



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO-UFRPE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO-PRPPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL-
PPEAMB**

BERGSON JOSÉ DE NASCIMENTO

**ENERGIA LIMPA: CUSTO INSTALADO E EFICIÊNCIA DE OPERAÇÃO DE
USINA FOTOVOLTAICA DE 1 MW**

Recife-PE
2020

BERGSON JOSÉ DE NASCIMENTO

**ENERGIA LIMPA: CUSTO INSTALADO E EFICIÊNCIA DE OPERAÇÃO DE
USINA FOTOVOLTAICA DE 1 MW**

Projeto de dissertação apresentado ao programa de pós-graduação em engenharia ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda

Coorientadora: Profa. Dra. Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo

Recife/PE

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N244e Nascimento, Bergson José do Nascimento
ENERGIA LIMPA: CUSTO INSTALADO E EFICIÊNCIA DE OPERAÇÃO DE USINA FOTOVOLTAICA
DE 1 MW / Bergson José do Nascimento Nascimento. - 2020.
73 f. : il.

Orientador: Romildo Morant de Holanda.
Coorientador: Fernanda Wanderley Correa de Araujo.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2020.

1. Energia solar. 2. Avaliação de ciclo de vida. 3. Matriz energética. I. Holanda, Romildo Morant de, orient. II. Araujo, Fernanda Wanderley Correa de, coorient. III. Título

CDD 620.8

BERGSON JOSÉ DE NASCIMENTO

**ENERGIA LIMPA: CUSTO INSTALADO E EFICIÊNCIA DE OPERAÇÃO DE
USINA FOTOVOLTAICA DE 1 MW**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental

Aprovado em: ____/____/____

Prof. Dr. Ulysses Roberto Chaves Vitor
Instituição: UFJF
Membro Externo

Prof. Dr. Alex Souza Moraes
Instituição: UFRPE
Membro Interno – PPEAMB

Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda
Instituição: UFRPE
Orientador – PPEAMB

Profa. Dra. Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo
Instituição: UFRPE
Coorientadora – PPEAMB

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação primeiramente a Deus e a meus familiares que estão sempre ao meu lado durante toda minha trajetória, à minha mãe Glauce que me conforta com seu amor incondicional, ao Prof. Romildo Morant pela grandeza e generosidade que sempre teve por mim e também em memória ao meu pai, Aldemário José do Nascimento, que sempre deu o máximo de si para que eu fizesse o melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela família maravilhosa que tenho, pelos amigos leais que encontrei durante o caminho, pelas vitórias que conquistei, mas também pelos fracassos por que passei, mas que tanto me ensinaram e me prepararam para novos desafios. Obrigado Deus por tudo quanto tens feito por mim.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda. Obrigado por sempre me orientar, dentro e fora da vida acadêmica, obrigado por dividir seu conhecimento comigo e ajudar a conquistar meus objetivos. Agradeço a minha coorientadora, Profa. Dra. Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo, obrigado pela contribuição no desenvolvimento da pesquisa. Agradeço a banca pelas contribuições, Prof. Dr. Alex Souza Moraes e Prof. Dr. Ulysses Roberto Chaves Vitor.

Agradeço a toda equipe do Grupo de pesquisa CITAR, principalmente as amigas: Emmanuelle Lorena, Géssica Marinho, Ana Paula, Ana Luiza e Maria de Fátima.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFRPE e a todos os professores, pela oportunidade de ingresso no Mestrado e pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço a todos meus leais amigos, principalmente: Jefferson Mário de Lima, Rarath Mayara M. de Lima, Eliel Barbosa, Elias Macena da Silva, Jackson José dos Santos, Maria Isabel C. A. Queiroz, Igor Gouveia Costa e Paulo Novais de Souza Filho e Mário Ricardo R. de Souza. Obrigado por me apoiarem e ajudarem nos momentos mais difíceis desta trajetória.

E por fim, agradeço aos meus familiares, minha mãe, meus irmãos e minha esposa. Obrigado por todo amor e dedicação dispensados a mim. Deus os abençoe.

LISTA DE ABREVIATURAS e SIGLAS

Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
Cemig	Companhia Energética de Minas Gerais
Coope	Coordenação de Pós-Graduação de Engenharia
Cresesb	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
Inpe	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MTTP	Maximum Power Tracker Point (ponto rastreador potência máxima)
NOCT	Irradiação em 800W/m ² , Temperatura Ambiente em 20°C, Temperatura de Vento em 1 m/s.
Procel	Programa nacional de conservação de energia elétrica
PV	Placa Fotovoltaica
RCMU	Residual Current Monitoring Unit (Unidade de Monitoramento de Corrente Residual)
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (Rede de Políticas de Energia Renovável para o Século 21)
STC	Irradiação em 1000W/m ² , Temperatura Ambiente em 25°C, Massa de Ar (AM) em 1,5.

Uacsa	Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
UFV	Usina Fotovoltaica

RESUMO

O uso da energia solar vem aumentando seu espaço na matriz energética. O Brasil possui grande potencial para aplicações com uso de energia fotovoltaica. Esse potencial não é totalmente explorado. Devido a isso, o trabalho propõe um estudo de caso para implantação de uma usina fotovoltaica, considerando fatores para viabilidade da sustentabilidade. A obra selecionada para o estudo foi a Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho - UACSA, uma das vertentes da UFRPE, mais especificamente a obra da usina fotovoltaica que será instalada nessa unidade. Será realizado levantamentos bibliográficos sobre o tema, visitas a campo e análise do projeto executivo da usina, bem como a identificação de impactos ambientais. Foi possível estimar um potencial de 747.877,19 kW de energia. Portanto, conclui-se que a usina possui viabilidade quanto a fatores ambientais, sociais, econômicos, técnicos e legais, fornecendo dados para subsidiar o planejamento da operação e manutenção de forma a garantir a segurança e o bom uso do sistema elétrico da UACSA, alinhada com a política de sustentabilidade proposta por essa unidade acadêmica..

PALAVRAS-CHAVES: Energia solar. Avaliação de ciclo de vida. Matriz energética.

ABSTRACT

The use of solar energy has been increasing within the energy matrix. Brazil has great potential for its application using photovoltaic energy. This potential though, is not fully exploited. Led to this, the work proposes a study case for the implantation of a photovoltaic plant, considering factors for its viable sustainability. The work chosen for the study was the Academic Unit of Cabo de Santo Agostinho - UACSA, that is part of UFRPE. It is, more specifically, a work of the photovoltaic plant that will be installed in this unit. Bibliographic surveys on the topic will be carried out, as well as field visits and an analysis of the plant's executive project. There will be the use of Sundata to calculate solar irradiation and SimaPro to calculate environmental impacts through life cycle assessment. The project has an extremely important nature, as it aims to guarantee benefits to the local population. It also focus on guaranteeing the viability of the project of the photovoltaic plant regarding environmental, social, economic, technical and legal factors and providing data to support the planning of the operation and maintenance in order to secure the safety and good use of the UACSA electrical system, in line with the sustainability policy proposed by this academic unit.

KEYWORDS: Solar energy; Life cycle assessment; Energy matrix.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do Cabo e conseguinte da obra da nova Uacsa.....	24
Figura 2 - Trabalho de campo para análise dos projetos da UFV.	26
Figura 3 - Potencial de irradiação solar em Cabo de Santo Agostinho-PE.....	29
Figura 4 - Potencial de irradiação no plano inclinado	30
Figura 5 - Local de instalação da UFV da Uacsa.	32
Figura 6 - Imagem Ilustrativa do Módulo GCL-P6/72 - 330	34
Figura 7 - Imagem Ilustrativa do Inversor Hauwei SUN 2000-50kV 36	
Figura 8 - Esquemático das Conexões de Entrada e Saída do Inversor	37
Figura 9 - Ilustração do Pedestal Metálico de Sustentação do Inversor	38
Figura 10 - Layout de Montagem do Quadro de Gerenciamento e Proteção de Energia CA – 01	39
Figura 11 - Layout de Montagem do Quadro de Gerenciamento e Proteção de Energia CA – 02	40
Figura 12 - Layout de Montagem do Quadro de Gerenciamento e Proteção de Energia CA – 03	40
Figura 13 - Diagrama de Bloco do Circuito do Inversor	41
Figura 14 - Curva de Operação do Sistema Fotovoltaico em Função da Frequência	44
Figura 15 - Alterações na área de estudo.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Entrada e Saída de Cabos CC e CA do inversor Hauwei 2000-50KTL	37
Quadro 2 - Dispositivos de Proteção do Inversor Fotovoltaico	42
Quadro 3 - Ações e fases do projeto	50
Quadro 4 - Fases do empreendimento, ações dos projetos e os impactos previstos	51
Quadro 5 - Impactos ambientais sobre o meio biótico, abiótico e antrópico. ...	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características Elétricas do Módulo Fotovoltaico	33
Tabela 2 - Características Elétricas do Inversor Hauwei 2000 - 50KTL.....	36
Tabela 3 - Condições de Tensão	43
Tabela 4 - Potência disponível de energia solar para os arranjos.	55
Tabela 5 - Dados para cálculo de geração de energia	56
Tabela 6 - Valores do consumo de energia elétrica da Uacsa.....	56
Tabela 7 - Fatores de Emissões de CO ₂ x Consumo kWh Anual para o ano de 2017	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1 Geral	11
2.2 Específicos	11
3. REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 Energias Renováveis	12
3.1.1 Biomassa	13
3.1.2 Energia Eólica.....	14
3.1.3 Energia Geotérmica	15
3.1.4 Energia hidráulica.....	15
3.1.5 Energia do Mar	17
3.1.6 Energia Solar.....	17
3.2 Radiação solar: captação e conversão	18
3.3 Efeito Fotovoltaico	21
3.3.1 Geração Off-Grid.....	22
3.3.2 Geração Grid-Tie.....	23
4. METODOLOGIA.....	24
4.1 Área de estudo.....	24
4.2 Procedimento metodológico	25

