade média do vento, a densidade do ar e o fator de capacidade do parque eólico. Ainda, ele apresenta gráficos da média da velocidade do vento por hora e uma rosa dos ventos com dados de direção e velocidade do vento (CALDAS, 2010).

A partir dos resultados obtidos, pode-se avaliar se o local proporcionou uma corrente de vento mínima para gerar potência nas turbinas eólicas. O próximo passo é definir o modelo da turbina eólica, a quantidade de turbinas partindo então para definição dos layouts.

A partir dos resultados da simulação foram extraídos pontos para as áreas previamente identificadas como potenciais (Áreas 01, 02 e 03).

3.3.7 Elaboração de Layouts

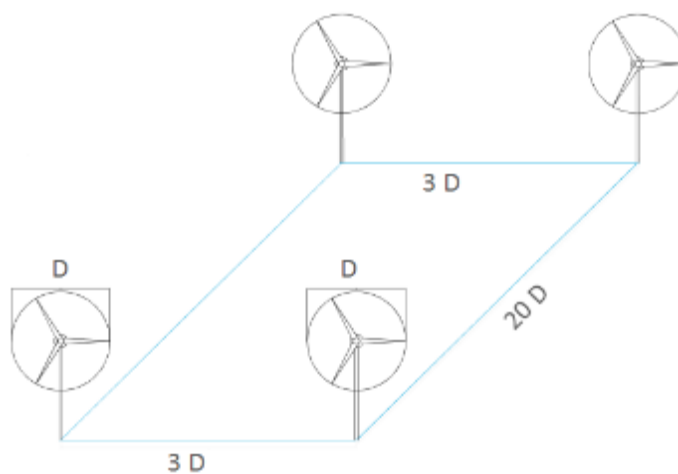
Levando em consideração as exclusões citadas nas áreas selecionadas, foram confeccionados os layouts (*micrositing*) para estimativa de máximo potencial instalável nas áreas. A disposição do layout dos aerogeradores foi feita em filas visando a diminuição dos custos elétricos e civis e buscando a direção predominante do vento, o que diminui os esforços de manobra.

Como ao passar pelas pás/rotor a extração de energia pelo vento faz com que este seja perturbado, criando uma zona de turbulência aerodinâmica corrente abaixo (esteira). Assim, para evitar-se problemas de eficiência da máquina e danos futuros por esforços não esperados, diminuindo a vida útil de pás e da caixa de engrenagem, os aerogeradores são colocados em fila, na direção predominante do vento, distantes o bastante para minimizar a chamada esteira.

Em eólica a distância entre um aerogerador e outro é medida em diâmetros de rotor. A separação lateral das turbinas também é relevante, uma vez que o vento muda de direção havendo necessidade de evitar a esteira em todas as direções. Como no Nordeste o vento predominante (>10% do tempo) é do quadrante Leste (nordeste/ leste/ sudeste) a distância lateral é minimizada para 2 a 3 diâmetros de rotor

No presente trabalho considerou-se uma distância conservadora de 3 diâmetros de rotor na lateral e no mínimo 20 diâmetros de rotor entre as filas, no sentido da direção predominante do vento. Considerando que o rotor tem um diâmetro de 150 e 132 metros, as distâncias mínimas adotadas entre as filas foram de 3.000 e 2.640 metros, respectivamente.

Figura 15 - Layout usado para a determinação do potencial eólico. 3D X 20 D (3 diâmetros de rotor na lateral e 20 diâmetros de rotor na direção do vento)



Fonte: Autor, 2018

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados de forma agrupada por subitem, onde estão evidenciados a análise de vento na região do empreendimento, a análise da radiação e temperatura do ar, que são os principais aspectos e por fim análise das áreas propícias para fonte solar, para fonte eólica e a energia gerada em cada um dos cenários.

4.1 ANÁLISE DO VENTO NA REGIÃO DO EMPREENDIMENTO

A base de mapas de modelagem e ajustes usados para a confecção do Atlas Eólico e Solar de PE foram expandidos para a área delimitada dos Eixos Norte e Leste do PSIF. A figura resultante para a estimativa de velocidade do vento a 100 metros de altura é apresentada abaixo. Vale destacar que para a calibração e verificação dos mapas de vento foram usados também várias torres de medição anemométrica com até 100 metros de altura. A figura de potencial eólico a seguir mostra que ao longo dos eixos do PISF o vento é, em geral fraco, com poucos pontos com velocidade acima de 6,5 m/s, o que ainda é baixa para os padrões de projetos eólicos no Brasil.

4.2 ANÁLISE DA RADIAÇÃO E TEMPERATURA DO AR

O mapeamento do potencial solar para a região do PISF seguiu os mesmos critérios de eólica: primeiramente, foram tomados os mapas da simulação do Atlas de PE; logo após os dados foram atualizados com a rede do INMET e dados de satélite Meteosat. O mapa de potencial para a região do PISF com um raio de até 12 km dos canais é mostrado a seguir. Destaca-se quase toda a área com radiação global horizontal (GHI) superior a 5,8 kWh/m²/ano, com exceção de uma pequena porção no Eixo Norte há mais de 8 km dos canais. Em resumo, a região do PISF tem matéria prima, a radiação solar, de qualidade e competitiva, para a exploração de geração de energia por fonte solar fotovoltaica

4.3 ANÁLISE DAS ÁREAS PROPÍCIAS

Seguindo a sequência de procedimentos metodológicos, os resultados da análise de áreas propícias são apresentados, a seguir levando em consideração as áreas limitadas pela faixa e de domínio do PISF e, para fonte eólica, um buffer de 5 quilômetros.

4.3.1 Solar

4.3.1.1 Sobre os Canais

Na delimitação da área útil a ser utilizada sobre os canais do Eixo Leste e do Eixo Norte considerou-se informações disponíveis na documentação do projeto e dados vetoriais. As informações foram confrontadas, afim de melhor delimitar a área útil para implantação dos painéis.

Para todo o canal, adotou-se as variações de largura de topo do canal de projeto, baseado em informações técnicas de projeto da estrutura do canal.

Como parte do processo de delimitação de área úteis sobre os canais, também foram consideradas possíveis exclusões como pontes, passarelas, aquedutos, estradas, túneis, reservatórios e áreas de elevada altitude a leste e oeste dos canais com declividade acima de 15%, devido ao sombreamento causado pelas mesmas.

Foram utilizadas informações vetoriais cedidas pelo cliente, acerca do percurso do canal, pontes, passarelas e reservatórios, porém houve a necessidade de ajustes realizado através da utilização de imagens de satélite e GIS para que pudesse ser feita uma análise mais precisa e melhor aproveitamento das áreas.

Iniciando-se pelo Eixo Leste, com variações de largura da abertura do canal como:

- Trecho V – $Q=28,00 \text{ m}^3/\text{s}$ – 15,10 m; e,
- Trecho V – $Q=18,00 \text{ m}^3/\text{s}$ – 12,93 m.

A tabela abaixo mostra as resultantes obtidas por trechos do Eixo Leste, o comprimento dos canais, o comprimento final após as exclusões contabilizadas e a área aproveitável para a instalação em hectares.

Tabela 6 - Área disponível sobre os canais para instalação de painéis fotovoltaicos – Eixo Leste

Eixo Leste – Trechos	Comprimento [km]		Área (ha)
	Total	Após Exclusões	
RES. ITA - EBV1	2,78	2,78	3,88
EBV1 - EBV2	9,14	9,12	12,68
EBV2 - EBV3	14,90	14,90	20,67
EBV3 - EBV 4	54,38	52,84	73,48
EBV4 - EBV 5	60,95	60,95	84,59
EBV5 - EBV6	4,76	4,76	6,60
EBV6 - AP	45,02	30,36	42,24
Total	191,93	175,71	244,1653

Fonte: Autor, 2018

Para o Eixo Norte, as variações de largura da abertura do canal no topo usadas em função da vazão, declividade, lâmina d'água, borda livre, taludes e tipo de revestimento, foram:

- Trecho I – $Q=99,0 \text{ m}^3/\text{s}$ – 23,97 m
- Trecho II – $Q=89,00 \text{ m}^3/\text{s}$ – 23,04 m
- Trecho II – $Q=83,73 \text{ m}^3/\text{s}$ - 22,74 m
- Trecho II – $Q=53,48 \text{ m}^3/\text{s}$ – 24,25 m e no final do eixo 26,95 m (trecho não utilizado).

Tabela 7 - Área disponível sobre os canais para instalação de painéis fotovoltaicos – Eixo Norte

Eixo Norte - Trechos	Comprimento [km]		Área (ha)
	Total	Após Exclusões	
SF - EBI1	2,34	2,34	5,34
EBI1 - EBI2	42,71	40,97	92,91
EBI2 - EBI3	24,32	24,32	54,92
EBI3 - RES. JATI	41,51	41,19	89,52
RES. JATI - RES ATALHO	1,30	1,30	2,74
RES. ATALHO - RIO P. AÇU	72,10	56,13	122,13
Total	181,94	166,25	367,56

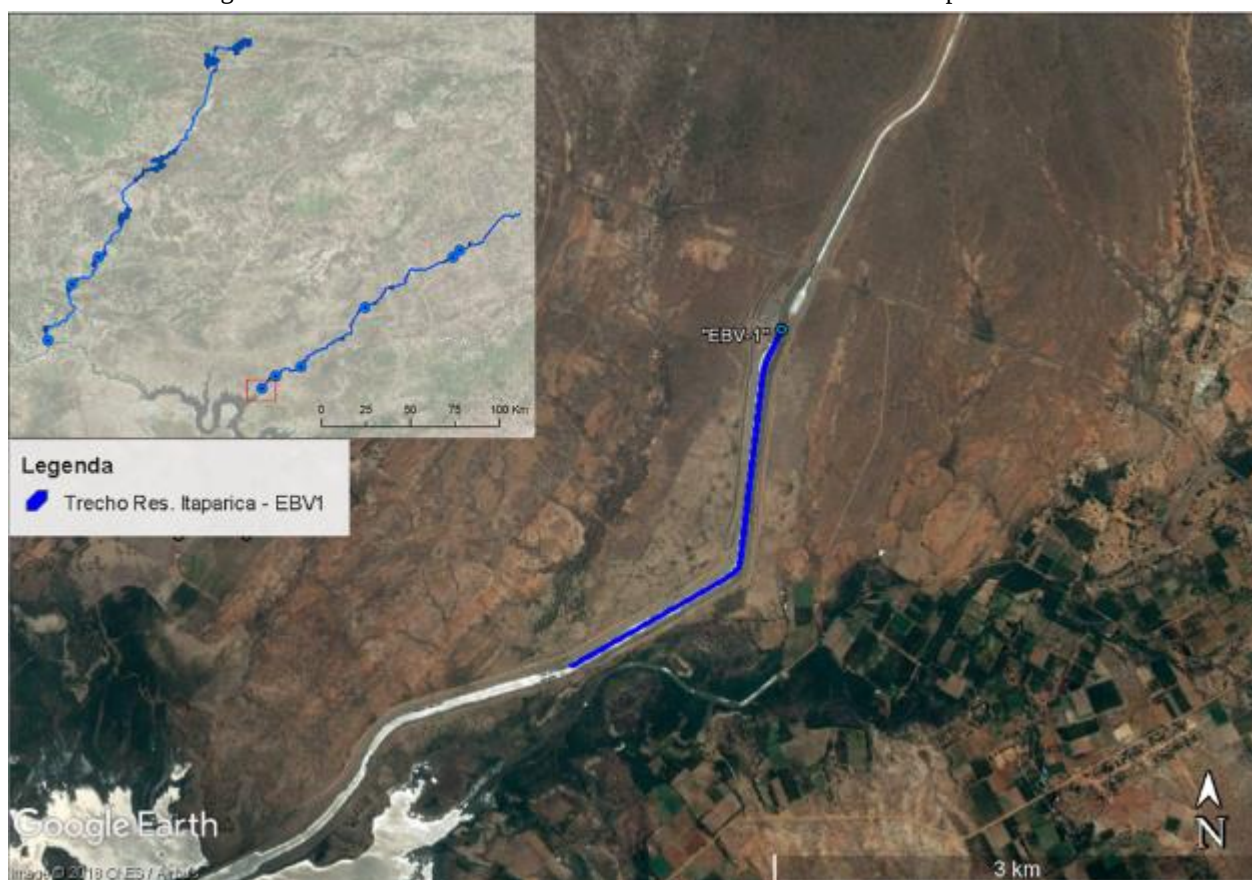
Fonte: Autor, 2018

As áreas úteis, após exclusões foram utilizadas como áreas propícias para a simulação energética com os painéis fotovoltaicos em estruturas fixas sobre o canal.

4.3.1.1.1 Trecho Reservatório Itaparica – EBV1 – Eixo Leste

O trecho que percorre o canal desde o Reservatório Itaparica até a estação de bombeamento EBV1 pode ser observado através da Figura abaixo - Eixo Leste - Trecho entre a EBV1 e o Reservatório Itaparica.

Figura 16 - Eixo Leste - Trecho entre a EBV1 e o Reservatório Itaparica



Fonte: Autor, 2018

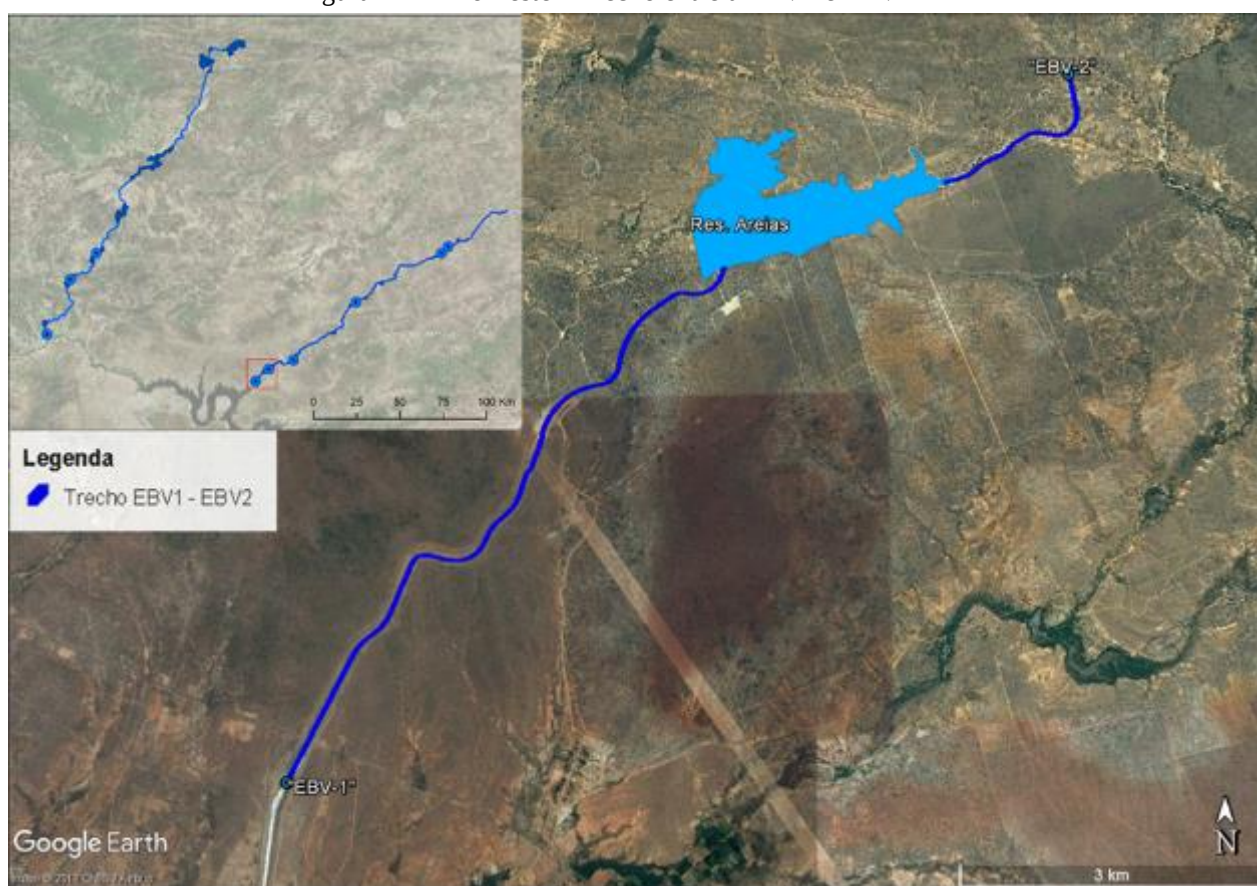
O trecho Reservatório Itaparica – EBV1 possui um total de 2,78 km de extensão e um comprimento útil de 2,2 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 2,0 MW.