4.2.1 Levantamento bibliográfico	25
4.2.2 Trabalho de Campo.....	26
4.2.3 Irradiações solares para a localidade.....	26
4.2.4 Análise do projeto da usina fotovoltaica	26
4.2.5 Descrição do fluxograma da usina fotovoltaica	27
4.2.6 Análise dos impactos ambientais	27
4.2.7 Cálculo da viabilidade da implantação da usina fotovoltaica da Uacsa	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5.1 Potencial de Irradiação solar para a região	29
5.2 Análise do projeto da usina fotovoltaica.....	30
5.2.1 Quanto ao atendimento as legislações	30
5.2.2 Quanto as questões ambientais	31
5.2.3 Quanto as características técnicas.....	32
5.3 Fases do projeto de Usina Solar.....	44
5.3.1 Fase de Planejamento	44
5.3.2 Fase de Instalação	45
5.3.3 Fase de operação	48
5.3.4 Fase de desativação	48
5.4 Impactos ambientais.....	49

5.4.1 Identificação dos impactos ambientais nas fases do empreendimento	50
5.4.2 Viabilidade da implantação da usina fotovoltaica da Uacsa.....	54
6. CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1. INTRODUÇÃO

A área de geração de energia limpa é uma das vertentes das construções sustentáveis, que tem como desafio diminuir as taxas de aquecimento global e emissão de gases através de fontes fósseis de produção de energia (POLMAN *et al.* 2016; LIAO; LIN; YANG, 2014). Os principais representantes das energias limpas são: Energia hidroelétrica, biomassa, energia eólica, energia solar (MELO, 2012).

A energia solar, pode ser compreendida como a energia transmitida pelo sol e transformada em energia térmica ou fotovoltaica; a energia térmica consiste no uso de coletores solares com finalidade de converter a irradiação solar diretamente em calor; a energia fotovoltaica, é caracterizada pela diferença de potencial gerada em um semicondutor devido a luz visível (FISAC; VILLASEVIL; LÓPEZ, 2014).

Devido a variabilidade de incidência solar de acordo com as estações e as característica geográfica, o alto investimento em tal sistema e a taxa de produção de energia ser menor do que comparada às fontes fósseis, a energia elétrica solar não possui uma utilização elevada em um cenário mundial (VISA *et al.* 2016).

O máximo teor de eficiência obtido em uma célula fotovoltaica é de 15%, em células compostas de silício monocristalino através de seu ciclo de vida, enquanto fontes fósseis chegam até 45% de eficiência, quando utilizado gás natural (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016; HUSSY *et al.* 2014).

Num cenário mundial, o Brasil é um dos países com alto potencial produtivo no setor da energia fotovoltaica devido as suas características geográficas e climáticas (INPE, 2017). A região nordeste é contemplada com o maior potencial produtivo, mas possui menos sistemas fotovoltaicos que as regiões sul e sudeste, isso demonstra a urgência de aplicação na região (INPE, 2017) (NASCIMENTO, 2017).

A Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA) vem com o intuito de somar uma área de desenvolvimento educacional à antiga unidade.

Essa obra foi baseada nos parâmetros de construção sustentáveis cujo a construção de uma usina fotovoltaica foi um dos pontos inseridos, a qual possui uma potência instalada na faixa de 1,0 MW, justificada pelo potencial produtivo que o mesmo agrega, além de funcionar como um projeto pioneiro para instalações de tamanho porte na região nordeste e no Brasil.

Como esse projeto de pesquisa visa analisar a viabilidade de sustentabilidade para a construção de uma usina fotovoltaica por meio de análise de projetos elétricos, mecânicos e de construção civil da Uacsa/UFRPE, no Cabo de Santo Agostinho-PE.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a implantação da usina fotovoltaica da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (Uacsa) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), avaliando as condições ambientais para esta implantação.

2.2 Específicos

- Analisar as incidências de irradiações solares para a localidade da instalação da usina fotovoltaica;
- Analisar o projeto, no que tange os aspectos ambientais, identificando se as especificações atendem as exigências legais de uma usina fotovoltaica;
- Elaborar o fluxo de operação dos processos para usina fotovoltaica visando obter melhores práticas para que esta usina se torne um empreendimento sustentável;
- Analisar os impactos ambientais e sociais da implantação da usina fotovoltaica;
- Analisar a viabilidade técnica, econômica, social e ambiental da implantação da usina fotovoltaica da Uacsa.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo encontra-se um breve embasamento teórico necessário sobre a temática abordada.

3.1 Energias Renováveis

Nesse subtópico está apresentando um embasamento teórico sobre os principais tipos de energia renováveis.

A fonte energética mais utilizada para a produção de energia elétrica é proveniente de fontes fósseis e não renováveis como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural. As grandes dependências de fontes não renováveis de energia têm acarretado, além da preocupação permanente com o seu esgotamento, a emissão de gases tóxicos e poluentes e material particulado. Dos gases liberados para a atmosfera, os mais preocupantes do ponto de vista mundial são os “gases do efeito estufa”, destacando-se o dióxido de carbono (FREITAS & DATHEIN, 2013).

As fontes de energia utilizadas para a geração de energia elétrica são oriundas de hidroelétrica, nuclear, termoelétrica, eólica, fotovoltaica, dentre outras. No entanto, a oferta de energia através de fontes renováveis de energia vem crescendo em várias partes do mundo, e já em 2009, foi possível perceber que 16% de toda energia consumida no planeta fosse de origem renovável, enquanto que 81% provêm ainda de combustíveis fósseis e 2,8% de origem nuclear (REN21, 2011).

Para 2030 prevê-se um aumento significativo da renda per capita em todas as regiões de forma global, podendo resultar num maior consumo de fontes energéticas, principalmente a elétrica, em consequência da melhoria da qualidade de vida, enquanto que a tendência quanto ao crescimento da população em algumas regiões de forma globalizada deverá permanecer até 2050. Estas tendências deverão influenciar os governantes quanto às políticas públicas necessárias e as estratégias de investimentos futuros na área de energia (GLENN *et al.* 2011).

As principais energias renováveis estão descritas nos tópicos a seguir, em uma breve contextualização.

3.1.1 Biomassa

A biomassa é todo insumo renovável proveniente de matéria orgânica produzida em um ecossistema (animal ou vegetal), que pode ser utilizada na produção de energia elétrica, sendo apenas uma parte dessa matéria utilizada como biomassa, devido ao que o ecossistema absorve para sua própria manutenção. E assim como outras fontes renováveis de energia, é uma forma indireta da energia solar. Assim, para definir a biomassa para geração de energia elétrica, exclui-se os combustíveis fósseis. (EDUARDO & MOREIRA, 2010; MONTEIRO *et al.*, 2013).

Existem vários tipos de tecnologias empregadas para a produção de energia elétrica a partir da biomassa, porém todas elas estimam-se a conversão de matéria orgânica em um produto mediatário que será utilizado em uma máquina motriz, fazendo com que esta máquina gere energia mecânica movendo-se o gerador de energia elétrica. De maneira geral todas as tecnologias existentes são aplicadas em processo de cogeração. Esse sistema de cogeração permite produzir sincronicamente energia e calor e assim permitem configurar estes sistemas à forma mais coerente para a utilização de combustíveis. No entanto dentre os principais processos de conversão da biomassa em energéticos e seu aproveitamento, podemos citar a combustão direta, gaseificação, pirólise, digestão anaeróbica, fermentação e a transesterificação (ATLAS, 2008; WWF, 2012; CEMIG, 2012).

A biomassa é uma das fontes que tem crescido muito no Brasil com sistemas de cogeração do setor industrial e de serviços e possivelmente tende a crescer muito mais aos longos dos anos. Vários são os fatores para esse crescimento sendo os principais deles a capacidade já instalada até agora e o aumento do potencial da produção de cana-de-açúcar, motivado pelo consumo crescente do etanol (EDUARDO & MOREIRA, 2010).

3.1.2 Energia Eólica

A energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento) vem sendo usado pelo homem há mais de 3.000 anos. O conceito de gerar energia elétrica a partir dos ventos teve início no século XIX, naquela época eram usados os moinhos para moer grãos, transportar mercadorias em barcos a vela e bombear água, sendo utilizado o mesmo método até os dias de hoje, onde o vento atinge a hélice da qual gira um eixo impulsionando gerador (ATLAS, 2008).

As tecnologias de aproveitamento para a geração de energia eólica, se dá através dos aerogeradores eólicos que têm por objetivo principal maximizar o aproveitamento do vento para geração de eletricidade, obedecendo os seguintes aspectos como locais com muito ou pouco vento, conexão aos sistemas elétricos locais, desempenho aerodinâmico, desempenho acústico, situações climáticas extremas, integração com o meio ambiente e impacto visual. As turbinas são classificadas como pequenas, médias e grandes (ATLAS, 2008; CEMIG, 2012).

Apesar deste tipo de tecnologia não queimar combustíveis fósseis e conseqüentemente não produzir emissões atmosféricas poluentes, a sua implantação com fazendas eólicas não é plenamente privada dos impactos ambientais, visto que elas modificam as paisagens com suas grandes torres e hélices e ainda ameaçam as aves se forem implantados em rotas migratórias. Sem contar os ruídos emitidos (baixa frequência) que podem causar incomodo e até mesmo interferências nas TVs. Outro problema grande também enfrentado é o alto custo dos geradores eólicos e ainda assim com esses custos elevados acaba sendo uma fonte de alternativa viável, pois tem um retorno financeiro a curto prazo (CEMIG, 2012; SILVA & BRITO, 2016).

Assim no âmbito nacional e em relação à crise energética existente, as perspectivas quanto ao uso dessa energia são cada vez maiores e apesar de estarem em crescimento no Brasil, no mundo ela já movimentava cerca de 2 bilhões de dólares. No Brasil o Ceará foi o primeiro estado a se manifestar em relação a essa energia e assim estimulou vários outros estados brasileiros que hoje tem 20,3 MW de capacidade instalada em território nacional conectadas a rede elétrica (ANEEL, 2016; SILVA & BRITO, 2016).

3.1.3 Energia Geotérmica

A energia geotérmica ou geotermal é proveniente do calor existente no interior da terra e existe desde que o planeta foi criado. Ela surgiu na Itália em 1904 com tentativas de gerar eletricidade a partir dessa energia, porém não foi bem-sucedido devido substâncias encontradas no vapor absorvido. Assim, os principais recursos desta energia são os gêiseres (fontes de vapor no interior da terra que demonstra erupções frequentemente) e onde existem água ou rochas a temperaturas altas, possibilitando o seu aproveitando de energia térmica e consequentemente energia elétrica. Portanto, esta água a temperaturas altas produz o vapor que posteriormente alimenta os geradores de turbina e produz a eletricidade. Essa fonte alternativa de energia é possível em razão da capacidade natural da terra em reter calor em seu interior, onde acha-se magma que se constitui em rochas derretidas. Atualmente existem três formas de aproveitamento da energia geotérmica dentre elas a utilização direta, centrais geotérmicas e as bombas de calor (CEMIG, 2012; PIMENTA-NETO & ARAUJO, 2014).

Este tipo de energia possui muitos benefícios em relação aos impactos ambientais como não agredir o solo, custo baixo para manutenção, não é vulnerável ao clima, benefícios em áreas afastadas, porém também gera impactos ambientais como liberação de dióxido de enxofre que é prejudicial à saúde e altamente corrosivo gerando também um odor desagradável, eventual afundamento do terreno, possível contaminação de lagos e rios e a principal desvantagem é que só pode ser operada em áreas propícias (PIMENTA-NETO & ARAUJO, 2014).

No Brasil existem poucas áreas para esse tipo de aproveitamento de energia, e mesmo as que existem praticamente não são utilizadas. Não há produção de energia geotérmica no Brasil, o país aproveita apenas o calor gerado por águas termais e utiliza as mesmas para o turismo como encontrado nas cidades de Poços de Caldas (MG) e Caldas Novas (GO) (ATLAS, 2008).

3.1.4 Energia hidráulica

A energia hidráulica teve origem desde os tempos remotos no século II a.C, onde utilizavam-se as famosas “noras” (rodas de água do tipo horizontal),

na qual começaram-se a substituir o trabalho animal pelo trabalho mecânico. E assim com o desenvolvimento tecnológico no século XVIII surgiram as primeiras turbinas e os motores hídricos o que favoreceu na transformação de enérgica mecânica em energia elétrica. Essa energia tinha como parâmetros a acumulação, a aceleração e a evaporação da água, características estas causadas pela energia gravitacional e pela irradiação solar, tornando estes responsáveis pela geração de energia elétrica (ATLAS, 2008; CEMIG, 2012).

A constituição de uma usina hidroelétrica, se dá de forma conjunta e integrada sendo formada basicamente pelo sistema de captação e adução da água, pela barragem, pela casa de força e pelo vertedouro. A finalidade da barragem é interceptar água, formando um reservatório onde será armazenada a água. Afora o armazenamento de água este reservatório facilita para que a vazão do rio seja adequada, tanto em dias chuvosos quanto em dias de estiagem, acarretando na captação da chuva em volume adequado e em uma diferença de altura de modo que se torna essencial para a geração de energia hidroelétrica (EDUARDO & MOREIRA, 2010; CEMIG, 2012).

Mesmo com o alto custo para implantação de usinas hidroelétricas, o preço do seu combustível principal (a água) é zero o que o torna uma energia renovável e não poluidora de gases poluentes na atmosfera, contribuindo para a luta contra o aquecimento global. Entretanto apesar de ser uma energia renovável e não liberar gases poluentes, as usinas hidroelétricas causam grandes impactos ambientais e sociais na sua implantação como a destruição vegetal natural, o assoreamento do leito dos rios, o desmoronamento de barreiras, a extinção de certas espécies de peixes, além dos impactos sociais relacionados ao deslocamento das populações que ali viviam (QUEIROZ *et al.* 2013).

O Brasil hoje desfruta das hidroelétricas como sendo sua principal fonte de energia, composto atualmente por 1220 usinas hidroelétricas com capacidade total de 92.415 MW instalada correspondendo a 61,34% na matriz elétrica brasileira, e esses números tendem a subir nos próximos anos com mais sete empreendimentos em construção e seis para iniciar (ANEEL, 2016).

3.1.5 Energia do Mar

Assim como algumas energias a energia dos oceanos é indiretamente oriunda da energia solar, visto que o sol aquece a superfície da terra provocando os ventos que de modo em contato com a água transfere energia através da operação das tensões cisalhantes, que por sua vez resulta na formação e crescimento das ondas. Essa energia teve origem no século XII na Europa, onde usavam-se moinhos submarinos nas entradas de estreitas baías (o fluxo e o refluxo movimentavam as pedras de moer).

A energia proveniente do mar demonstra grandes quantidades de energia armazenada no deslocamento das suas massas de água, sendo essa energia uma grande oportunidade em todo o mundo, visto que é uma energia limpa sem agredir ao meio ambiente (ATLAS, 2008). Para o aproveitamento dessa energia existem no momento basicamente 4 tecnologias envolvidas, energia das ondas, energia das marés, energia térmica dos oceanos e energia cinética através das correntes marítimas. Contudo há perspectivas de aperfeiçoamento de diferentes tecnologias, que ainda estão a dar os primeiros passos, que serão aprimoradas e posteriormente expandidas em todo o mundo ao longo dos anos (CEMIG, 2012).

Este tipo de energia ainda não tem um grande avanço mundial, entretanto em nosso país estudos feitos pela Coordenação de Pós-Graduação de Engenharia (Coope) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), visam um potencial de geração de 40 GW existente. Desta forma foi instalado um protótipo de forma experimental no Porto de Pecém no estado do Ceará e é a primeira usina da América Latina movida pela força das ondas, tendo a capacidade de geração de 50 kW (ATLAS, 2008; CEMIG, 2012).

3.1.6 Energia Solar

A energia solar, como fonte de luz ou de calor, é atualmente a alternativa energética mais promissora para geração de energia no mundo (PINHO; GALDINO, 2014).

O mundo tem ligação com a energia desde os tempos primórdios, mais especificamente no século VII a.C, visto que já naquela época o sol era utilizado para secar peles e alimentos e até mesmo para fazer fogo na qual usavam lentes para concentrar o sol e assim queimar pequenos pedaços de madeira. O sol é o maior potencial de energia que supre a terra, sendo uma fonte indireta de quase todas as outras formas de energia (hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos). O processo de energia oriunda sol acontece com o aquecimento da atmosfera desproporcional, produzindo a circulação atmosférica e o ciclo das águas, de forma a serem aproveitados nos parques eólicos e com seu represamento posteriormente proporcionando a geração hidroelétrica. Existem duas formas para o aproveitando do potencial de sendo elas a sistemas de altas temperaturas e as sistemas de coletores solares (EDUARDO & MOREIRA, 2010; DANIEL *et al.* 2016).

O Brasil, em relação à energia solar, é considerado privilegiado, visto a imensa incidência de raios solares emitidos em seu território e pelas reservas de quartzo para a produção do silício, utilizados na fabricação de células solares. Ainda em razão disso vários são os benefícios como gases não poluentes na atmosfera comparada a outras energias, a mínima manutenção em suas centrais, a sua utilização em lugares remotos ou de difícil acesso, e uma grande vida útil de seus sistemas implantados. Entretanto, ainda causa alguns impactos ambientais como emissões de produtos tóxicos durante a produção do insumo utilizado para a produção dos módulos e componentes periféricos, não podendo ser usado nos períodos de chuva e noturno (AGUILAR *et al.* 2012).

Com a grande e acelerada crescente da energia solar, o Brasil atualmente possui atualmente 39 usinas solares com capacidade de 22.952 kW representando 0,0150% na matriz elétrica brasileira conectadas a rede elétrica e as não conectadas a rede estima-se o consumo entre 300 a 500 kWh/mês (ANEEL, 2016).

3.2 Radiação solar: captação e conversão

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre provém da região da fotosfera solar (camada que define a superfície do sol). Porém, esta radiação não se apresenta como um modelo de regularidade, pois há a influência

das camadas externas do Sol (cromosfera e coroa), com pontos quentes e frios, erupções cromosféricas, etc (BRASSEUR e SOLOMON, 1986).

Apesar disto, pode-se definir um valor médio para o nível de radiação solar incidente normalmente sobre uma superfície situada no topo da atmosfera. Dados recentes da WMO (*World Meteorological Organization*) em 2002 indicam um valor médio de 1367 W/m^2 para a radiação extraterrestre. Fórmulas matemáticas permitem o cálculo, a partir da “Constante Solar”, da radiação extraterrestre ao longo do ano, fazendo a correção pela órbita elíptica.

A radiação solar é radiação eletromagnética que se propaga a uma velocidade de 300.000 km/s , podendo se observar aspectos ondulatórios e corpusculares. Em termos de comprimentos de onda, a radiação solar ocupa a faixa espectral de $0,1 \mu\text{m}$ a $5 \mu\text{m}$, tendo uma máxima densidade espectral em $0,5 \mu\text{m}$, que é a luz verde (PEREIRA & COLLHE, 1997).

É através da teoria ondulatória, que são definidas, para os diversos meios materiais, as propriedades na faixa solar de absorção e reflexão e, na faixa de $0,75$ a $100 \mu\text{m}$ (correspondente ao infravermelho), as propriedades de absorção, reflexão e emissão (IQBAL, 1983).

De toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Esta fração que atinge o solo é constituída por uma componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa. Notadamente, se a superfície receptora estiver inclinada com relação à horizontal, haverá uma terceira componente refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos etc.). O coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de “albedo” (CRESEB, 2002).