Como este trecho está mais próximo da subestação E1, e a mesma possui capacidade de escoamento maior do que 2,0 MW, como mostrado no capítulo 2, é possível escoar essa geração nas redes de 6,9 kV ou na rede de 230 kV, considerando a etapa inicial e final do projeto. Devido a subestação E1 não possuir barramento de 69 kV, não é possível escoar geração neste nível de tensão.

4.3.1.1.2 Trecho EBV1 – EBV2 – Eixo Leste

O trecho que percorre o canal desde a estação de bombeamento EBV1 até a estação de bombeamento EBV2 pode ser observado através da Figura abaixo - Eixo Leste - Trecho entre a EBV1 e EBV2.

Figura 17 - Eixo Leste - Trecho entre a EBV1 e EBV2



Fonte: Autor, 2018

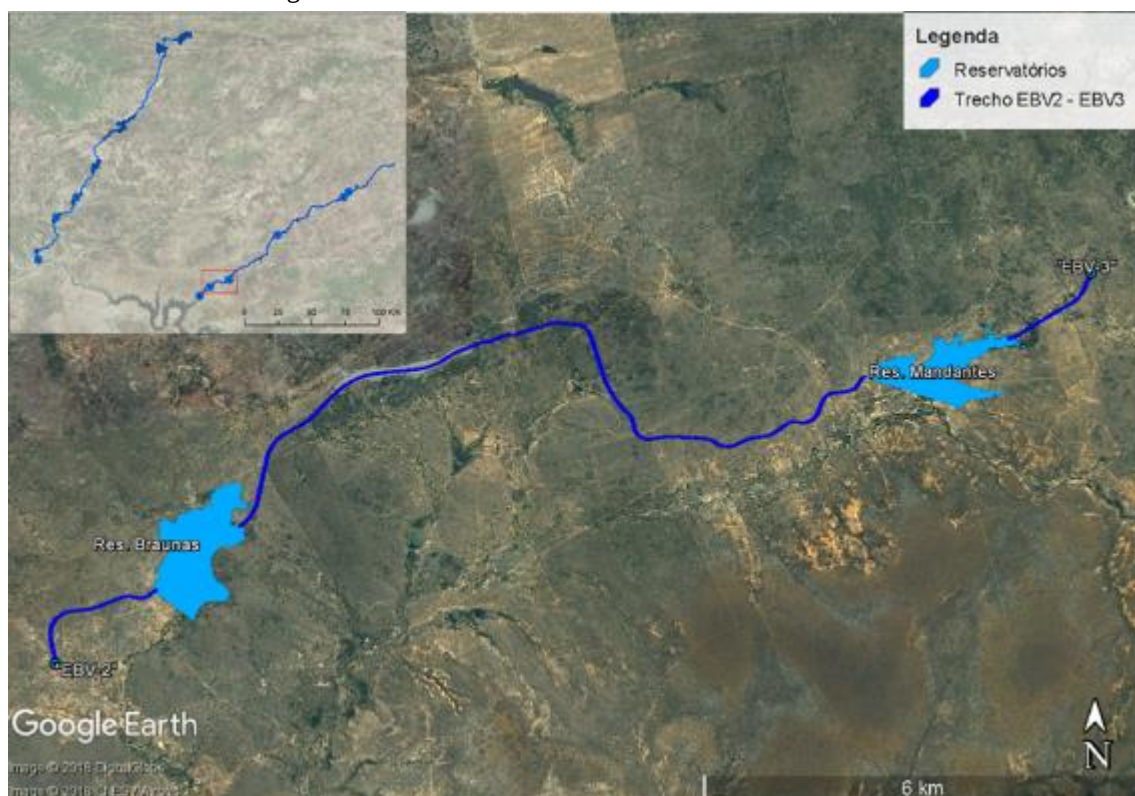
O trecho EBV1- EBV2 possui um total de 9,1 km de extensão e um comprimento útil de 7,3 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 7,0 MW.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação E1 como na E2, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV ou em 230 kV é possível escoar 7 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto.

4.3.1.1.3 Trecho EBV2 – EBV3 – Eixo Leste

O trecho que percorre o canal desde a estação de bombeamento EBV2 até a estação de bombeamento EBV3 pode ser observado através da Figura abaixo - Eixo Leste - Trecho entre a EBV2 e EBV3.

Figura 18 - Eixo Leste - Trecho entre a EBV2 e EBV3



Fonte: Autor, 2018

O trecho EBV2- EBV3 possui um total de 14,9 km de extensão e um comprimento útil de 11,9 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 12,0 MW.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação E2 como na E3, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 6 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 12 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. A limitação do escoamento em 6,9 kV ocorre devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.1.4 Trecho EBV3 – EBV4 – Eixo Leste

O trecho que percorre o canal desde a estação de bombeamento EBV3 até a estação de bombeamento EBV4 pode ser observado através da Figura abaixo - Eixo Leste - Trecho entre a EBV3 e EBV4.

Figura 19 - Eixo Leste - Trecho entre a EBV3 e EBV4



Fonte: Autor, 2018

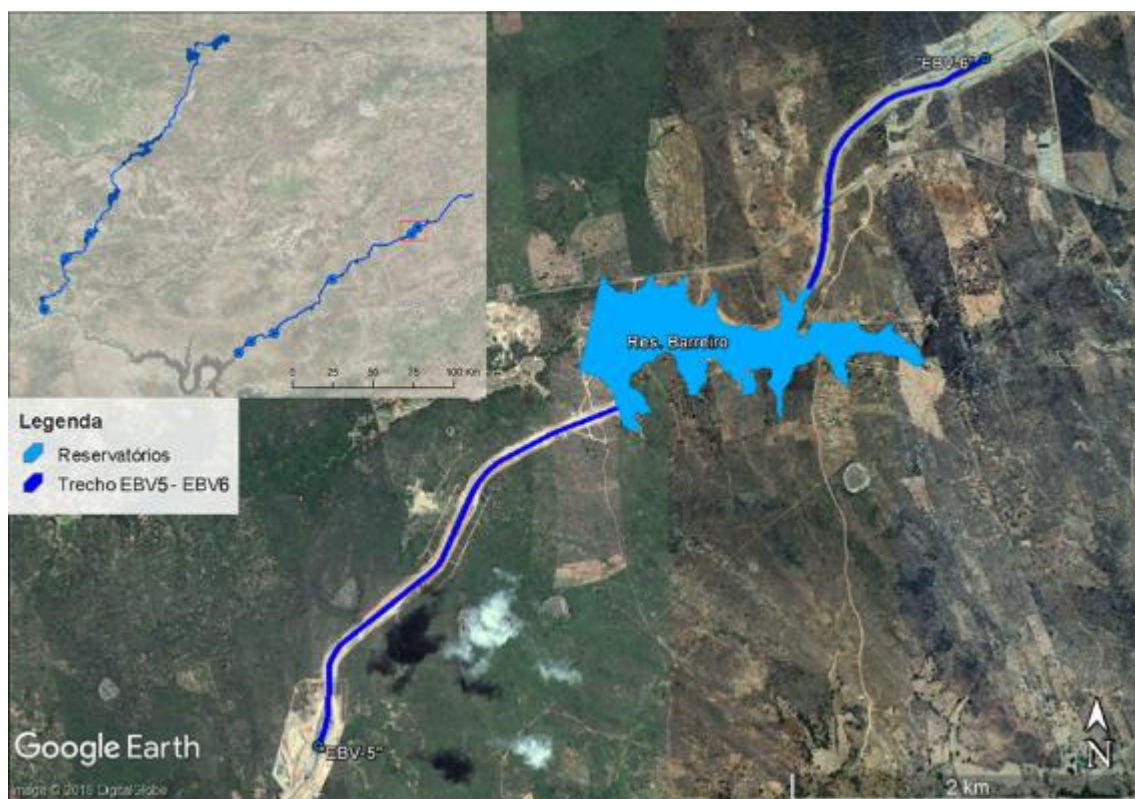
O trecho EBV3 - EBV4 possui um total de 54,4 km de extensão e um comprimento útil de 42,3 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 46,0 MW.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação E3 como na E4, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV ou 230 kV, como mostrado no Capítulo II. Em 6,9 kV é possível escoar 6,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 44,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. A limitação do escoamento em 6,9 kV ocorre devido às perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.1.5 Trecho EBV4 – EBV5 – Eixo Leste

O trecho que percorre o canal desde a estação de bombeamento EBV4 até a estação de bombeamento EBV5 pode ser observado através da Figura abaixo - Eixo Leste - Trecho entre a EBV4 e EBV5.

Figura 20 - Eixo Leste - Trecho entre a EBV4 e EBV5



Fonte: Autor, 2018

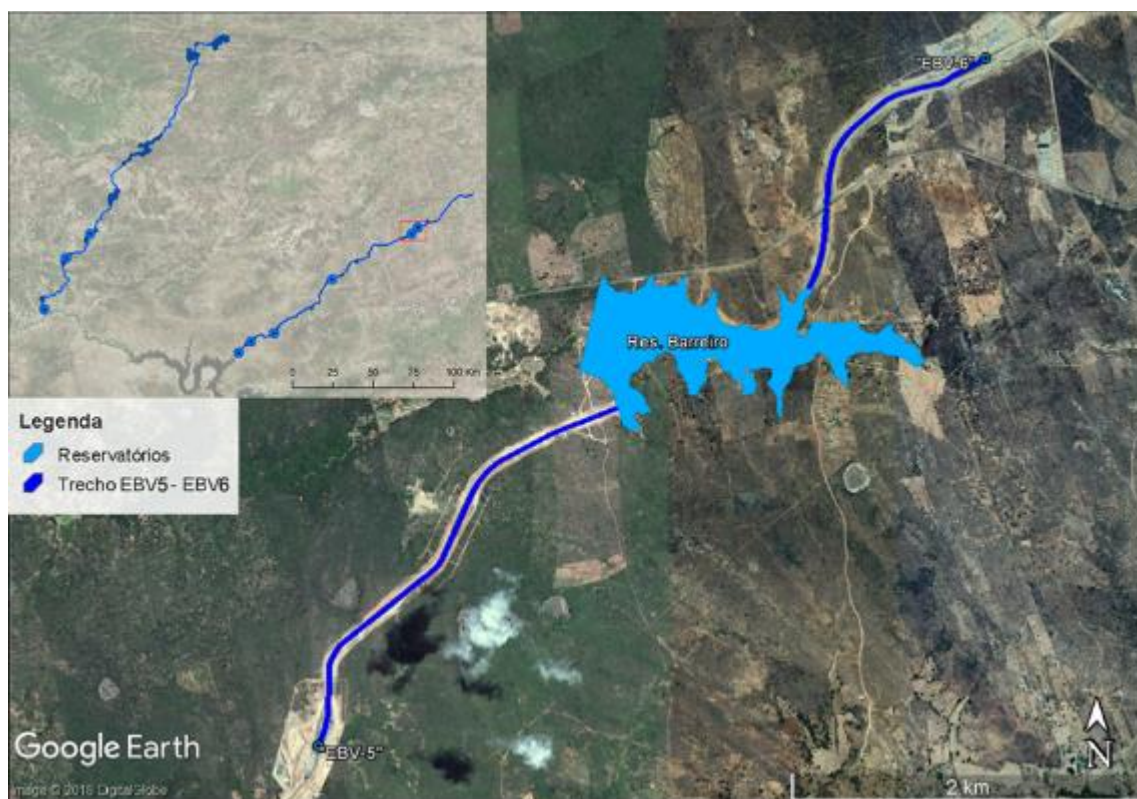
O trecho EBV4- EBV5 possui um total de 61,0 km de extensão e um comprimento útil de 48,8 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 53,0 MW.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação E4 como na E5, na subestação E4 é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV ou 230 kV, já na subestação E5 é possível escoar geração nos níveis de tensão 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV como mostrado no Capítulo II. Em 6,9 kV é possível escoar 5,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Em 69 kV é possível escoar 26,0 MW em ambas as etapas do projeto, a potência foi limitada pela capacidade de geração do trecho mais próximo da SE E5, pois apenas nesta subestação existe transformador 69/230 kV. Já em 230 kV é possível escoar 44,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. A limitação do escoamento em 6,9 kV ocorre devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.1.6 Trecho EBV5 –EBV6 – Eixo Leste

O trecho que percorre o canal desde a estação de bombeamento EBV5 até a estação de bombeamento EBV6 pode ser observado através da Figura 21 - Eixo Leste - Trecho entre a EBV5 e EBV6.

Figura 21 - Eixo Leste - Trecho entre a EBV5 e EBV6



Fonte: Autor, 2018

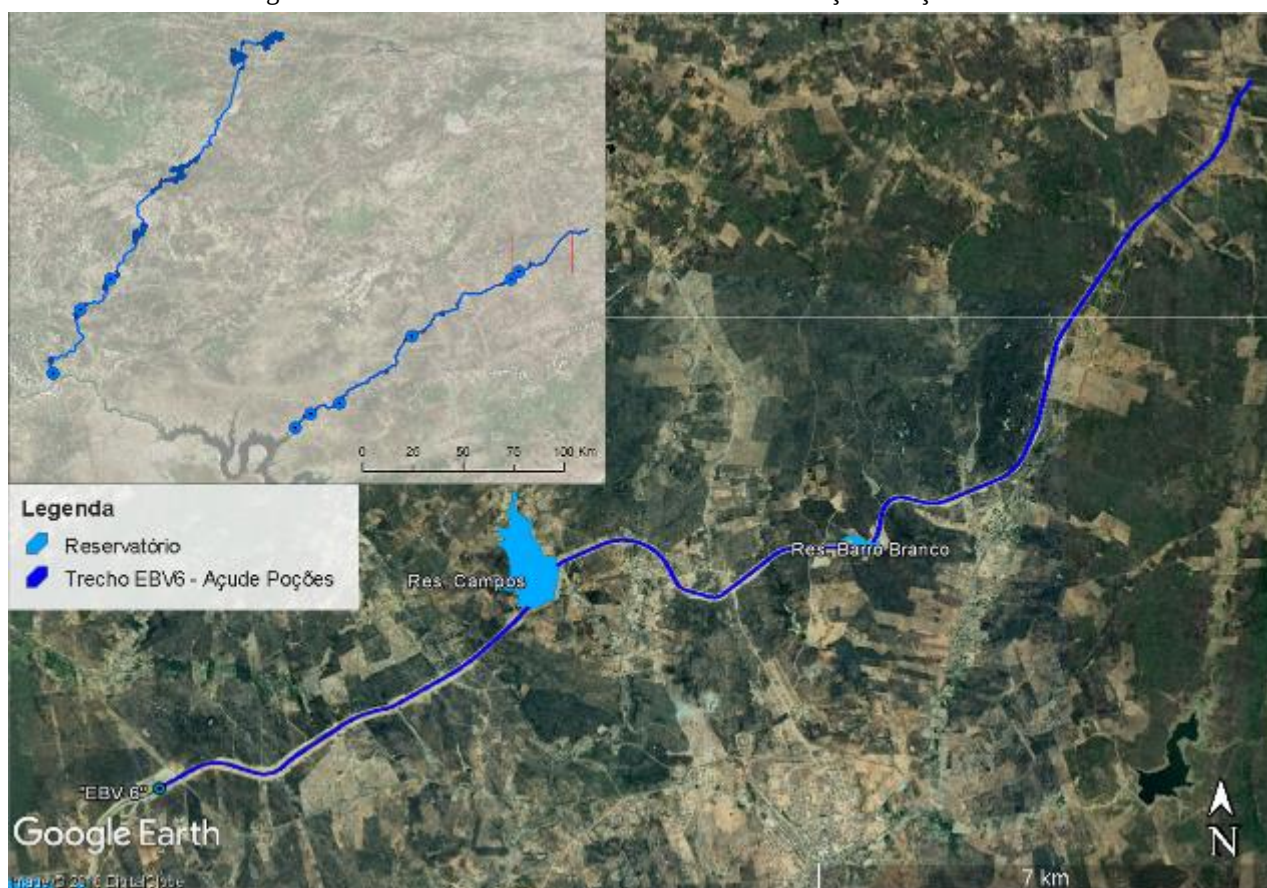
O trecho EBV5 - EBV6 possui um total de 4,8 km de extensão e um comprimento útil de 3,8 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 3,0 MW.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação E5 como na E6, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV, como mostrado no Capítulo II. É possível escoar 3,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto nas redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV.

4.3.1.1.7 Trecho EBV6 – Açude Poções – Eixo Leste

O trecho que percorre o canal desde a estação de bombeamento EBV6 até a o Açude Poções pode ser observado através da Figura abaixo - Eixo Leste - Trecho entre a EBV6 e o Açude Poções.

Figura 22 - Eixo Leste - Trecho entre a EBV6 e o Açude Poções



Fonte: Autor, 2018

O trecho EBV6 - Açude Poções possui um total de 45,0 km de extensão e um comprimento útil de 24,3 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 27,0 MW.

Neste trecho será possível escoar a geração na subestação E6, nesta subestação é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 1,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Em 69 kV é possível escoar 27,0 MW em ambas as etapas do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 22,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Salienta-se que a geração escoada em 230 kV é limitada pelos condutores de 34,5 kV, é necessária a existência de uma rede intermediária de 34,5 kV, pois não são fabricantes transformadores de 0,55/230 kV, por esse motivo, neste trecho, é possível escoar mais geração em 69 kV. A limitação do escoamento em 6,9 kV ocorre devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

Figura 23 - Eixo Leste - Trecho entre a SF

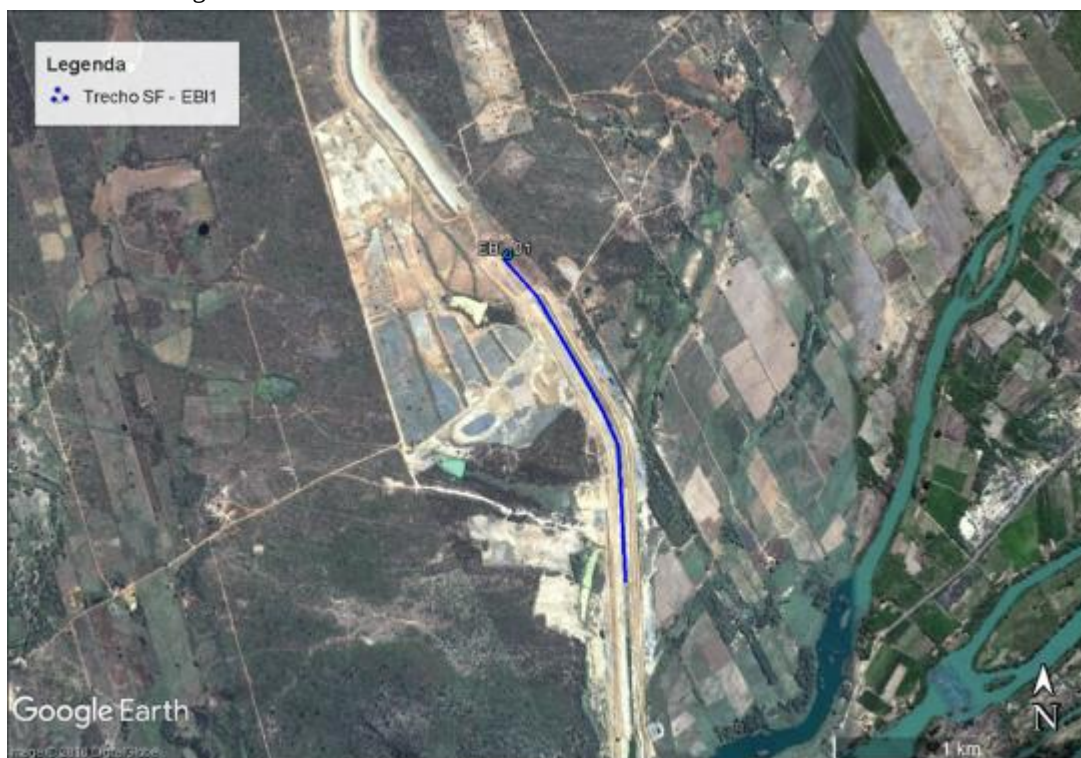


Fonte: Autor, 2018

4.3.1.1.8 Trecho Rio São Francisco – EBI1 – Eixo Norte

O trecho que percorre o canal desde o Rio São Francisco até a estação de bombeamento EBI1 pode ser observado através da Figura abaixo - Eixo Norte - Trecho entre o Rio São Francisco e EBI1.

Figura 24 - Eixo Norte - Trecho entre o Rio São Francisco e EBI1



Fonte: Autor, 2018

O trecho Rio São Francisco - EBI1 possui um total de 2,3 km de extensão e um comprimento útil de 1,9 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 2,0 MW.

Como este trecho está mais próximo da subestação N1, e a mesma possui capacidade de escoamento maior do que 2,0 MW, é possível escoar essa geração nas redes de 6,9 kV ou na rede de 230 kV, considerando a etapa inicial e final do projeto. Devido a subestação N1 não possuir barramento de 69 kV, não é possível escoar geração neste nível de tensão.

4.3.1.1.9 Trecho EBI1 – EBI2 – Eixo Norte

O trecho que percorre o canal desde a estação de bombeamento EBI1 até a estação de bombeamento EBI2 pode ser observado através da Figura abaixo - Eixo Norte - Trecho entre o EBI1 e EBI2.

Figura 25 - Eixo Norte - Trecho entre o EBI1 e EBI2



Fonte: Autor, 2018

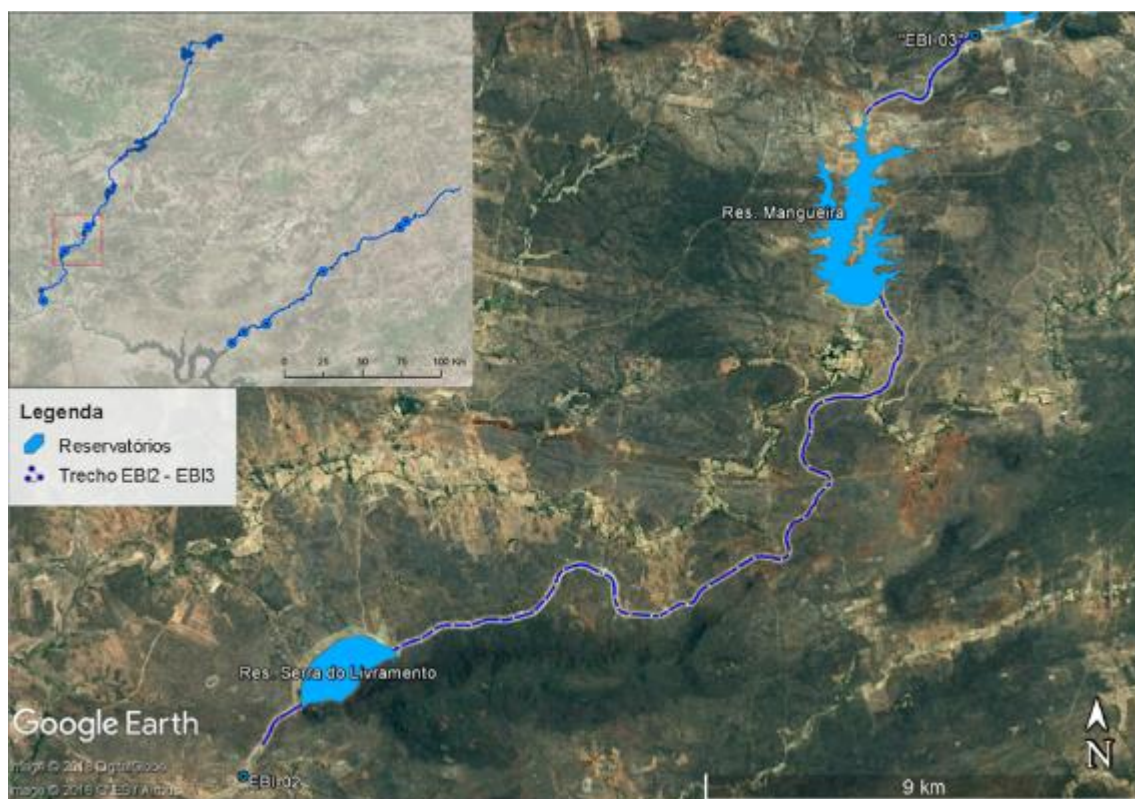
O trecho EBI1 – EBI2 possui um total de 42,7 km de extensão e um comprimento útil de 32,8 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 42,0 MW.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação N1 como na N2, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV ou 230 kV, como mostrado no Capítulo II. Em 6,9 kV é possível escoar 4,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 36,0 MW, em ambas as etapas do projeto. As limitações do escoamento em 6,9 kV e em 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.1.10 Trecho EBI2 – EBI3 – Eixo Norte

O trecho que percorre o canal desde a estação de bombeamento EBI2 até a estação de bombeamento EBI3 pode ser observado através da Figura abaixo - Eixo Norte - Trecho entre o EBI2 e EBI3.

Figura 26 - Eixo Norte - Trecho entre o EBI2 e EBI3



Fonte: Autor, 2018

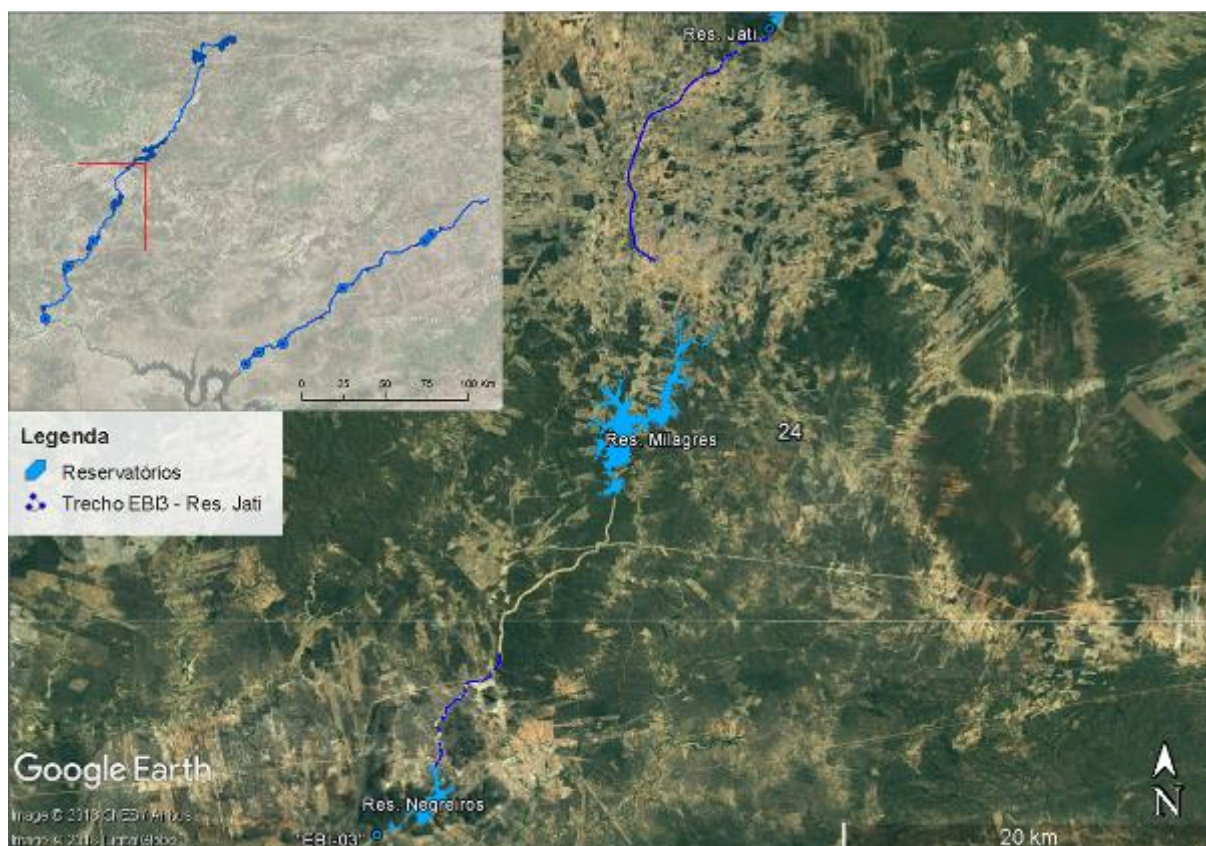
O trecho EBI2 – EBI3 possui um total de 24,3 km de extensão e um comprimento útil de 19,5 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 41,0 MW.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação N2 como na N3, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 4,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Em 69 kV é possível escoar 7,5 MW, em ambas as etapas do projeto. A limitação em 69 kV ocorre devido a capacidade de transformação do transformador do SE N3. Já em 230 kV é possível escoar 36,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. As limitações do escoamento em 6,9 kV e em 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.1.11 Trecho EBI3 – Reservatório Jati – Eixo Norte

O trecho que percorre o canal desde a estação de bombeamento EBI3 até Reservatório Jati pode ser observado através da Figura 27 - Eixo Norte - Trecho entre EBI3 e o Reservatório Jati.