Antes de atingir o solo, as características da radiação solar (intensidade, distribuição espectral e angular) são afetadas por interações com a atmosfera devido aos efeitos de absorção e espalhamento. Estas modificações são dependentes da espessura da camada atmosférica, também identificada por um coeficiente denominado “Massa de Ar” (AM), e, portanto, do ângulo Zenital do Sol, da distância Terra-Sol e das condições atmosféricas e meteorológicas.

Devido à alternância de dias e noites, das estações do ano e períodos de passagem de nuvens e chuvosos, o recurso energético solar apresenta grande variabilidade, induzindo, conforme o caso, à seleção de um sistema apropriado de estocagem para a energia resultante do processo de conversão (CRESEB, 2002).

Observa-se que somente a componente direta da radiação solar pode ser submetida a um processo de concentração dos raios através de espelhos parabólicos, lentes etc. Consegue-se através da concentração, uma redução substancial da superfície absorvedora solar e um aumento considerável de sua temperatura (CHANDRASEKHAR, 1950).

Pelos cálculos da astronomia obtém-se que a duração do dia é função da época do ano e da localização do lugar escolhido no globo terrestre. Também, para um observador numa dada posição, a trajetória aparente do Sol (o plano da eclíptica) no céu muda ao longo do ano. Esta característica é importante para o projeto de sistemas de conversão que fazem o rastreamento solar visando uma concentração dos raios solares e para a escolha da orientação de painéis fixos de forma a otimizar o resultado alcançado durante o ano (CRESEB, 2002).

No Hemisfério Sul, o sistema de captação solar fixo deve estar orientado para o Norte Geográfico de modo a melhor receber os raios solares durante o ano, e ser colocado inclinado com relação à horizontal de um ângulo próximo ao da latitude do lugar, conseguindo-se captar um máximo de energia solar ao longo do ano. É evidente que, próximo ao Equador, o melhor posicionamento é o horizontal, sendo dada, no entanto, pequena inclinação para a drenagem de água na superfície externa do equipamento. Há, entretanto, como mencionado, outras formas de montagem para um sistema de captação solar que seguirá o Sol, tais como: conjunto seguidor de 1 eixo Norte-Sul, de 1 eixo leste-oeste e de 2 eixos ou altazimutal (GRESEB, 2002).

Quando for necessário se fazer estudos de simulação onde são necessários valores instantâneos dos componentes da radiação solar ou da radiação total (global + refletida) instantânea, requer o uso de programas computacionais especialmente desenvolvidos por Rossi (1985) e Barzolla (1992).

Todos os mapas de radiação solar disponíveis apoiaram-se, em valores medidos. A maior parte dos instrumentos de medição disponíveis hoje no Brasil medem apenas o número de horas de insolação. Um número bem mais reduzido de equipamentos é capaz de medir a radiação global no plano horizontal. Além disso, a escassez de pontos de medição aumenta a dificuldade em estimar-se corretamente o recurso solar. Isto concorreu para o desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de técnicas de tratamento destas grandezas de modo a gerar, com o máximo de fidelidade, valores mais úteis no dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos. Paralelamente, esforços têm sido feitos para melhoria de dados tanto de radiação terrestre quanto por meio de satélites. Os instrumentos de medição do recurso solar mais comumente encontrados são os piranômetros (radiação global), actinógrafos (radiação global), heliógrafos (número de horas de insolação) e os piroheliômetros (radiação direta normal) e baseiam-se em sensores do tipo termopilhas, pares bimetálicos ou fotocélulas (GRESESB, 2002).

Os equipamentos que utilizam as fotocélulas como elemento sensor, embora mais baratos, apresentam a desvantagem de não possuírem uma resposta espectral adequada: as fotocélulas apresentam uma não uniformidade na resposta espectral. Convém ser lembrado que quando da montagem do sistema de captação, a orientação para a direção Norte Geográfico pode ser feita através de uma bússola, que indica o Norte Magnético. Através do Mapa de Declinação Magnética (apresentada em anexo) e variação anual do Observatório Nacional é determinada a correção angular necessária (BRASSEUR e SOLOMON, 1986).

3.3 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é a geração de corrente ou tensão através da exposição à luz de um material semicondutor que, neste estudo, trata-se do Silício. Encontrado de maneira abundante na natureza, o Silício, quando beneficiado de forma correta, pode atingir pureza de até 99,999 % e formar cristais os quais não possuem boa condutividade elétrica. Entretanto, quando dopado com Fósforo, torna-se Silício tipo N, que é semicondutor com apenas um elétron na camada de valência. Este elétron não está totalmente livre, embora necessite apenas de uma pequena quantia de energia para ser liberado. Do

mesmo modo, quando dopado com Boro, torna-se Silício tipo P, que possui a ausência de um elétron, denominado de lacuna. Portanto, deseja receber um elétron para se tornar estável (TOLMASQUIN, 2003).

A geração de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos divide-se em duas categorias: Off-Grid e Grid-Tie. A escolha entre os dois modos é definida pela disponibilidade (ou necessidade) de uma rede de distribuição nas proximidades. Esta decisão impacta diretamente o custo geral do sistema (SANTOS, 1997).

3.3.1 Geração Off-Grid

O sistema de geração solar fotovoltaico off-grid ou isolado é aquele que não é conectado à rede de distribuição pública. Por esta especificação, necessita armazenar energia para períodos onde a irradiação solar não é suficiente para alimentar as cargas sem que haja falha na operação deste sistema. Para tanto, utiliza bancos de baterias estacionárias. Além das baterias, este modelo requer o uso de controladores de carga e, opcionalmente, inversor de tensão CC-CA, caso as cargas a serem alimentadas necessitem de corrente alternada para o seu funcionamento (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Por não necessitar de uma fonte complementar de energia externa proveniente de uma rede de distribuição, esta modalidade de geração solar é indicada para moradias em locais onde as concessionárias não atendem e aplicações onde não pode haver a interrupção de energia como, por exemplo, em alarmes, câmeras de segurança, estações de monitoramento, sistemas de telecomunicações, entre outras (SANTOS, 1997).

Embora seja uma opção aplicável em algumas situações, ela se apresenta mais onerosa do que o modo grid-tie, tendo em vista que, além do custo associado aos controladores de carga, a necessidade de baterias estacionárias torna o conjunto gerador mais caro em seu custo inicial e, posteriormente, na manutenção, uma vez que as baterias utilizadas têm vida útil entre 4 e 5 anos.

3.3.2 Geração Grid-Tie

Geradores solares fotovoltaicos grid-tie ou on-grid são aqueles que possuem conexão com a rede de distribuição da concessionária e que serão alvo principal do estudo abordado neste trabalho. Diferentemente do off-grid, este modo dispensa a necessidade de armazenamento de energia e seu objetivo principal é mitigar custos de energia elétrica e/ou criar um saldo positivo junto à concessionária, tendo a garantia de fornecimento de energia da rede pública caso as condições de irradiação solar não sejam favoráveis (ROSA, 2018).

Este modelo de geração difere do anterior pela ausência de baterias e controladores de carga. O inversor CC-CA (Corrente Contínua para Corrente Alternada) é específico para esta finalidade.

4. METODOLOGIA

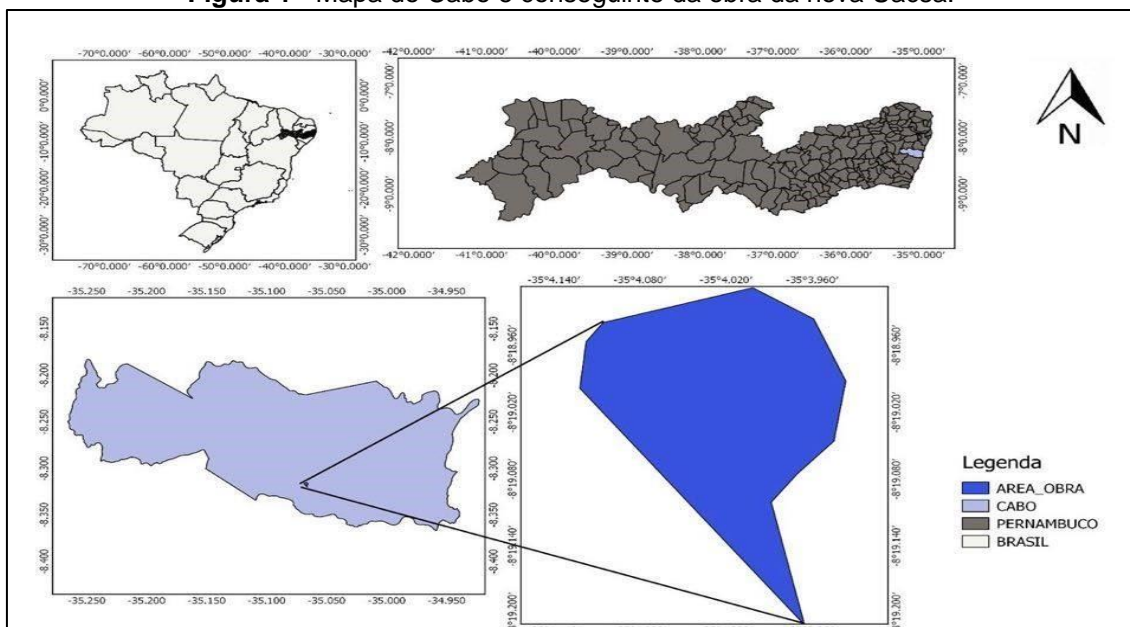
Nesse tópico, serão abordados a área do estudo de caso, bem como os procedimentos metodológicos para a realização do trabalho.

4.1 Área de estudo

O novo campus da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (Uacsa) será construído no município do Cabo de Santo Agostinho, situado a 38,5 km da capital Recife (Figura 1), sob as coordenadas 8° 18' 57,35" S e 35° 04' 01,43" O. Será construída uma usina fotovoltaica de 1,0 MW com o objetivo de abastecer este novo campus. A Uacsa será mais uma das unidades acadêmicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

A obra da Uacsa é inovadora pelo fato de proporcionar a inclusão dos alunos a vivência nas empresas que atuam na sua área de conhecimento. Isto devido à proximidade com o Complexo Industrial Portuário de Suape, que abriga diversas empresas na área de engenharia, o que estreita o contato entre as empresas e o aluno.

Figura 1 - Mapa do Cabo e consequente da obra da nova Uacsa.



Fonte: CITAR, 2017.

A nova unidade possui 56 mil m² e é destinada a abrigar diversos cursos de engenharia e tecnologia, com estimativa de 6000 alunos, a sede antiga possui

200 mil m² e abriga também cursos de engenharias, com capacidade para 3000 alunos (BRASIL, 2014) (PORTAL BRASIL, 2017).

A usina possuirá uma área ocupada por placas correspondente a 5883,15 m² dividida em duas configurações de arranjos, um deles composto por 136 arranjos fotovoltaicos, formados por 21 módulos em série e 8 arranjos compostos por 22 módulos em série. A área de cada ocupada por cada arranjo é de 5541,65 m² e 341,5 m², respectivamente. Estes arranjos possuem uma média produtiva na faixa de 2627,02 kW, frisando que este valor desconsidera toda uma gama de perdas a qual a placa é suscetível, apenas considerando a eficiência e a perda da mesma.

A usina possui o intuito de suprir parte da demanda energética da Unidade Acadêmica. A Uacsa possui uma demanda máxima na faixa de 6,0 MW, ou seja, a produção da usina corresponderia a 16% do consumo máximo da unidade, ou seja, 1,0 MW de potência instalada.

A Universidade Federal de rural de Pernambuco (UFRPE) é caracterizada no grupo tarifário do Procel como Subgrupo A4, que é caracterizado por uma demanda energética superior a 300 kW (Procel, 2011), em certos casos específicos há uma contratação relativa ao valor do kWh que será cobrado ao estabelecimento, o qual a Uacsa está inserida.

4.2 Procedimento metodológico

4.2.1 Levantamento bibliográfico

Para todos os tópicos abordados foi realizado, inicialmente, um levantamento de informações bibliográficas e dados secundários obtidos em livros, dissertações, teses e artigos, adquiridos junto ao portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, e diretamente nos endereços eletrônicos das principais revistas nacionais e internacionais sobre a temática do assunto.

Dentro de tais revisões estão inclusas as justificativas para aplicação, o levantamento de leis e normas e medidas de segurança e boas práticas.

4.2.2 Trabalho de Campo

Foram realizados levantamentos de campo, para observação e análise *in loco* da área onde será implantado o empreendimento e seu entorno e fazer a coleta dos dados, bem como registros fotográficos (figura 2).

Figura 2 - Trabalho de campo para análise dos projetos da UFV.



Fonte: Autor

4.2.3 Irradiações solares para a localidade

Coletou-se dados secundários do potencial de energia solar para a região por meio do Programa SunData disponível na página do Centro de Referência de Energias Solares e Eólica Sérgio de S. Brito (Cresesb). Os dados foram tabulados e confeccionados gráficos no Excel.

4.2.4 Análise do projeto da usina fotovoltaica

Para a análise do projeto, foi utilizado o conjunto de especificações, memória de cálculo e projeto executivo da implantação da usina fotovoltaica, fornecido pela UFRPE. Foi elaborada uma lista de verificação para avaliar o atendimento aos padrões descritos nas leis e normas técnicas brasileiras. Além

do atendimento ao manual de engenharia fotovoltaica, desenvolvido pela Cepel (2015) para verificação de segurança e boas práticas.

Fatores técnicos, quando as escolhas de materiais, serão verificados durante essa etapa, por meio de análise dos dados apresentados pelo projetista, garantindo a escolha dos recursos de forma sustentável. Considerando todas, incluindo a etapa pré-instalação, desde o estudo do local, preparação estrutura de fundação civil e processo para aquisição de insumos. Como também a etapa de instalação e operação, seguindo as leis vigentes, com a implantação de medidas de segurança com aterramentos e demais medidas proteção de descargas atmosféricas, manual de uso, e uso de ferramentas adequadas, secas e com cabos isolados para montar o módulo, além de fatores para a etapa de manutenção e descarte ao fim do ciclo de vida.

4.2.5 Descrição do fluxograma da usina fotovoltaica

O fluxograma é uma ferramenta desenvolvida para representar, graficamente, as fases que compõem um processo de forma a permitir, simultaneamente, uma visão global do processo e principalmente, das características que compõem cada etapa e como se relacionam (PALADINI, 2009; SELEME, STADLER, 2010).

Para aplicação do mapeamento dos processos para a determinação do fluxograma de operação, foram realizadas visitas técnicas na obra da Uacsa para tal avaliação. Identificando as entradas e saídas do processo para implantação e operação da usina fotovoltaica.

Segundo Seleme e Stadler (2010), o fluxograma permite identificar os possíveis pontos nos quais podem ocorrer problemas.

4.2.6 Análise dos impactos ambientais

De posse do fluxograma desenvolvido, foi possível a identificação dos impactos ambientais, sociais e econômico, por meio do método de listagens (Checklist), que segundo Bastos e Almeida (2002), consiste na identificação e enumeração dos impactos, a partir da diagnóstico ambiental realizada por especialistas dos meios, físico, biótico e socioeconômico. Os impactos

decorrentes das fases de implantação, operação e desativação do empreendimento, devem ser listados e organizados em positivos ou negativos, conforme o tipo da modificação antrópica que esteja sendo introduzida no sistema analisado.

4.2.7 Cálculo da viabilidade da implantação da usina fotovoltaica da Uacsa

Para calcular a produção mensal de ambos os arranjos foi utilizado, como base, a irradiação média mensal do município em kWh/m².dia, que foi obtido na base de dados Cresesb. Multiplicou-se tal irradiação pela quantidade de dias do devido mês e a área de cada arranjo, em m², e dividiu-se pela quantidade de horas que o sol permanece visível no mês. Assim soube-se a quantidade de energia fornecida aos arranjos fotovoltaicos, usando a seguinte fórmula:

$$Produção = (Irr. A. d)/H \quad (1)$$

Onde:

- Produção: produção mensal do arranjo, em kW
- Irr: Irradiação média mensal (kWh/m².dia)
- A: Área do arranjo, em m²
- d: Quantidade de dias no mês
- H: Quantidade de horas ao qual o sol permanece visível no mês.

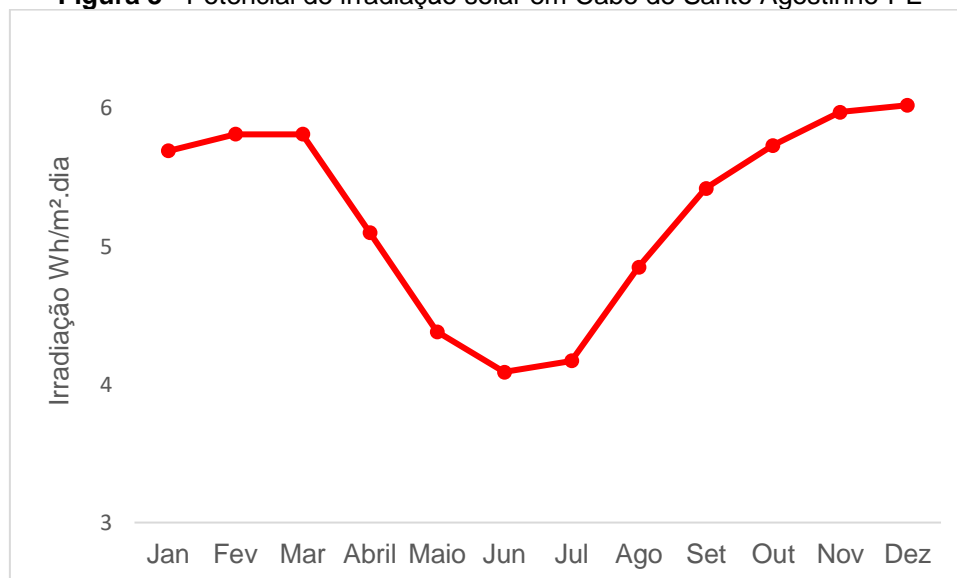
Com estas informações soube-se a viabilidade daquela localidade para a geração de energia elétrica fotovoltaica e calculou-se a viabilidade desta Usina Fotovoltaica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Potencial de Irradiação solar para a região

A figura 3, a seguir apresenta o potencial de irradiação diária para o município do Cabo de Santo Agostinho, onde será instalado o empreendimento.

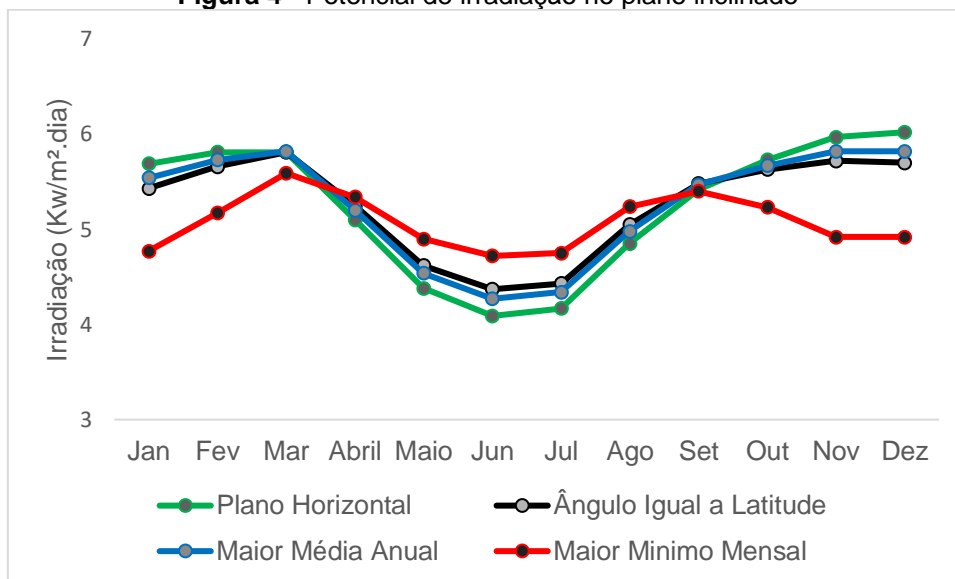
Figura 3 - Potencial de irradiação solar em Cabo de Santo Agostinho-PE



Fonte: Adaptado da Cresesb (2020).