Figura 27 - Eixo Norte - Trecho entre EBI3 e o Reservatório Jati



Fonte: Autor, 2018

O trecho EBI3 – Reservatório Jati possui um total de 41,5 km de extensão e um comprimento útil de 33,0 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 32,0 MW.

Neste trecho será possível escoar a geração na subestação N3, nesta subestação é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV, como mostrado no Capítulo II. Em 6,9 kV é possível escoar 2,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Em 69 kV é possível escoar 7,5 MW em ambas as etapas do projeto. A limitação em 69 kV ocorre devido a capacidade de transformação do transformador do SE N3. Já em 230 kV é possível escoar 32,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. As limitações do escoamento em 6,9 kV e em 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.1.12 Trecho Reservatório Jati – Reservatório Atalho – Eixo Norte

O trecho que percorre o canal desde o Reservatório Jati até Reservatório Atalho pode ser observado através da Figura abaixo - Eixo Norte - Trecho entre o Reservatório Jati e o Reservatório Atalho.

Figura 28 - Eixo Norte - Trecho entre o Reservatório Jati e o Reservatório Atalho



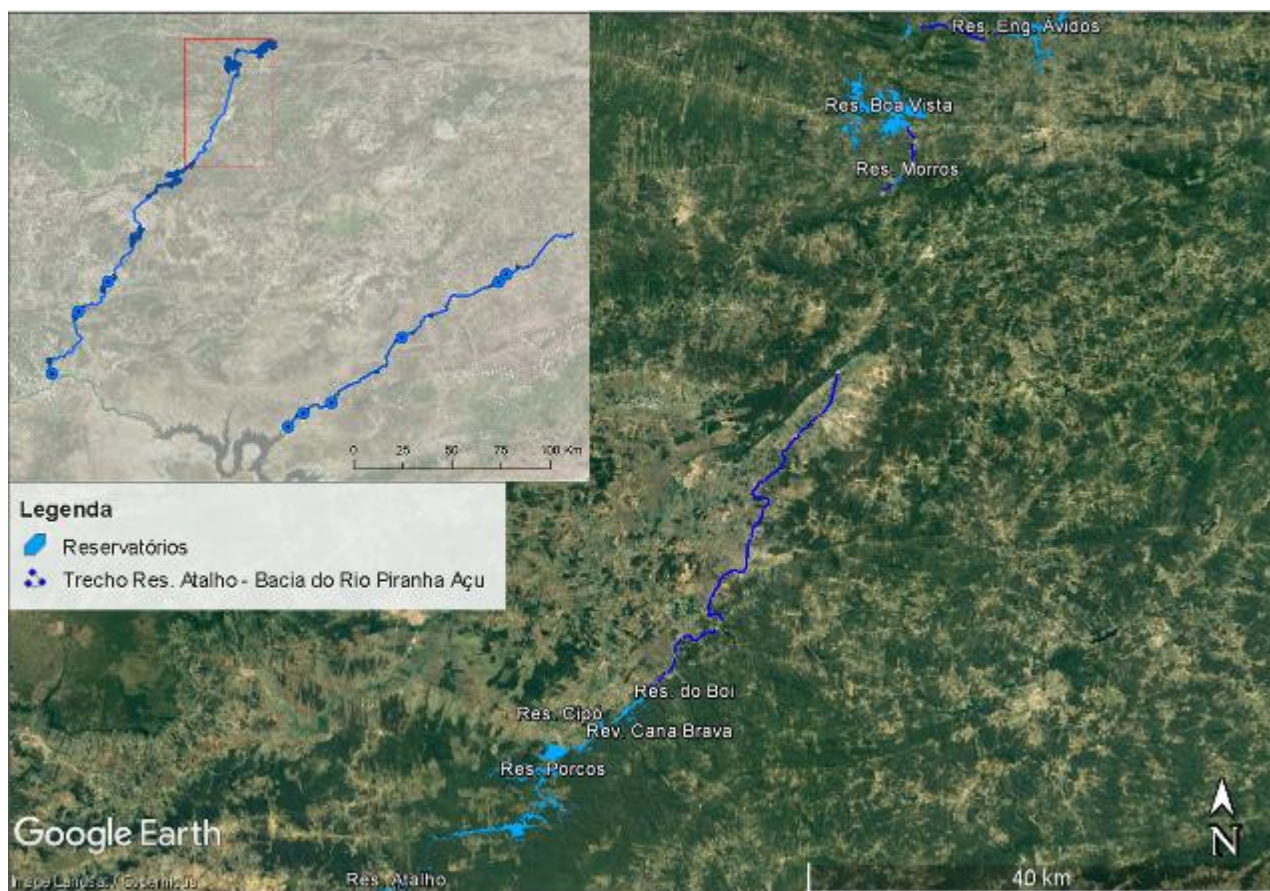
Fonte: Autor, 2018

O trecho Reservatório Jati – Reservatório Atalho não possui área útil para produção de energia fotovoltaica.

4.3.1.1.13 Trecho Reservatório Atalho – Rio Piranha-Açu – Eixo Norte

O trecho que percorre o canal desde o reservatório Atalho até o Rio Piranha-Açu pode ser observado através da Figura 29 - Eixo Norte - Trecho entre o Reservatório Atalho e o Rio Piranha-Açu.

Figura 29 - Eixo Norte - Trecho entre o Reservatório Atalho e o Rio Piranha-Açu



Fonte: Autor, 2018

O trecho Reservatório Atalho – Rio Piranha-Açu possui um total de 72,1 km de extensão e um comprimento útil de 44,9 km. A partir dos valores de extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 68,0 MW.

Neste trecho será possível escoar a geração na subestação N3, nesta subestação é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV não é possível escoar a geração devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores. Em 69 kV não é possível escoar geração, pois o transformador da SE N3 limita a potência em 15 MW e foi priorizado escoar a geração dos trechos anteriores pois as perdas ôhmicas são menores. Já em 230 kV é possível escoar 22,0 MW, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. A limitação do escoamento em 230 kV ocorre devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.1.14 Resumo dos resultados encontrados

Tabela 8- Resumo do escoamento da geração fotovoltaica para a alternativa sobre os canais

Trecho	Estações de Bombeamento	Potencial (MW)	Escoamento pelos trafos de 6,9/230 kV (MW)	Escoamento pelos trafos de 69/230 kV (MW)	Escoamento pela rede 230 kV com PCHs – Etapa I (MW)	Escoamento pela rede 230 kV com PCHs – Etapa II (MW)
Alternativa sobre os canais	Rio São Francisco - EBI1	2,0	2,0	0,0	2,0	2,0
	EBI1 - EBI2	42,0	4,0	0,0	36,0	36,0
	EBI2 - EBI3	41,0	4,0	7,5	36,0	36,0
	EBI3 - Reservatório Jati	32,0	2,0	7,5	32,0	32,0
	Reservatório Jati - Reservatório Atalho	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Reservatório Atalho - Rio Piranha-Açu	68,0	0,0	0,0	22,0	22,0
	Reservatório Itaparica - EBV1	2,0	2,0	0,0	2,0	2,0
	EBV1 - EBV2	7,0	7,0	0,0	7,0	7,0
	EBV2 - EBV3	12,0	6,0	0,0	12,0	12,0
	EBV3 - EBV4	46,0	6,0	0,0	44,0	44,0
	EBV4 - EBV5	53,0	5,0	26,0	44,0	44,0
	EBV5 - EBV6	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	EBV6 - Açude Poções	27,0	1,0	27,0	22,0	22,0
	Total	335,0	42,0	71,0	262,0	262,0

Fonte: Autor, 2018

4.3.1.2 Entorno dos canais

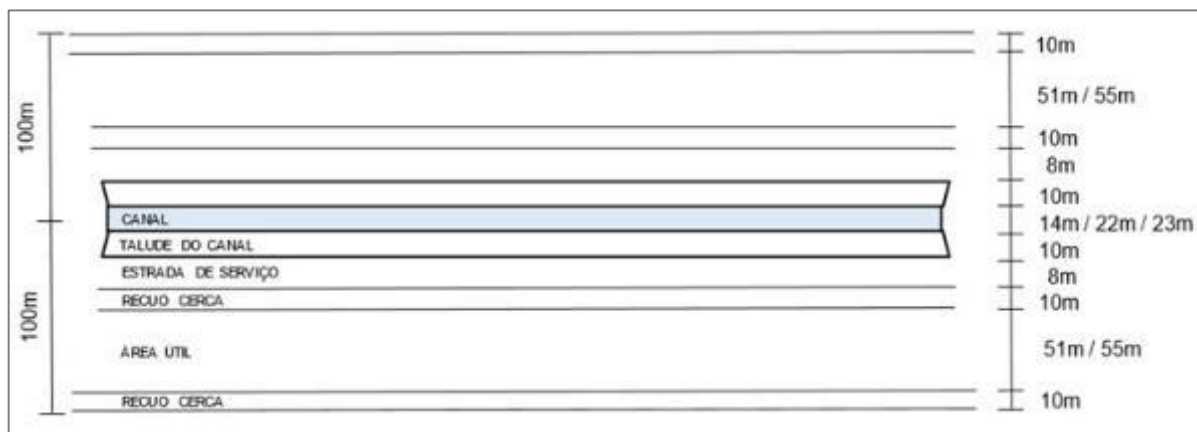
Para a delimitação da área propícia à instalação de usina fotovoltaica na região antropizada ao longo dos canais e pertencente ao PISF, foi considerada a área de 100 metros para cada lado, partindo do eixo central do canal conforme delimitação citada anteriormente. No interior dos 100 metros, foram consideradas como exclusões para ambos os lados:

- Os taludes do canal (declividade da borda do canal),
- Estradas de serviço do canal,
- Cerca de proteção dos painéis,
- Estradas que cortam o canal,
- Pontes, túneis, bueiros (diretamente ligados as drenagens); e,
- Áreas próximas, com declividade acima de 15% e elevadas altitudes que possam vir a causar o sombreamento dos painéis.

Também foi identificada uma linha de distribuição de 13,8 kV que percorre ambos os eixos, e que que determinados pontos, ocupa a área útil a ser utilizada pelos painéis. Para isso foi atribuída uma faixa de servidão de 5 metros de cada lado, partindo do eixo central da linha. Essa área foi deduzida do total de áreas úteis para a implantação de painéis no entorno dos canais, reduzindo em 2,35% da área anteriormente calculada sem considerar a linha de distribuição.

A ilustração a seguir mostra como a área útil para o entorno dos canais foi calculada. Importante salientar que já foi feita a provisão de uma cerca de proteção da infraestrutura da Usina Fotovoltaica (UFV) e o recuo necessário para evitar-se sombreamento nos módulos fotovoltaicos.

Figura 30 – Ilustração do traçado de área útil no entorno dos canais



Fonte: Autor, 2018

Considerando as exclusões mencionadas a área para o Eixo Leste é mostrada na tabela abaixo. Novamente, para facilitar a análise de potencial energético foi feita a segmentação de cada eixo (canal) em trechos. Uma segmentação utilizou as estações de bombeamento e alguns reservatórios como divisor, e uma outra segmentação foi feita considerando um ponto médio entre as estações de bombeamento (EB).

Tabela 9 – Área propícia para UFVs no entorno dos canais do PSIF – Eixo Leste

Eixo Leste – Trechos	Área [ha]			Comprimento (km)		
	Total	A norte da EB	Ao Sul da EB	Total	A norte da EB	Ao Sul da EB
EBV1	86,22	55,6	30,6	7,66	4,95	2,71
EBV2	104,76	63,3	41,4	9,12	5,58	3,54
EBV3	303,59	258,2	45,4	26,50	22,69	3,80
EBV4	514,08	238,6	275,5	44,23	20,65	23,59
EBV5	276,42	29,7	246,7	24,29	2,65	21,65
EBV6	300,82	278,3	22,5	26,87	24,95	1,91
Total	1585,9			138,7		

Fonte: Autor, 2018

O mesmo procedimento foi aplicado ao Eixo Norte que tem como resultante a área informada na tabela a seguir.

Tabela 10 – Área propícia para UFVs no entorno dos canais do PSIF – Eixo Norte

Eixo Norte – Trechos	Área [ha]			Comprimento (km)		
	Total	A norte da EB	Ao Sul da EB	Total	A norte da EB	Ao Sul da EB
EBI1	175,59	13,93	20,83	19,44	1,39	175,59
EBI2	89,63	206,92	28,57	18,84	9,73	89,63
EBI3	64,14	107,94	16,05	6,4	9,65	64,14
RES. JATI	0	164,29	16,15	0	16,15	0
RES. ATALHO	491,68	0	46,97	46,97	0	491,68
Total	1314,14			128,57		

Fonte: Autor, 2018

4.3.1.2.1 Trecho Reservatório Itaparica – EBV1 – Eixo Leste

O trecho possui um total de 2,78 km de extensão e uma área útil de 35,4 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 18,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 18,0 MW utilizando estrutura fixa.