Observando a figura anterior é possível notar que de janeiro a março a irradiação varia de 5,69 a 5,81 Wh/m².dia, já de abril a julho a irradiação diminui, disponibilizando o menor registro, 4,09 Wh/m².dia no mês de junho. Já nos meses de setembro a outubro, a região apresenta uma maior disponibilidade, chegando ao maior potencial em novembro e dezembro com 5,97 e 6,02 Wh/m².dia. Essa variação se deve ao período chuvoso da região, quando há aumento de nuvens, o que intercepta os raios solares impedindo de chegar até a região. Tais resultados também foram encontrados no Atlas Eólico e Solar de Pernambuco (2019), onde esse apresenta que as maiores áreas de maior capacidade do Estado para a radiação solar têm um mínimo em junho e o máximo em novembro.

Na figura 4, estão apresentados a irradiação solar no plano inclinado e com o ângulo inclinado igual a latitude.

Figura 4 - Potencial de irradiação no plano inclinado

Fonte: Adaptado da Creseb (2020).

Conforme visto, a irradiação solar ofertada na região varia de 4,09 a 6,02 kW/m².dia entre os meses de junho a dezembro, quando medida num plano horizontal ou perpendicular à direção da propagação dos raios solares sobre a terra. Segundo o Atlas Solar Brasileiro a média estimada dos valores de irradiação solar global sobre todo o país no período de julho de 1995 a dezembro de 2005 é de 1500 a 2005 kWh/m² (PEREIRA *et al.* 2006).

5.2 Análise do projeto da usina fotovoltaica

5.2.1 Quanto ao atendimento as legislações

Nessa etapa, foram observados se o projeto está em conformidades com as leis vigentes.

De posse do projeto, foi possível perceber que o mesmo, foi elaborado seguindo-se as recomendações técnicas de normas brasileiras, internacionais e da concessionária de energia acessada, bem como os aspectos legais de conexão de Minigeração à rede estipulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sendo as normas abaixo as principais referências deste projeto.

RESOLUÇÃO NORMATIVA nº 414, DE 09 DE SETEMBRO DE 2010 - estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.

RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012 - Estabelece as condições gerais para o acesso de Minigeração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

RESOLUÇÃO NORMATIVA nº 517, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2012 - Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

RESOLUÇÃO NORMATIVA nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015 - altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST - Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição.

Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica

Nota Técnica nº 0129/2012-SRD/ANEEL - Retificação da Seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição.

ABNT NBR 5410/2004 – Instalações elétricas em baixa tensão.

ABNT NBR 5419/2015 – Proteção contra descargas atmosféricas.

GED – 13 – Fornecimento em Tensão Secundária de Distribuição.

GED – 15303 – Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

5.2.2 Quanto as questões ambientais

Levou-se em consideração a capacidade de incidência solar da região, condições topográficas, onde a área deveria no máximo apresentar uma declividade de 10%, proximidade de rede de transmissão de alta tensão, baixa fertilidade agrícola, além é claro não apresentar moradias, para evitar deslocamento de famílias ou comunidades. Desta forma, foi possível perceber que a referida área tem potencial para receber a usina solar, por apresentar todas as condições ideais para instalação da usina. A figura 5 mostra a o local onde será instalada a UFV da Uacsa, com o detalhe de onde será instalada as placas fotovoltaicas.

Figura 5 - Local de instalação da UFV da Uacsa.



Fonte: Autor

Para o presente projeto serão utilizados 3032 módulos fotovoltaicos do fabricante GCL modelo P6/72-330W. Os módulos fotovoltaicos serão instalados no solo da unidade consumidora. As características técnicas e construtivas do modelo utilizado podem ser consultadas no Anexo - Datasheet Módulo GCL-6/72-330Wp. Todos os módulos fotovoltaicos utilizados são idênticos, ou seja, possuem as mesmas características elétricas mecânicas e dimensionais. Os módulos fotovoltaicos serão instalados em 4 (quatro) platôs de diferentes níveis e distribuídos em arranjos fotovoltaicos.

5.2.3 Quanto as características técnicas

5.2.3.1 Arranjo Fotovoltaico

Um arranjo fotovoltaico é caracterizado por um conjunto de módulos conectados em série, de forma a atingir o nível de tensão contínua (V_{CC}) ideal de operação na entrada do inversor. O sistema deste projeto, é composto por

136 arranjos sendo formados por 21 módulos em série e 8 arranjos sendo formados por 22 módulos em série.

Os arranjos fotovoltaicos foram dimensionados tendo como base as seguintes diretrizes:

- Potencial elétrico a ser injetado na rede de distribuição;
- Integração mecânica dos módulos fotovoltaicos;
- Tensão mínima, em ponto de máxima potência, do inversor interativo;
- Tensão máxima de funcionamento do inversor interativo;
- Corrente máxima de entrada do inversor interativo;
- Eficiência média do inversor interativo;
- Potência pico dos módulos fotovoltaicos;
- Temperatura de funcionamento das células fotovoltaicas;
- Perdas de potência elétrica, por efeito Joule, nos condutores.

A tabela 1 mostra as características elétricas dos módulos fotovoltaicos.

**Tabela 1 - Características Elétricas do Módulo Fotovoltaico
Condições Padrões de Teste (STC)**

Característica elétrica	Valor	Unidade
Máxima Potência (P_{max})	330,00	W
Tensão em Máxima Potência (V_{max})	37,80	V
Corrente em Máxima Potência (I_{max})	8,73	A
Tensão em Circuito Aberto (V_{oc})	46,20	V
Corrente de Curto Circuito (I_{oc})	9,33	A
Eficiência do Módulo (%)	17,00	%
Tolerância de Potência de Saída (P_m (W))	0 a ± 5	W
Operação Normal da Temperatura da Célula (NOCT)		
Máxima Potência (P_{max})	237,71	W
Tensão em Máxima Potência (V_{max})	34,50	V
Corrente em Máxima Potência (I_{max})	6,89	A
Tensão em Circuito Aberto (V_{oc})	42,9	V
Corrente de Curto Circuito (I_{oc})	7,80	A

Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE.

O projeto contemplará dois modelos de arranjos:

a) Arranjos com 21 módulos

Esse modelo de arranjo apresenta 21 (vinte e um) módulos conectados em série resultando na tensão de operação igual à $794 V_{CC}$ e tensão em circuito aberto igual a $970 V_{CC}$. A corrente de saída de cada arranjo é igual à 8,73 A.

$$\text{Tensão de operação} = 21 \cdot (V_{\max}) = 21 \cdot 37,8V = 794V$$

$$\text{Tensão em circuito aberto} = 21 \cdot (V_{oc}) = 21 \cdot 46,2V = 970V$$

b) Arranjos com 22 módulos

Esse modelo de arranjo apresenta 22 (vinte) módulos conectados em série resultando na tensão de operação igual à $832 V_{CC}$ e tensão em circuito aberto igual a $1016 V_{CC}$. A corrente de saída de cada arranjo é igual à 8,73 A.

$$\text{Tensão de operação} = 22 \cdot (V_{\max}) = 22 \cdot 37,8V = 832V$$

$$\text{Tensão em circuito aberto} = 22 \cdot (V_{oc}) = 22 \cdot 46,2V = 1016V$$

A Figura 6 mostra a Imagem Ilustrativa do Módulo GCL-P6/72 – 330.

Figura 6 - Imagem Ilustrativa do Módulo GCL-P6/72 - 330



Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE.

5.2.3.2 Inversor interativo (GRID-TIE)

O inversor interativo é um equipamento eletrônico que converte a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, compatível com a rede de distribuição da distribuidora de energia local. Neste projeto, serão utilizados 18 inversores do fabricante Hauwei modelo SUN2000 – 50kTL cuja potência nominal de saída é de 50,0 kVA. As características elétricas, mecânicas e eficiências deste modelo são apresentadas no Anexo - Datasheet Inversor Hauwei SUN2000 – 50kTL. Grau de proteção IP65.

O modelo de Hauwei SUN 2000 – 50KTL possui quatro entradas de seguimento de máxima potência (MPPT). Estas entradas se ajustam constantemente às variações de irradiância e temperatura às quais o arranjo fotovoltaico estará submetido.

A figura 7 mostra a Imagem Ilustrativa do Inversor Hauwei SUN 2000-50Kt.

Como em todo e qualquer inversor interativo, este modelo se adapta às condições de operação (tensão, frequência, impedância, etc.) da rede à qual estará conectado. Além disso, o inversor conta com as seguintes funções acopladas:

- Proteção de sub e sobre tensão;
- Desbalanço de tensão;
- Proteção de sub e sobre frequência;
- Sistema de sincronismo digital;
- Anti-ilhamento;
- Proteção de sobrecorrente;
- Proteção contra falha na Rede;
- Sistema de balanceamento de fases;
- Elemento de desconexão automático;
- Isolamento CC.

- **Figura 7** - Imagem Ilustrativa do Inversor Hauwei SUN 2000-50ktl



Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE.

A tabela 2, a seguir, apresenta as Características Elétricas do Inversor Hauwei 2000 - 50KTL.