Como este trecho está mais próximo da subestação E1, é possível escoar essa geração nas redes de 6,9 kV ou na rede de 230 kV, como mostrado no capítulo II. Em 6,9 kV é possível escoar 8,0 MW utilizando ou não estruturas de seguidores, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 18,0 MW utilizando ou não estruturas com seguidor

e em ambas etapas do projeto. A limitação do escoamento em 6,9 kV ocorre devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.2 Trecho EBV1 – EBV2 – Eixo Leste

O trecho possui um total de 9,14 km de extensão e uma área útil de 92,3 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 54,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 60,0 MW utilizando estrutura fixa.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação E1 como na E2, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 16,0 MW provenientes da geração deste trecho, em estruturas com e sem seguidor tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 54,0 MW utilizando estruturas com seguidor e sem seguidor e em ambas etapas do projeto. A limitação do escoamento em 6,9 kV ocorre devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.3 Trecho EBV2 – EBV3 – Eixo Leste

O trecho possui um total de 14,9 km de extensão e uma área útil de 108,7 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 60,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 66,0 MW utilizando estrutura fixa.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação E2 como na E3, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV, ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 12,0 MW, com e sem seguidor tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 42,0 MW utilizando estruturas com seguidor e em ambas etapas do projeto e 42,0 MW utilizando estruturas sem seguidor e em ambas etapas do projeto. As limitações do escoamento em 6,9 kV e 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.4 Trecho EBV3 – EBV4 – Eixo Leste

O trecho possui um total de 54,4 km de extensão e uma área útil de 533,7 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 306,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 336,0 MW utilizando estrutura fixa.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação E3 como na E4, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível

escoar 8,0 MW, com e sem seguidor tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 44,0 MW utilizando estruturas com seguidor e em ambas etapas do projeto e 44,0 MW utilizando estruturas sem seguidor e em ambas etapas do projeto. As limitações do escoamento em 6,9 kV e 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.5 Trecho EBV4 – EBV5 – Eixo Leste

O trecho possui um total de 60,9 km de extensão e uma área útil de 485,4 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 280,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 308,0 MW utilizando estrutura fixa.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação E4 como na E5, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 8,0 MW, com e sem seguidor tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Em 69 kV não é possível escoar geração, pois o transformador da SE E5 limita a potência em 36 MW e foi priorizado escoar a geração dos trechos anteriores pois as perdas ôhmicas são menores. Já em 230 kV é possível escoar 44,0 MW utilizando estruturas com seguidor e em ambas etapas do projeto e 44,0 MW utilizando estruturas sem seguidor e em ambas etapas do projeto. As limitações do escoamento em 6,9 kV e 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.6 Trecho EBV5 – EBV6 – Eixo Leste

O trecho possui um total de 4,8 km de extensão e uma área útil de 52,2 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 28,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 30,0 MW utilizando estrutura fixa.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação E5 como na E6, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 6,0 MW, com e sem seguidor tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Em 69 kV é possível escoar 28,0 MW utilizando estruturas com ou sem seguidor, em ambas as etapas do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 28,0 MW utilizando estruturas com seguidor e em ambas etapas do projeto e 28,0 MW utilizando estruturas sem seguidor e em ambas etapas do projeto. As limitações do escoamento em 6,9 kV e 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.7 Trecho EBV6 – Açude Poções – Eixo Leste

O trecho possui um total de 45,0 km de extensão e uma área útil de 278,3 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 166,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 182,0 MW utilizando estrutura fixa.

Neste trecho será possível escoar a geração SE E6, nesta subestação é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 4,0 MW, com e sem seguidor tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Em 69 kV é possível escoar 28,0 MW utilizando estruturas com ou sem seguidor, em ambas as etapas do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 21,0 MW utilizando estruturas com seguidor e em ambas etapas do projeto e 21,0 MW utilizando estruturas sem seguidor e em ambas etapas do projeto. As limitações do escoamento em 6,9 kV e 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.8 Trecho Rio São Francisco – EBI1 – Eixo Norte

O trecho possui um total de 2,34 km de extensão e uma área útil de 13,9 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 8,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 10,0 MW utilizando estrutura fixa.

Neste trecho será possível escoar a geração na SE N1, nesta subestação é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 8,0 MW, com e sem seguidor tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 8,0 MW utilizando estruturas com seguidor e em ambas etapas do projeto e 10,0 MW utilizando estruturas sem seguidor e em ambas etapas do projeto. A limitação do escoamento em 6,9 kV ocorre devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.9 Trecho EBI1 – EBI2 – Eixo Norte

O trecho possui um total de 42,7 km de extensão e uma área útil de 382,5 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 252,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 278,0 MW utilizando estrutura fixa.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação N1 como na N2, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 12,0 MW com seguidor e 12 MW sem seguidor, tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 71,0 MW e 44,0 MW utilizando estruturas com

seguidor e nas Etapa I e II respectivamente, utilizando estruturas sem seguidores é possível escoar 88,0 MW e 59,0 MW nas Etapa I e II respectivamente. As limitações do escoamento em 6,9 kV e 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.10 Trecho EBI2 – EBI3 – Eixo Norte

O trecho possui um total de 24,3 km de extensão e uma área útil de 197,6 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 128,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 140,0 MW utilizando estrutura fixa.

Neste trecho será possível escoar a geração tanto na subestação N2 como na N3, nestas subestações é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 16,0 MW, com e sem seguidor tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Em 69 kV é possível escoar 7,5 MW utilizando estruturas com ou sem seguidor, em ambas as etapas do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 66,0 MW e 45,0 MW utilizando estruturas com seguidor e nas Etapa I e II respectivamente, utilizando estruturas sem seguidores é possível escoar 66,0 MW e 44,0 MW nas Etapa I e II respectivamente. As limitações do escoamento em 6,9 kV e 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.11 Trecho EBI3 – Reservatório Jati – Eixo Norte

O trecho possui um total de 41,5 km de extensão e uma área útil de 228,4 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 148,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 164,0 MW utilizando estrutura fixa.

Neste trecho será possível escoar a geração na SE N3, nesta subestação é possível escoar geração nas redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV é possível escoar 8,0 MW, com e sem seguidor tanto na Etapa I como na Etapa II do projeto. Em 69 kV é possível escoar 7,5 MW utilizando estruturas com ou sem seguidor, em ambas as etapas do projeto. Já em 230 kV é possível escoar 64,0 MW utilizando estruturas com seguidor e em ambas as etapas do projeto. Utilizando estruturas sem seguidores é possível escoar 48,0 MW e 48,0 MW nas Etapa I e II respectivamente. As limitações do escoamento em 6,9 kV e 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.12 Trecho Reservatório Jati – Reservatório Atalho – Eixo Norte

O trecho possui um total de 1,3 km de extensão e uma área útil de 0 há, devido a alta declividade. Visto que não há nenhuma área disponível para o trecho, a potência instalável dele é de 0 MW.

4.3.1.2.13 Trecho Reservatório Atalho – Rio Piranha-Açu – Eixo Norte

O trecho possui um total de 72,1 km de extensão e uma área útil de 491,7 ha. A partir dos valores da área e extensão do trecho, é possível estimar a potência instalável em aproximadamente 312,0 MW utilizando estruturas com seguidor e 342,0 MW utilizando estrutura fixa.

Neste trecho será possível escoar a geração na SE N3, nesta subestação é possível utilizar as redes de 6,9 kV, 69 kV ou 230 kV. Em 6,9 kV não é possível escoar a geração devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores. Em 69 kV não é possível escoar geração, pois o transformador da SE N3 limita a potência em 15 MW e foi priorizado escoar a geração dos trechos anteriores pois as perdas ôhmicas são menores. Já em 230 kV é possível escoar 25,0 MW e 22,0 MW utilizando estruturas com seguidor e nas Etapa I e II, respectivamente. Utilizando estruturas sem seguidores é possível escoar 22,0 MW e 22,0 MW nas Etapa I e II, respectivamente. As limitações do escoamento em 6,9 kV e 230 kV ocorrem devido as perdas ôhmicas e pela capacidade de carregamento dos condutores.

4.3.1.2.14 Resumo dos resultados encontrados

Tabela 11 - Resumo dos escoamentos da alternativa entorno dos canais utilizando seguidores

Trecho	Trecho	Potencial (MW)	Escoamento pelos trafos 6,9/230 kV (MW)	Escoamento pelos trafos 69/230 kV (MW)	Escoamento pela rede 230 kV com PCHs – Etapa I (MW)	Escoamento pela rede 230 kV com PCHs – Etapa II (MW)
Alternativa no entorno do canal - tracker	Rio São Francisco - EBI1	8,0	8,0	0,0	8,0	8,0
	EBI1 - EBI2	252,0	11,0	0,0	71,0	44,0
	EBI2 - EBI3	128,0	16,0	7,5	66,0	45,0
	EBI3 - Reservatório Jati	148,0	8,0	7,5	64,0	64,0
	Reservatório Jati - Reservatório Atalho	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Reservatório Atalho - Rio Piranha-Açu	312,0	0,0	0,0	25,0	22,0
	Reservatório Itaparica - EBV1	18,0	8,0	0,0	18,0	18,0
	EBV1 - EBV2	54,0	16,0	0,0	54,0	54,0
	EBV2 - EBV3	60,0	12,0	0,0	42,0	42,0
	EBV3 - EBV4	306,0	8,0	0,0	44,0	44,0
	EBV4 - EBV5	280,0	8,0	0,0	44,0	44,0
	EBV5 - EBV6	28,0	6,0	28,0	28,0	28,0
	EBV6 - Açude Poções	166,0	4,0	28,0	21,0	21,0
	Total	1760,0	105,0	71,0	485,0	434,0

Fonte: Autor, 2018

4.3.1.3 Sistemas Flutuantes Fotovoltaicos - sobre os reservatórios (FFV)

A Tabela 12 mostra os resultados para o escoamento da geração fotovoltaica para a alternativa sobre os reservatórios, além disso também apresenta não só a lista de reservatórios que foram levadas em conta na análise como também a potencial potência escoável por cada uma delas.

O Eixo Norte possui uma capacidade de potência instalável de 519 MW enquanto o Eixo Leste possui 219 MW.

4.3.1.3.1 Resumo dos resultados encontrados

Tabela 12 - Resumo dos escoamentos da alternativa sobre os reservatórios

Trecho	Reservatórios	Potencial (MW)	Escoamento pela rede 230 kV - Etapa I (MW)	Escoamento pela rede de 230 kV - Etapa II (MW)
Alternativa solar sobre reservatórios	Res. Tucutu	72,0	22,0	22,0
	Res. Terra Nova	47,0	22,0	22,0
	Res. Serra do Livramento	31,0	22,0	22,0
	Res. Milagres	228,0	22,0	22,0
	Res. Jati	26,0	22,0	22,0
	Res. Negreiros	50,0	22,0	22,0
	Res. Mangueira	65,0	22,0	22,0
	Res. Braúnas	26,0	22,0	22,0
	Res. Areias	33,0	22,0	22,0
	Res. Salgueiro	19,0	19,0	19,0
	Res. Mandantes	19,0	19,0	19,0
	Res. Cacimba Nova	17,0	17,0	17,0
	Res. Copiti	30,0	22,0	22,0
	Res. Bagres	16,0	16,0	16,0
	Res. Muquém	15,0	15,0	15,0
	Res. Moxotó	10,0	10,0	10,0
	Res. Barreiro	15,0	15,0	15,0
	Res. Barro Branco	1,0	1,0	1,0
	Res. Campos	18,0	18,0	18,0
	Total	738,0	350,0	350,0

Fonte: Autor, 2018

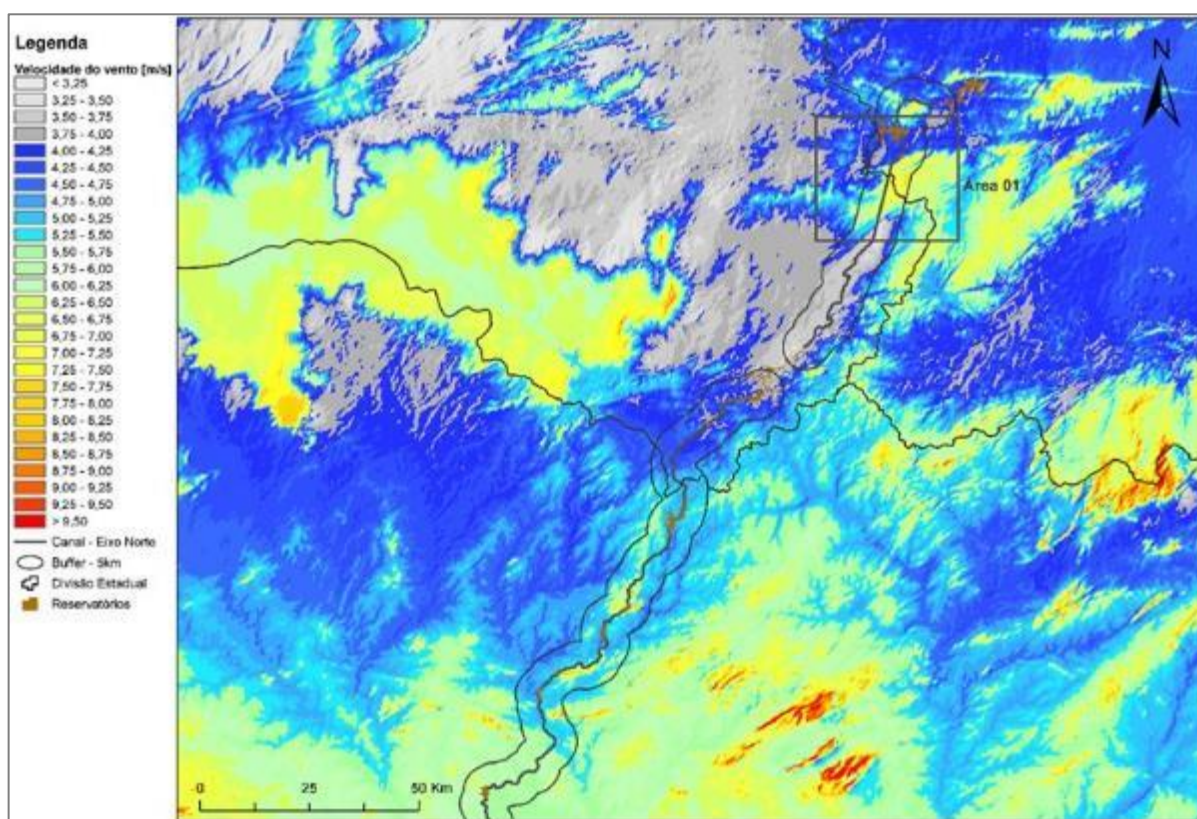
4.3.2 Eólica

4.3.2.1 Eólica ao Longo do Canal

Após análise das exclusões e do potencial eólico ao longo dos canais, apenas uma única área próxima aos canais foi identificada no Eixo Norte, denominada Área 01. Não há potencial de vento igual ou acima de 6 m/s em qualquer outra região próxima aos eixos. A resultante encontrada é esperada uma vez que os eixos do PISF privilegiam vales e o vento é maior em topografias altas.

A chamada daqui em diante de Área 01 está localizada em uma serra onde as águas do PISF passam através de um túnel cuncas. A Área 01 está localizada entre os municípios de Barro/CE, São José de Piranhas/PB, Monte Horebe/PB e Mauriti/CE.

Figura 31 – Localização da Área 01, no Eixo Norte. Única área próxima aos canais do PISF com potencial eólico – Eixo Norte.



Fonte: Autor, 2018

4.3.2.1.1 Layout e Potencial ao Longo do Canal

A partir das informações de vento, rugosidade, estabilidade atmosférica e curva de potências das turbinas foi gerado o mapa de escoamento do vento pelo WAsP e elaborado um layout com 30 turbinas para os dois fabricantes.