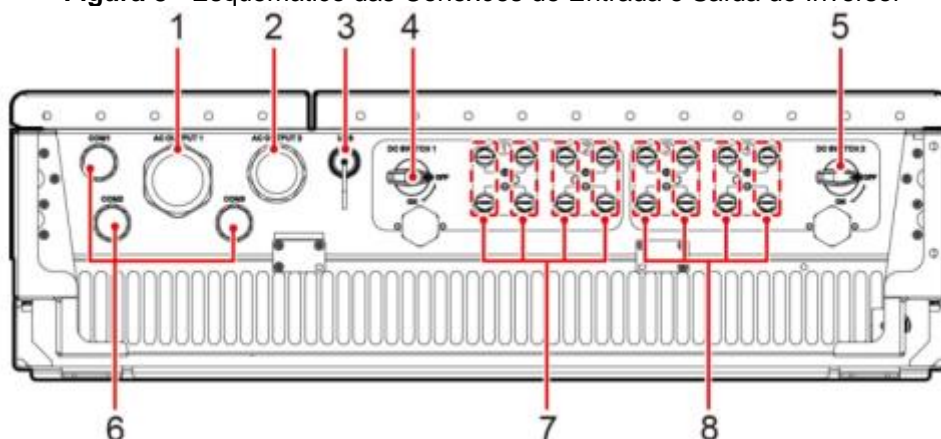
Tabela 2 - Características Elétricas do Inversor Hauwei 2000 - 50KTL

Características elétricas	Valor	Unidade
Máxima Potência de Entrada	51.500	W
Máxima Tensão de Entrada	1.100	V
Máxima Corrente de Entrada (por MPPT)	22	A
Máxima corrente de Curto-Circuito (por MPPT)	30	A
Máxima Corrente reversa para o arranjo fotovoltaico	0	A
Mínimo Tensão Operação/Startup	200 / 250	V
Máxima Tensão de Operação	1.000	V
Range de Tensão do MPPT	200 – 1.000	V
Tensão de MPPT em máxima Potência	600 – 850	V
Número de Entradas	8	Unidades
Número de MPPT	4	Unidades
Potência Ativa Nominal	46.000	W
Máxima Potência Aparente	50.500	VA
Máxima Potência Ativa ($\cos \theta = 1$)	50.500	W
Tensão de Saída (3F + PE)	277/480	V
Corrente de Saída Nominal	55,3	A
Frequência de Operação	60	Hz
Máxima Corrente de Operação	60,8	A
Fator de Potência	+/- 0,8	
Máxima Distorção Harmônica	< 3	%

Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE.

Conexões CC e CA

Figura 8 - Esquemático das Conexões de Entrada e Saída do Inversor



Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE

No quadro 1 são apresentadas as conexões presentes no inversor Hauwei 2000 – 50KTL.

Quadro 1 - Entrada e Saída de Cabos CC e CA do inversor Hauwei 2000-50KTL

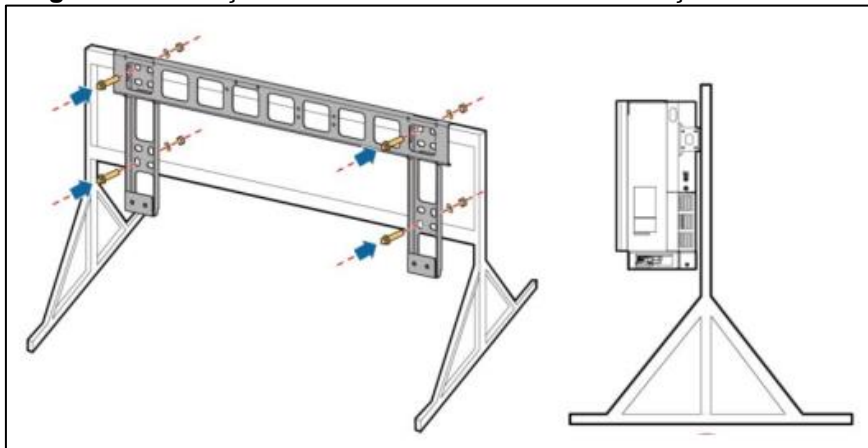
Numeração	Componente	Função
1	Conector à prova d'água (Diâmetro Interno: 18 – 44 mm)	Saída AC 01
2	Conector à prova d'água (Diâmetro Interno: 24 - 32 mm)	Saída AC 02
3	Porta USB	USB
4	Chave CC 01	Chave Seccionadora CC 01
5	Chave CC 02	Chave Seccionadora CC 02
6	Conector à prova d'água (Diâmetro Interno: 14 - 18 mm)	COM 1, COM 2, COM 3
7	Terminais CC de Entrada (Seccionados pela Chave CC 01)	Positivo (+) e Negativo (-)
8	Terminais CC de Entrada (Seccionados pela Chave CC 02)	Positivo (+) e Negativo (-)

Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE.

Local de instalação do inversor

Os inversores serão fixados próximos aos módulos fotovoltaicos, entre os *rack's* de módulos que formarão os arranjos de entrada (CC) de cada inversor com fixação em pedestais metálicos conforme ilustrados na Figura 7.

Figura 9 - Ilustração do Pedestal Metálico de Sustentação do Inversor



Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE.

5.2.3.3 Quadro de proteção CA

O projeto completo contemplará 3 (três) quadros de Proteção e Gerenciamento de Energia CA que ficarão alocados no Platô 01, Platô 02 e Platô 03 respectivamente, fixados na porção traseira do cavalete do inversor mais próximo à rua de acesso do platô.

A distribuição dos inversores em 3 (três) quadros de energia CA visa balancear a potência de chegada na subestação elevatória.

Potência Instalada:

- a) Quadro de Proteção e Gerenciamento de Energia CA 01: 350 kW
- b) Quadro de Proteção e Gerenciamento de Energia CA 02: 250 kW
- c) Quadro de Proteção e Gerenciamento de Energia CA 03: 300 kW

Quadro de Proteção e Seccionamento de Energia CA – 01

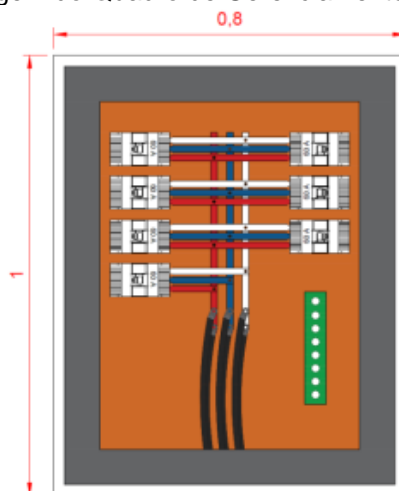
O Quadro de Proteção e Gerenciamento de Energia CA – 01 está localizado no Platô 01 fixado no suporte de sustentação do inversor 07, e

realizará a proteção e manobra dos inversores de 01 a 07 com disjuntores termomagnéticos de 60 A para cada inversor. Grau de proteção IP54.

A potência instalada no quadro é igual à 350 kW.

A Figura 7 apresenta o layout de montagem do Quadro QPGCA – 01.

Figura 10 - Layout de Montagem do Quadro de Gerenciamento e Proteção de Energia CA – 01



Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE.

Quadro de Proteção e Seccionamento de Energia CA – 02

O Quadro de Proteção e Gerenciamento de Energia CA – 02 está localizado no Platô 02 fixado no suporte de sustentação do inversor 12, e realizará a proteção e manobra dos inversores de 08 a 12 com disjuntores termomagnéticos de 60A para cada inversor. Grau de proteção IP54.

A potência instalada no quadro é igual à 250 kW.

A Figura 8 apresenta o layout de montagem do Quadro QPGCA – 02.

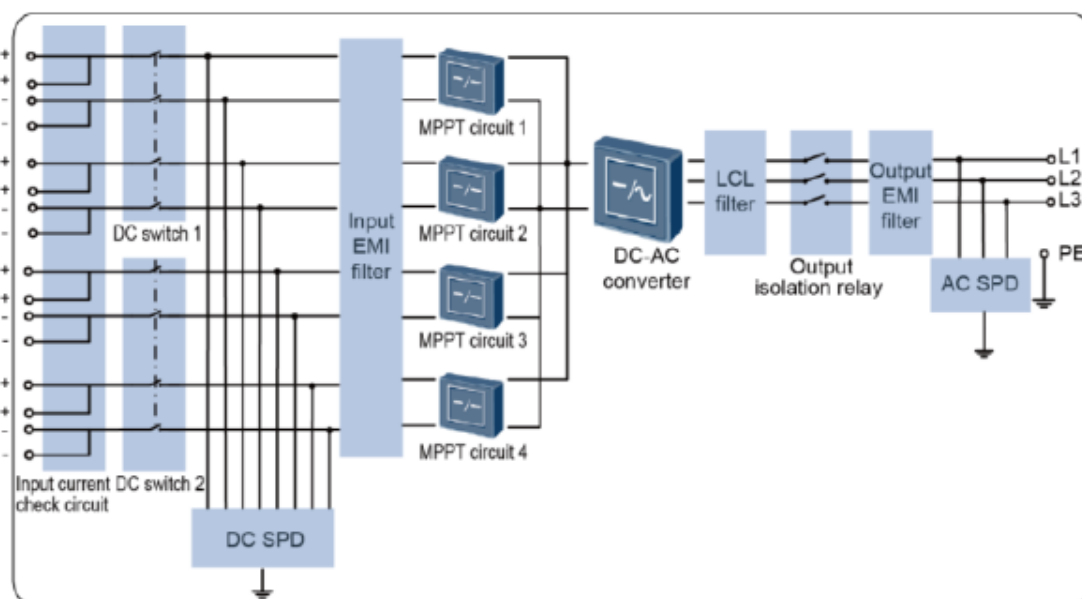
Proteções

O sistema fotovoltaico terá proteções contra surtos de corrente e surtos de tensão no circuito CC e circuito CA. As Proteções estão presentes dentro dos inversores fotovoltaicos, no Quadro CA de cada platô e no Quadro CA presente dentro da Subestação.