Tabela 13 - Potencial Máximo Instalável de Eólica na Área 01 – Próximo aos Canais

Fabricante/Modelo	Nº de Turbinas	Pot. Nominal Aerogerador [MW]	Pot. Nominal Instalada [MW]	Municípios
Vestas/V150	30	4,200	126,00	Barro/CE, São José de Piranhas/PB, Monte Horebe/PB e Mauriti/CE
Gamesa/G132		3,465	103,95	

Fonte: Autor, 2018

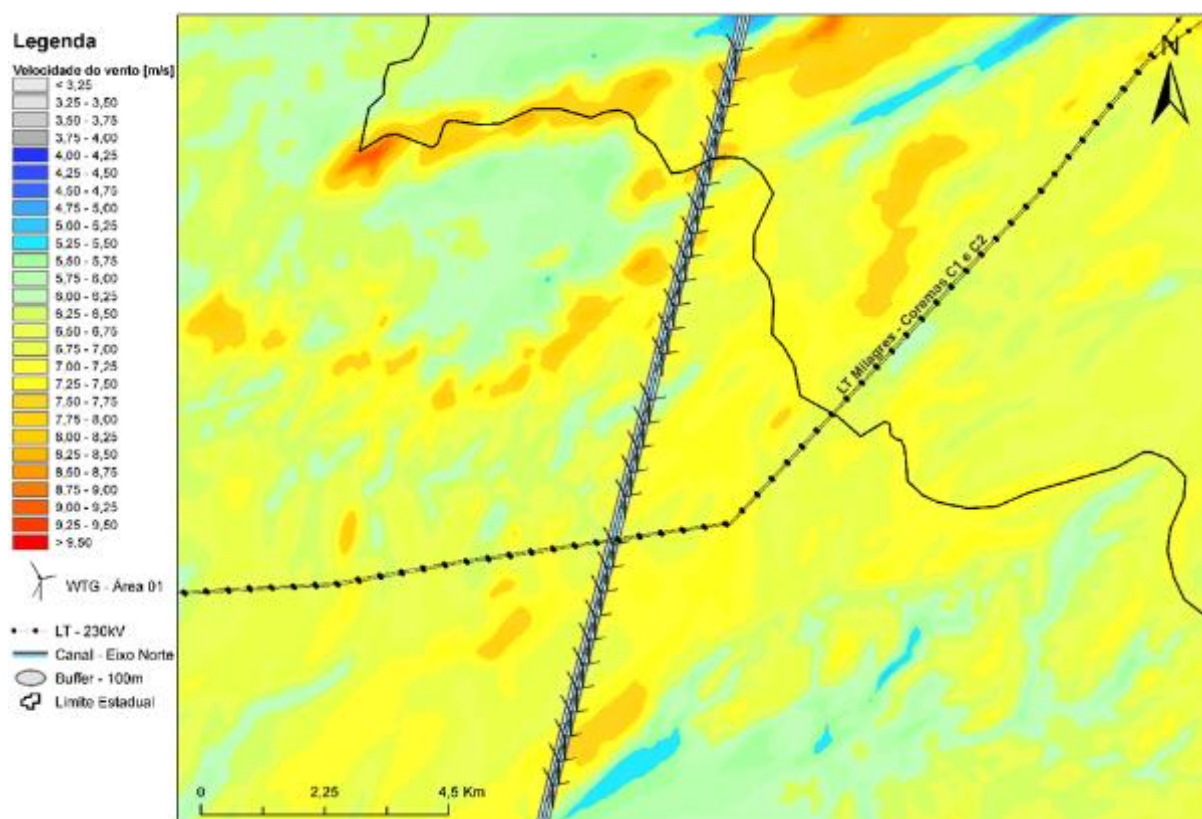
Como a posição geográfica dos aerogeradores na Área 01 é distante das estações de bombeamento, assume-se que o parque eólico será conectado à Rede Básica. As opções de conexão para o escoamento desta geração na Rede Básica são as seguintes:

- SE Milagres 230 kV: No cenário Norte Exportador – Carga Média, devido às condições de intercâmbio e principalmente na contingência de uma das linhas de 230 kV Milagres – Bom Nome, foi constatado que não existe margem para escoar geração nesta subestação;
- Seccionamento da LT 230 kV Milagres – Coremas (C1): Como esta linha de 230 kV cruza o local onde os aerogeradores estão posicionados, esta seria a melhor opção para escoar a geração para a Rede Básica. Em uma análise preliminar constatou-se que será possível injetar uma potência de 220 MW neste seccionamento em 2022, no entanto para determinar um valor mais preciso é necessário um estudo de escoamento;
- SE Bom Nome 230 kV: Os aerogeradores estão a aproximadamente 90 Km em linha reta desta subestação. De acordo com a Nota Técnica do ONS LEN A-4/2017: Quantitativos da capacidade remanescente do SIN para escoamento de geração pela Rede Básica, DIT e ICG do ONS” de 1 de dezembro de 2017, a SE Bom Nome possui capacidade de escoamento de 1 GW;
- Seccionamento da LT 230 kV Bom Nome – Milagres (C3): Em uma análise preliminar, foi constatado que será possível injetar uma potência de 16,00 MW nesse seccionamento, em 2022. No entanto, para determinar um valor mais preciso é necessário um estudo de escoamento. A distância aproximada dos aerogeradores para este ponto de conexão é 60 Km.

Vale notar também que o local de maior vento (potencial) na Área 01 está localizado em um morro, por onde a água do canal do Eixo Norte é escoada por um túnel. Apesar da distância vertical entre o topo do morro e a estrutura de água ser de aproximadamente 100

metros, coloca-se aí a questão de as estruturas das turbinas eólicas requererem fundações de 8 a 10 metros de profundidade. Uma fileira de turbinas com peso individual de 700-800 toneladas pode potencialmente afetar a obra do PISF.

Figura 32 – Mapa detalhado do escoamento do vento a 120 metros de altura e layout para a Área 01 – Próxima aos canais do PISF

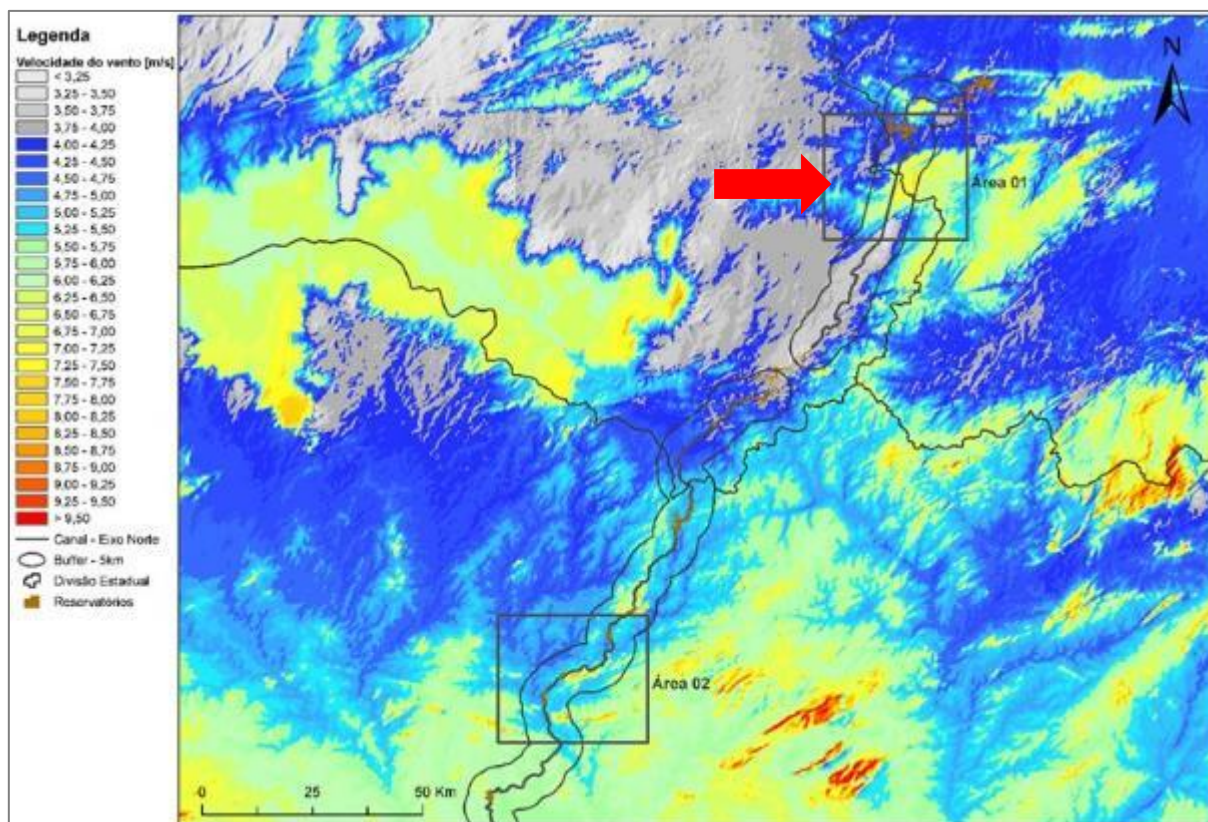


Fonte: Autor, 2018

4.3.2.2 Eólica em um Raio de até 5km do Eixos do PISF

Como foi encontrada apenas uma única área com potencial eólico ao longo dos canais do PISF toda a área foi ampliada para até 5 quilômetros do eixo do canal. Com a ampliação desta área foi possível identificar áreas com maior potencial eólico canais teve uma ampliação de potencial eólico, como mostra a figura a seguir.

Figura 33 – Áreas com potencial eólico no Eixo Norte com até 5 km de raio de distância dos canais.



Fonte: Autor, 2018

Usando-se a mesma torre sintética de dados, a EOL-01 e os mapas de escoamento de vento gerados anteriormente, foi elaborado um novo layout para os dois aerogeradores escolhidos, atentando-se para a limitação de escoamento acima descrito (220MW).

4.3.2.2.1 Layout e Potencial – 5km do canal - Área 01 Expandida (Eixo Norte)

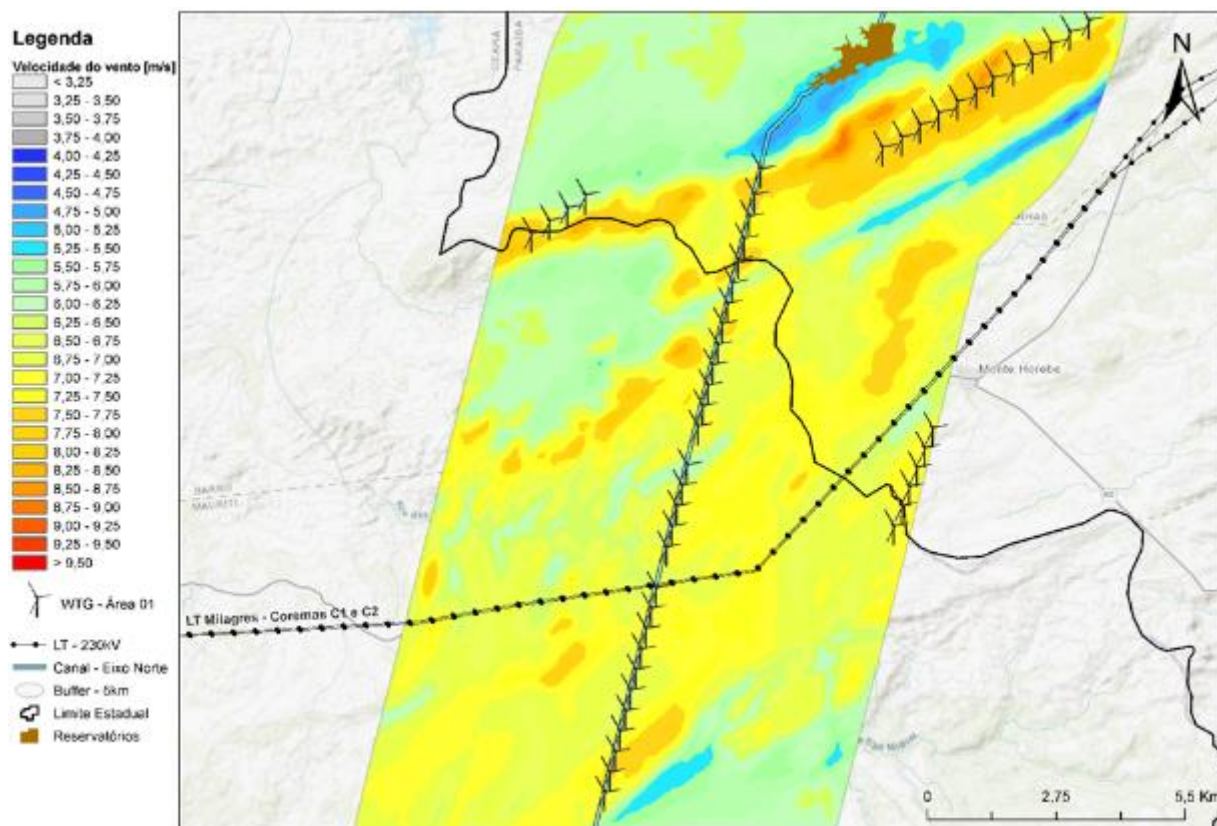
A partir das informações de vento, rugosidade, estabilidade atmosférica e curva de potências das turbinas foi gerado um segundo mapa de escoamento do vento pelo *WASP*, e em sequência foi elaborado um segundo layout com 52 turbinas Vestas e 63 Gamesa (220 MW de máxima potência escoável).

Tabela 14 - Potencial Máximo Instalável de Eólica na Área 01 Expandida – 5 km do Canal – Eixo Norte

Fabricante/Modelo	Nº de Turbinas	Pot. Nominal Aerogerador [MW]	Pot. Nominal Instalada [MW]	Municípios
Vestas/V150	52	4,200	218,4	Barro/CE, São José de Piranhas/PB, Monte Horebe/PB e Mauriti/CE
Gamesa/G132	63	3,465	218,3	

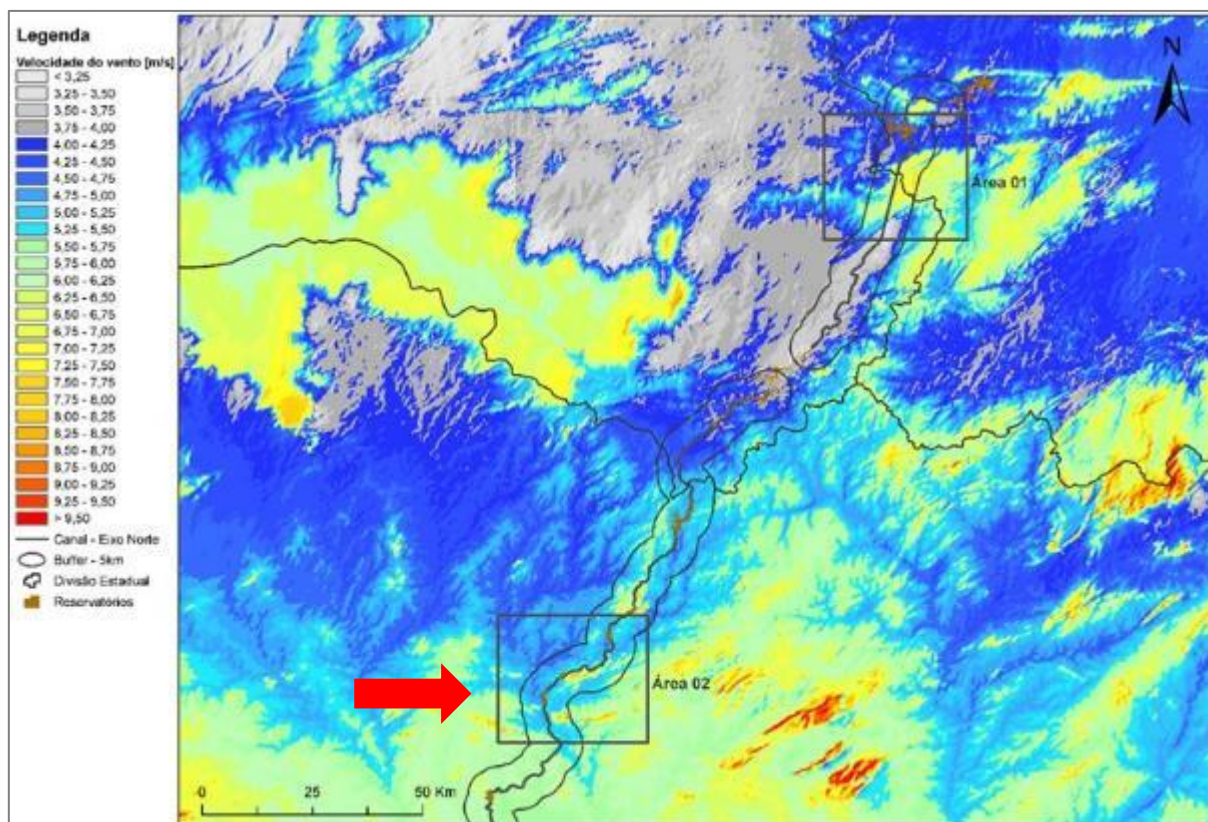
Fonte: Autor, 2018

Figura 34 - Mapa detalhado do escoamento do vento a 120 metros de altura e layout para a Área 01 Expandida – 5 km dos canais do PISF – Eixo Norte



Fonte: Autor, 2018

Figura 35 - Localização da Área 02 no Eixo Norte. Área a 5 km do PISF com potencial eólico – Eixo Norte



Fonte: Autor, 2018

4.3.2.2.2 Layout e Potencial 5km do Canal - Área 02 (Eixo Norte)

Novamente a partir das informações de vento, rugosidade, estabilidade atmosférica e curva de potências das turbinas foi gerado o mapa de escoamento do vento pelo WAsP e em sequência foi elaborado um terceiro layout com 12 turbinas para os dois fabricantes.

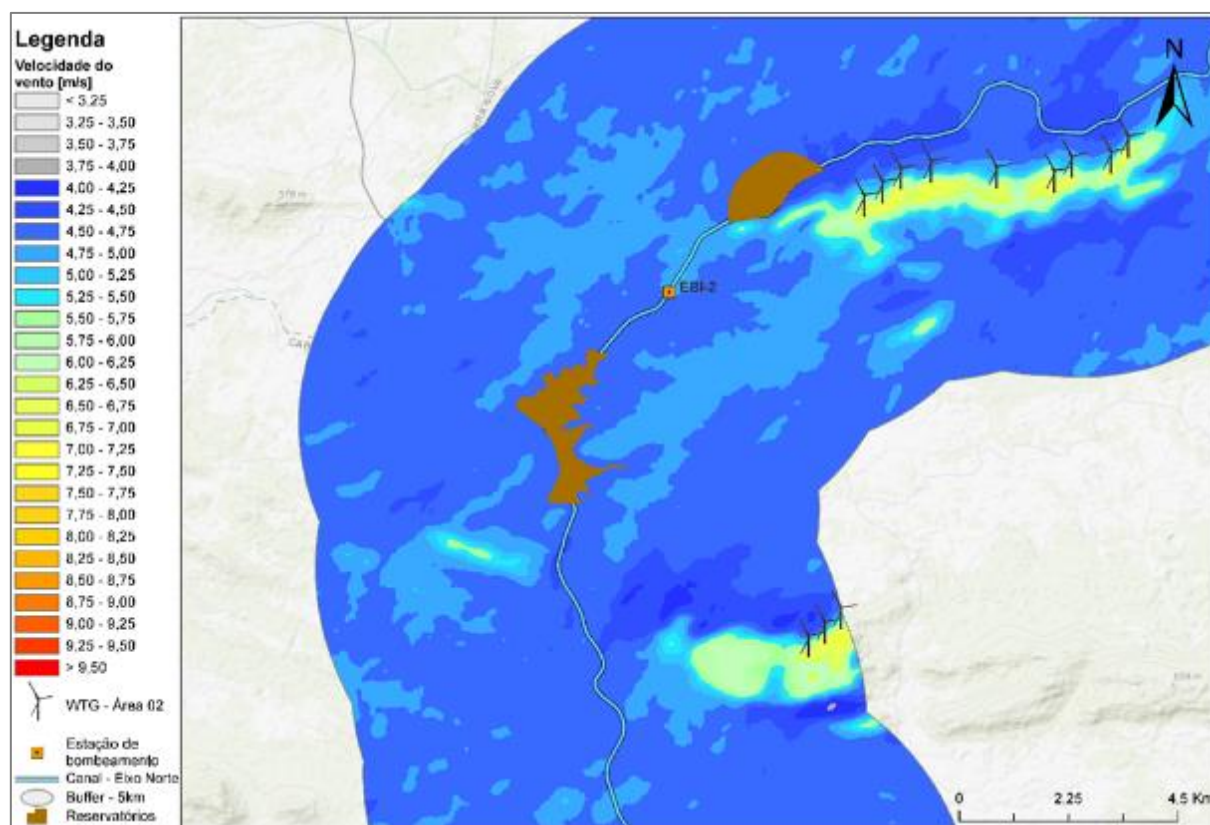
Tabela 15 - Potencial Máximo Instalável de Eólica na Área 02 – Eixo Norte

Fabricante/Modelo	Nº de Turbinas	Pot. Nominal Aerogerador [MW]	Pot. Nominal Instalada [MW]	Municípios
Vestas/V150	12	4,200	50,40	Salgueiro/PE e Cabrobó/PE
Gamesa/G132		3,465	41,58	

Fonte: Autor, 2018

Como a posição geográfica dos aerogeradores da utilizados na Área 02 fica a aproximadamente 10 quilômetros da estação de bombeamento EBI-2, que se conecta na SE N2, é possível conectar o parque eólico no barramento de 230 kV dessa subestação.

Figura 36 - Mapa detalhado do escoamento do vento a 120 metros de altura e layout para a Área 02 – 10 km da EBI-2 – Eixo Norte - PISF

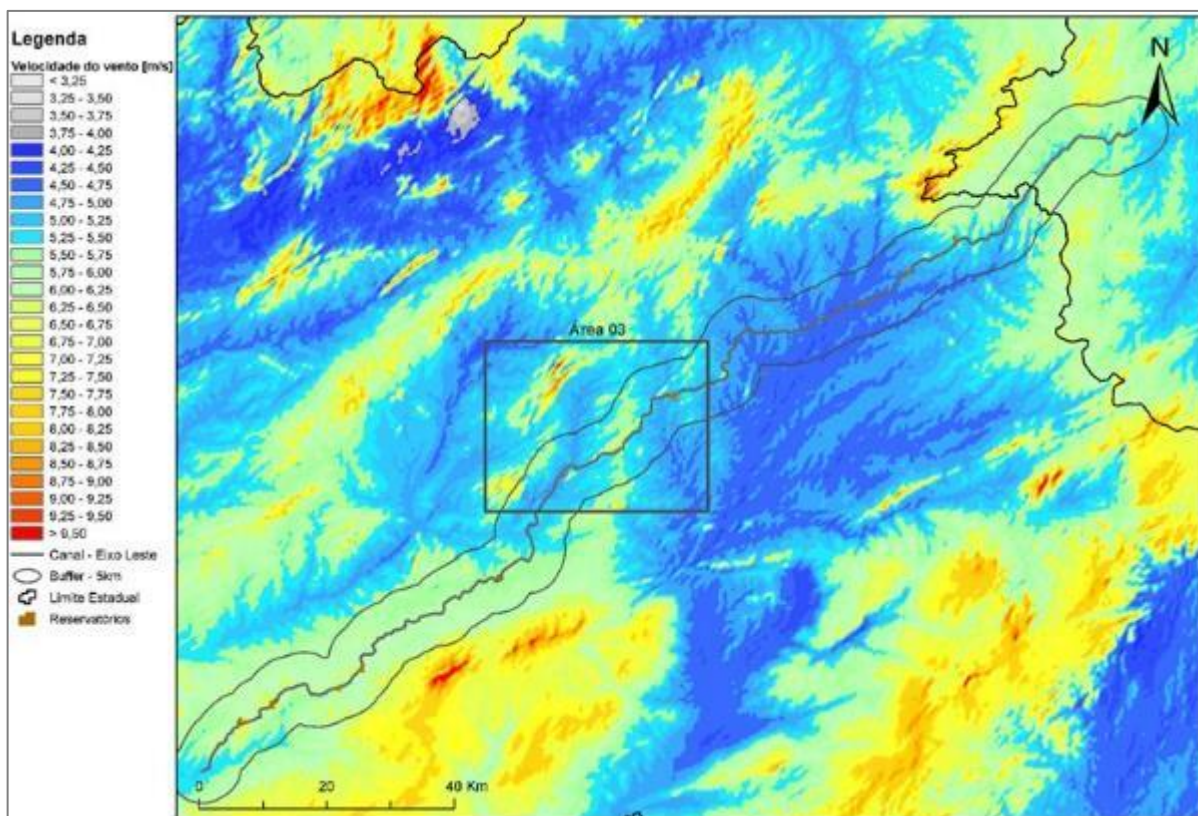


Fonte: Autor, 2018

4.3.2.3 Eólica em Um Raio de 5 km do Canal – Área 03 (Eixo Leste)

Outra área encontrada com algum potencial eólico situa-se no Eixo Leste do PISF, localizada no município de Custódia, em Pernambuco.

Figura 37 – Áreas com potencial eólico no Eixo Leste com raio de até 5 km de distância dos canais.



Fonte: Autor, 2018

4.3.2.3.1 Layout e Potencial 5km do Canal - Área 03 (Eixo Leste)

A partir das informações de vento, rugosidade, estabilidade atmosférica e curva de potências das turbinas foi gerado o mapa de escoamento do vento pelo *WASP* e elaborado um layout com 21 turbinas Vestas e 21 Gamesa. A configuração para a Área 03 é mostrada na Figura 38.

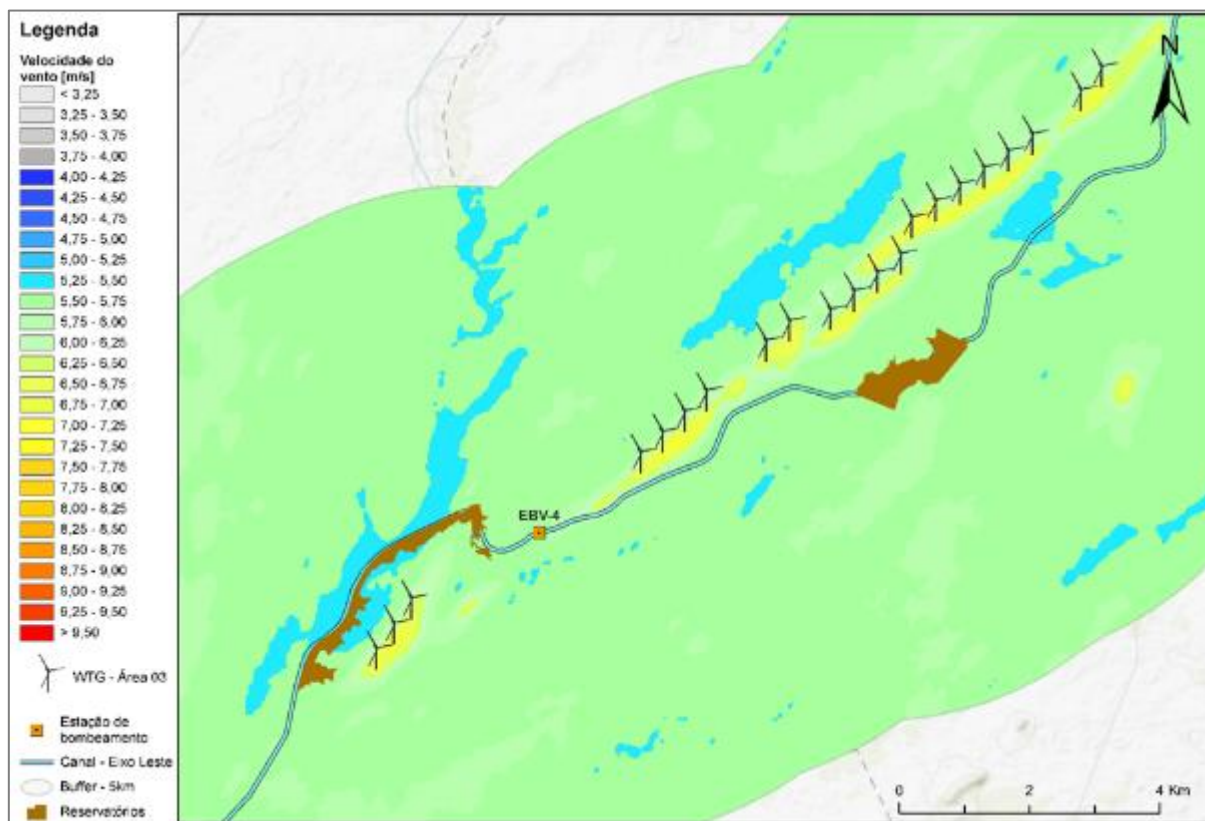
Tabela 16 - Potencial Máximo Instalável de Eólica na Área 03 – Eixo Leste

Área	Fabricante/Modelo	Nº de Turbinas	Pot. Nominal Aerogerador [MW]	Pot. Nominal Instalada [MW]	Municípios
03	Vestas/V150	21	4,200	88,20	Custódia/PE
	Gamesa/G132		3,465	72,77	

Fonte: Autor, 2018

A aproximadamente 12 Km dos aerogeradores tem a estação de bombeamento EBV-4, que se conecta na SE E4. Logo há possibilidade de escoar a produção do parque eólico no barramento de 230 kV dessa subestação.

Figura 38 - Mapa detalhado do escoamento do vento a 120 metros de altura e layout para a Área 03 – 12 km da EBV-4 – Eixo Leste - PISF



Fonte: Autor, 2018

4.3.2.4 Resumo: Máximo Potencial Eólico Escoável no PISF

Tabela 17 - Máximo Potencial Eólico Escoável

Áreas	Eixo	Potencial Máximo	Escoamento pela rede de 230 kV com PCHs Etapa I	Escoamento pela rede de 230 kV com PCHs Etapa II	Secc. LT 230 kV Milagres - Coremas, C1	SE Bom Nome 230 kV	Secc. LT 230 kV Bom Nome - Milagres, C3
1 (A 100 metros do Canal)	Norte	126,0	-	-	126,0	126,0	12,6
Total		126,0	-	-	126,0	126,0	12,6
1 (5 km do Canal)	Norte	218,4	-	-	218,4	390,6	12,6
2 (5 km do Canal)	Norte	50,4	50,4	50,4	-	-	-
3 (5 km do Canal)	Leste	88,2	88,2	88,2	-	-	-
Total		357,0	138,6	138,6	218,4	390,6	12,6

Fonte: Autor, 2018

5 CONCLUSÃO

O nordeste brasileiro se destaca na produção de energias renováveis, por seus altos níveis de incidência de radiação solar e altas velocidades do vento, o que promove recorrentes estudos para implantações de Usinas Fotovoltaicas e Parques Eólicos.

O Projeto De Integração Do São Francisco-PISF se caracteriza pela integração de bacias fazendo uso de canais, aquedutos, pontos, túneis e reservatórios para abastecimento de água na região mais seca do país. Para isso o PISF conta com possui estacoes elevatórias de bombeamento em seu projeto original o que demanda uma grande quantidade de energia para suprir essas bombas hidráulicas.

Nesse contexto a Cartografia e as tecnologias da geoinformação desempenham um papel fundamental nas prospecções de áreas propicias para construção de parque eólicos e fotovoltaicos, uma vez que é compulsório conhecer previamente as condições geoespaciais e climatológicas das áreas de interesse.

Em prospecções solares, a metodologia parte da seleção de terrenos com índices de radiação adequados, relevo de baixa complexidade, variando de plano a suavemente ondulado, isentos de exclusões ambientais e legais, juridicamente regulares e que detenham área suficiente para a implantação da UFV. Em prospecções eólicas a metodologia inicia com a pesquisa de regiões com índices de ventos apropriados, terrenos não necessariamente planos em sua totalidade, livres de exclusões ambientais e legais e juridicamente regulares.

Através a metodologia empregada, foi possível apontar as melhores áreas para implantação de UFV ao longo dos canais, sobre os canais e sobre os reservatórios do PISF. As análises consideraram a viabilidade técnica e ambiental para instalação das UFV e os resultados mostraram boas estimativas para o potencial instalável nos 3 cenários propostos.

Na análise das áreas úteis sobre os canais, considerando todas as exclusões, foi possível estimar uma capacidade instalável de 335,0 MW. No caso da análise das áreas úteis entorno dos canais, levando em consideração todas as exclusões, foi possível estimar uma capacidade instalável de 1.760,0MW. E na análise das áreas úteis sobre os reservatórios, observando todas as exclusões, foi possível estimar uma capacidade instalável de 738,0MW.

Na prospecção eólica, a metodologia desenvolvida detectou 3 áreas para instalação dos aerogeradores. A primeira análise se deu na faixa de domínio de 100 metros ao longo dos canais do Eixo Norte e Eixo Leste do PISF, em que apenas uma área (Área 01) foi identificada para potencial instalação dos aerogeradores, resultando num potencial de 126MW. Neste caso cabe destacar a importância de um estudo geotécnico para este layout visto que uma fileira de turbinas com peso individual de 700-800 toneladas pode potencialmente afetar a obra do PISF.

Através da aplicação da mesma metodologia utilizada para definir a Área 01, as demais áreas para instalação dos aerogeradores, denominadas Área 02 e Área 03 foram determinadas, porém a região de estudo foi expandida para uma faixa de 5 km ao longo do canal. No caso da análise da Área 02, localizada à aproximadamente 10 quilômetros da estação de bombeamento EBI-2, foi possível instalar 50,4MW, e na Área 03, foi possível instalar 88,2MW.

Também foi analisado se o potencial instalável atenderia à demanda energética para operação do PISF, para isso, foram consideradas duas etapas de funcionamento (I e II).

Na Etapa I foi considerado que a carga do PISF será de 105,0257 MW, correspondente a um consumo anual 805.155,52 MWh/ano, e as que as PCHs Jati e Atalho operariam com 25% da sua capacidade. Na a Etapa II foi considerada uma carga de 318,4859 MW no PISF, correspondente a um consumo anual de 2.444.865,28 MWh/ano. Também foi considerado que as PCHs operariam com 100% da sua capacidade na Etapa II.

Na análise de escoamento, considerou-se para todas alternativas as linhas de transmissão de 230 kV existentes, derivadas das subestações Bom Nome e Floresta II. Mas, sem considerar as restrições de transmissões existentes nem as perdas associadas a essa transmissão, verificou-se que o potencial máximo para produção de energia é maior do que a capacidade de escoamento destas linhas, assim, para o escoamento do excedente, novas linhas de 230 kV, derivadas da rede básica deveriam ser construídas.

Vale destacar que, de fato existe um grande potencial para produção energética de matrizes renováveis no sertão brasileiro. Além disso destaca-se também a necessidade de investimentos/incentivos do poder público para produção de matrizes energéticas renováveis e o aumento da capacidade de escoamento, contribuindo para o abastecimento energético da região e viabilizando a implantação de novos parques industriais.

O uso do geoprocessamento mostrou-se uma poderosa ferramenta para os projetos solares e eólicos, além de ser bastante versátil, visto que possui interdisciplinaridade com a Meteorologia, Geografia, Biologia, Engenharia Elétrica, Civil, de Energia, Geologia e as Geociências, tendo sua parcela de contribuição para a economia mundial, estudos e pesquisas de desenvolvimento social e urbano e a busca de alternativas para produção de energia de fontes não poluentes.

REFERÊNCIAS

- ADENIYI, P.O. RESOURCE DEVELOPMENT AND EDUCATION IN AFRICA IN D.R.F. TAYLOR(ED) EDUCATION AND TRAINING IN CONTEMPORARY CARTOGRAPHY. Remote Sensing,. Chichester. John Wiley. 189-225,1985.
- ALMEIDA, A. W. B. OS QUILOMBOS E AS NOVAS ETNIAS. In Fundação Cultural Palmares. Quilombos no Brasil, Revista Palmares 5, 2000.
- AL-ROUSAN, N.; ISA, N.A.M.; DESA, M.K.M. ADVANCES IN SOLAR PHOTOVOLTAIC TRACKING SYSTEMS: A REVIEW. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 82, Part 3, 2018.
- AMARAL, A. F. P. ANÁLISE DAS VIABILIDADES TÉCNICA E ECONÔMICA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. 57 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2018.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL. BRASÍLIA: ANEEL, 236p, 2008.
- Atlas Eólico e Solar de Pernambuco (2016)
- BERGAMASCO, S. M.; NORDER, L. A. C. O QUE SÃO ASSENTAMENTOS RURAIS. SÃO PAULO: BRASILIENSE, 87 p. (Coleção Primeiros Passos, 301), 1996.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Disponível em < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>>. Acesso em: 22/11/2018.
- BURROUGH e McDONNELL, R. A. PRINCIPLES OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS: SPATIAL INFORMATION SYSTEMS. Oxford University Press. Oxford, 1998.
- BURROUGH, P. A. PRINCIPLES OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS FOR LAND RESOURCES ASSESSMENT. Clarendon Press. Oxford, 1986.
- CALDAS, D. M. ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO E ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA DE UM PROJETO EÓLICO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO O WINDPRO E O WASP. 2010. 81 p. Dissertação (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- CÂMARA, Gilberto. DAVIS, Clodoveu. MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. Organizadores. INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DA GEOINFORMAÇÃO. São José dos Campos, INPE, 2001. on-line, 2ª. edição, revista e ampliada. Acesso: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>.
- CARDOSO, L. C. FAIXA DE DOMÍNIO E ÁREA NON AEDIFICANDI. Disponível em: < <http://estradas.com.br/entenda-melhor-os-conceitos-de-faixa-de-dominio-e-area-non-aedificandi/>> . Data de postagem: 29.07.13.
- CARRASCO-DÍAZ, M.; RIVAS, D.; OROZCO-CONTRERAS, M.; SÁNCHEZ-MONTANTE, O. An assessment of wind power potential along the coast of Tamaulipas, Northeastern México. Renewable Energy, v. 78, n. único, p. 295–305, 2015. doi: 10.1016/j.renene.2015.01.007.
- CHOI, Y. K., A STUDY ON POWER GENERATION ANALYSIS OF FLOATING PV SYSTEM CONSIDERING ENVIRONMENTAL IMPACT. International Journal of Software Engineering and Its Applications Vol.8, No.1 (2014), pp.75-84, 2014.
- COWEN D.J., GIS VERSUS CAD VERSUS DBMS: WHAT ARE THE DIFFERENCES?. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54: 1551-1554. 1988.

DEETHUMOL A., RANI C., JOFFIE J. CANAL TOP SOLAR ENERGY HARVESTING USING REFLECTOR, Global Research and Development Journal for Engineering, vol. 1, no. 8, pp. 26-31, July 2016.

DÍAZ, A. P.; PAJARO, G. J.; SALAS, K. U. COMPUTATIONAL MODEL OF SAVONIUS TURBINE. Revista Chilena de Ingeniería, v. 23, n. 3, p. 406-412, 2015

DUBAYAH, R.; RICH, P. M. TOPOGRAPHIC SOLAR RADIATION MODELS FOR GIS, International Journal of Geographical Information Systems, 9:4, 405-419, DOI: 10.1080/02693799508902046. 1995.

FOOTE, K. E.; LYNCH, M. University of Colorado. GIS AS AN INTEGRATING TECHNOLOGY CONTEXT, CONCEPT AND DEFINITIONS IN THE GEOGRAPHER'S CRAFT PROJECT, 2012.

ENERCON. Disponível em: <<https://www.enercon.de/home/>>. Acesso em 25/11/2018.

IRWIN, J. S. A THEORETICAL VARIATION OF THE WIND PROFILE POWER-LAW EXPONENT AS A FUNCTION OF SURFACE ROUGHNESS AND STABILITY. Atmospheric Environment (1967) 13.1 (1979): 191-194.

JERVELL, J. T. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO VENTO NO DESEMPENHO DE AEROGERADORES. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2008.

VEIGA, J. E. da. O BRASIL RURAL AINDA NÃO ENCONTROU SEU EIXO DE DESENVOLVIMENTO. Estudos Avançados. 2001.

KEMERICH, P. D. C.; FLORES, C. E. B.; BORBA, W. F.; SILVEIRA, R. B.; FRANÇA, J. R.; LEVANDOSKI, N. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 20, n. 1, p. 241-247, 2016.

KIM, SUN-HEE; YOON, SOON-JONG e CHOI, W.; "DESIGN AND CONSTRUCTION OF 1 MW CLASS FLOATING PV GENERATION STRUCTURAL SYSTEM USING FRP MEMBERS". Energies, V. 12, 1142, 2017

LEITE, S.; HEREDIA, B.; MEDEIROS, L.; PALMEIRA, M.; CINTRÃO, R. IMPACTOS DOS ASSENTAMENTOS: UM ESTUDO SOBRE O MEIO RURAL BRASILEIRO. BRASÍLIA, DF: INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA - Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural; São Paulo: Editora UNESP, 392 p. (Estudos NEAD, 6), 2004.

LIMA, M. R. O USO DA ENERGIA EÓLICA COMO FONTE ALTERNATIVA PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS DE ENERGIA E BOMBEAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM LOCAIS ISOLADOS. 2009. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.

LIRA, G.; CAVALCANTE L. P.; ALCANTARA, L. A. ANÁLISE DA INFLUENCIA DA RUGOSIDADE NO CÁLCULO DE PRODUÇÃO EÓLICA UTILIZANDO O WINDSIM. VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

LUZ, C. F. M. da. SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS DE REGISTRO RUPESTRE: GESTÃO COMPARTILHADA E AS AÇÕES DE PRESERVAÇÃO DO IPHAN NO PARQUE NACIONAL SERRA DA CAPIVARA E ENTORNO – PIAUÍ, BRASIL. Dissertação de Mestrado. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Rio de Janeiro, 2012.

MACHADO, 2004

MARTINS, J. S. O sujeito da reforma agrária: estudo comparativo de cinco assentamentos. In: MARTINS, J. S. (Coord.). TRAVESSIAS: ESTUDO SOBRE A VIVÊNCIA DA REFORMA AGRÁRIA NOS ASSENTAMENTOS. PortoAlegre: Editora da UFRGS, 2003. 294 p.

MATHER, 1999

MEDEIROS, L. S. Movimentos sociais, disputas políticas e reforma agrária de mercado no Brasil. Rio de Janeiro: UFRRJ – CPDA; UNRISD, 2002. 127 p.

NORDER, 1996,

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. 2014. CEPEL - CRESESB.

RODRIGUES, M. V. S.; Aquino, M. D.; Thomaz, A. C. F. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NOS PRINCIPAIS ESTADOS BRASILEIROS PRODUTORES, POR MEIO DA APLICAÇÃO DE ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS. REVISTA TECNOLOGIA, v. 36, n. 1 e 2, p. 18-33, 2015.

SALINO, P. J. ENERGIA EÓLICA NO BRASIL: UMA COMPARAÇÃO DO PROINFA E DOS NOVOS LEILÕES. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. VALENTE, 2011

SÁNCHEZ-LOZANO, Juan M. et al. GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS) AND MULTI-CRITERIA DECISION MAKING (MCDM) METHODS FOR THE EVALUATION OF SOLAR FARMS LOCATIONS: CASE STUDY IN SOUTH-EASTERN SPAIN. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 24, p. 544-556, 2013.

SANTAFÉ, M. R.; SOLER, J. B. T.; ROMERO, F. J. S.; GISBERT, P. S. F.; GOZÁLVEZ, J. J. F.; GISBERT CMF. THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A FLOATING PHOTOVOLTAIC COVER FOR WATER IRRIGATION RESERVOIRS. Energy Vol 67:246–255, 2017.

SCHMIDT, Tanara. SELEÇÃO DE ÁREA E DIMENSIONAMENTO DE ATERRO SANITÁRIO PARA O CONSÓRCIO PÚBLICO INTERMUNICIPAL PARA ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DO G8 – CIPAE G8. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 15 dez. 2016.

SCHOWENGERDT, R. A. REMOTE SENSING: MODELS AND METHODS FOR IMAGE PROCESSING. New York: Academic Press, 2^a ed. 522 p. 1997.

SILVEIRA, T. A.; CARNEIRO, A. F. T.; PORTUGAL, J. L.; ESTRUTURAÇÃO DE BASES CARTOGRÁFICAS PARA SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG). II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife – PE. 2008.

SMITH, T. R, MENON, S., STAR, J. L., ESTER J. E., REQUIREMENTS AND PRINCIPLES FOR THE IMPLEMENTATION AND CONSTRUCTION OF LARGE SCALE GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. International Journal of Geographical Information System, vol 1 n°1, pages 13-31, 1987.

SUJAY, P.; WANG M. M.; SHINDE N.N.; “A REVIEW ON FLOATING SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS”. International Journal of Scientific and Engineering Research, Vol 8, Issue June, 2017.

VICARI, M. B. USO DE SIG E ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA LEVANTAMENTO DO POTENCIAL DE IMPLANTAÇÃO DE USINAS EÓLICA E SOLAR NO RIO GRANDE

DO SUL. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia Ambiental – Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo/RS, 2012.