Cada inversor fotovoltaico Huawei 2000 – 50KTL possui duas chaves de seccionamento para manobra e gerenciamento dos arranjos fotovoltaicos. As chaves encontram-se parte inferior do equipamento, sendo cada uma, responsável pelo seccionamento de dois MPPTs.

Dentro de cada inversor, encontra-se um dispositivo de proteção contra surtos de tensão (DPS Tipo-II), impedindo que haja sobretensão aos bornes do circuito interno do inverso. A entrada CC do inversor fotovoltaico possui suportabilidade para até 1.100 V.

Figura 13 - Diagrama de Bloco do Circuito do Inversor



Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE, 2020.

O circuito CA de saída do inversor é composto por um Relé de Isolação cuja função é evitar o retorno de energia à rede em momento de falta (anti-ilhamento) e um dispositivo de proteção contra surto de tensão (DPS – Tipo II) advindos da rede elétrica local. Outros dispositivos de proteção também estão presentes no circuito do inversor conforme demonstrado no quadro 2.

Quadro 2 - Dispositivos de Proteção do Inversor Fotovoltaico

Item	SUN2000-50KTL SUN2000-50KTL-C1
Proteção Anti-ilhamento	Suportado
Chave de entrada CC	Suportado
Proteção de sobre corrente de saída	Suportado
Proteção de conexão reversa de entrada	Suportado
Detecção de falha de ligação PV	Suportado
Proteção contra sobretensão CC	Tipo II
Proteção contra sobretensão CA	Tipo II
Detecção de resistência de isolamento	Suportado
Unidade de Monitoramento de Corrente Residual (RCMU)	Suportado

Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE, 2020.

No circuito CA estão presentes os quadros de proteção e gerenciamento do sistema fotovoltaico que contém disjuntores para proteção e seccionamento em caso de sobrecorrente. Os disjuntores foram calculados a fim de proteção dos circuitos nele conectados e foram dimensionados conforme capacidade de condução de cada circuito.

a) Conexão à rede

Para escoar a energia gerada, o sistema fotovoltaico será conectado à rede elétrica da unidade consumidora. O ponto de conexão ao sistema de as instalações elétricas da unidade consumidora será na Subestação Primária. Esta alternativa viabiliza tecnicamente e tem a menor perda do sistema de fotovoltaico no empreendimento.

A potência do sistema obedece ao estabelecido na norma da concessionária acessada e na resolução nº 687 da ANEEL, que estabelecem que a potência máxima da Minigeração não seja maior do que a potência disponibilizada à unidade consumidora.

b) Qualidade de energia

A qualidade da energia é um fator primordial a qualquer instalação elétrica, para que não ocorram danos a equipamentos elétricos, acarretando em prejuízos. Neste sentido, a energia gerada pelo sistema fotovoltaico irá atender aos parâmetros de qualidade exigidos na norma da concessionária local e no

módulo 8 do PRODIST. Sempre que algum parâmetro do sistema fotovoltaico ou da rede estiver fora dos limites considerados normais de operação, o inversor interativo desconectará o sistema no tempo limite determinado pela norma, porém, continuará monitorando os parâmetros para que possa reconectar o sistema assim que possível, respeitando o tempo de reconexão estabelecido. A seguir, são apresentados os ajustes do sistema para os parâmetros de qualidade.

Faixa de operação da tensão

De forma a garantir a qualidade da energia gerada e que será injetada na rede da concessionária, o sistema foi projetado de modo a operar apenas dentro dos limites de tensão adequados apresentados na tabela 3, retirada da norma GED 15303 da CPFL. Caso a tensão no ponto de conexão comum esteja fora desses limites, o inversor interativo desconectará o sistema fotovoltaico da rede.

Tabela 3 - Condições de Tensão
Pontos de Conexão com Tensão Nominal (Vn) = 220/127 V

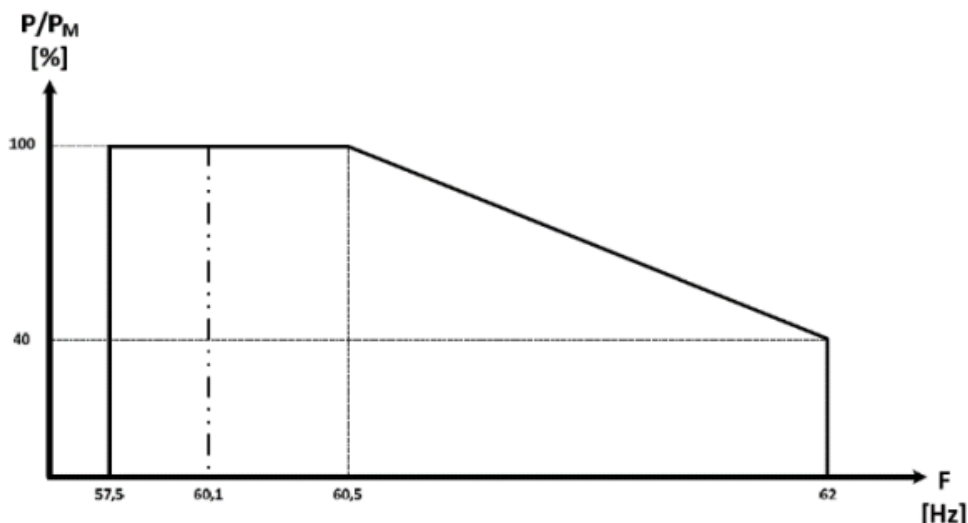
Tensão de Atendimento (TA)	Varição da tensão de Leitura (TL)
Adequada	$201 \leq TL \leq 231 / 116 \leq 133$
Precária	$189 \leq TL < 201$ ou $231 < TL \leq 233$
Crítica	$189 \leq TL < 201$ ou $231 < TL \leq 233$ $TL < 189$ ou $TL > 233 / TL < 109$ ou $TL > 140$

Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE, 2020.

Faixa de operação da frequência

O sistema de Minigeração irá operar dentro dos limites de frequência estabelecidos no item 4.18.1.6 da **NOR.DISTRIBU-ENGE-0002** – Conexão de Minigeradores ao Sistema de Distribuição. O gráfico apresentado na figura 1 a seguir, mostra o comportamento do sistema de geração em face as variações da frequência.

Figura 14 - Curva de Operação do Sistema Fotovoltaico em Função da Frequência



Fonte: Memorial descritivo do Sistema de minigeração fotovoltaica da UFRPE, 2020.

Onde:

- P = Potência gerada
- P_m = Potência máxima
- F = Frequência

Quando a frequência da rede ficar abaixo de 57,5 Hz ou acima de 62 Hz, o inversor interativo desconectará o sistema de minigeração fotovoltaico cessando a injeção de energia ativa à rede da CPFL em no máximo 200 milissegundos. Somente quando a frequência voltar à faixa de 59,9 Hz a 60,5 Hz, o sistema retornará a injetar energia. Estando a frequência da rede entre 60,5 e 62 Hz, a injeção de energia na rede será reduzida.

5.3 Fases do projeto de Usina Solar

Nessa etapa foram descritas as fases do projeto de usina solar para que todas as estruturas necessárias para o funcionamento da usina: painéis fotovoltaicos, inversores, transformadores, edifícios, subestação elétrica e a Linha de Transmissão sejam instaladas.

5.3.1 Fase de Planejamento

As principais atividades realizadas na fase de planejamento para implantação do empreendimento foram: Caracterização das alternativas para o

empreendimento, Reconhecimento ambiental inicial, Identificação preliminar dos impactos, Determinação do escopo e o Plano de trabalho.

Para caracterização das alternativas iniciou-se estudos referentes ao meio físico, biótico e econômico, considerando toda legislação ambiental vigente no âmbito federal, estadual e municipal, por meio de equipe multidisciplinar.

Inicialmente foram pesquisados empreendimentos semelhantes, além de reuniões para que houvesse uma compreensão detalhada das atividades e processos em cada etapa do ciclo de vida da usina até sua possível desativação assim como estudo de viabilidade econômica (para o empreendedor e os meios positivos para a região onde será instalada), levantando assim toda documentação inicial necessária (plantas, memoriais etc.).

Para o reconhecimento ambiental foram pesquisados estudos de planos e programas governamentais incidentes sobre a área do empreendimento, mapas fotográficos oficiais, imagens de satélite, levantamento preliminar de dados socioambientais, levantamento preliminar de estudos sobre a região, visita de campo para reconhecimento da área do projeto e do entorno, breve pesquisa bibliográfica, conversas com moradores locais, conversas com prefeitos e funcionários municipais onde foi possível uma identificação preliminar dos possíveis impactos ambientais.

5.3.2 Fase de Instalação

5.3.2.1 Canteiro de obras

A obra da Uacsa possui estrutura suficiente para acomodar os engenheiros, técnicos e demais mãos de obra que trabalharão ao mesmo tempo na obra, e podem fornecer os serviços de suporte básicos para o canteiro. Contudo não haverá necessidade de construção de alojamento no local da construção. Serão necessárias algumas adequações de infraestrutura básica e a efetiva implementação de ações no local para atender à demanda do empreendimento proposto.

As instalações do local serão concebidas e construídas de forma que estejam em conformidade com as leis e regulamentares locais aplicáveis. As instalações necessárias incluem as seguintes estruturas:

- Escritórios de obra;
- Armazém de materiais coberto e almoxarifado aberto;
- Estacionamento e pátio de máquinas;
- Refeitório;
- Sanitários e lavatórios, vestiários com armários individuais e bancos;
- Área de armazenamento de resíduos;
- Área de armazenamento de materiais perigosos e não perigosos;
- Geradores.

A montagem e instalação do canteiro de obras comportará o armazenamento de todos os equipamentos, materiais e mão-de-obra necessária à execução dos serviços, inclusive depósitos de materiais, e construção de escritórios e demais instalações. O canteiro é dividido em pátio de máquinas - onde ficam os equipamentos, guindastes, carros e alguns materiais - utilizadas na obra, canteiro da construtora e das subempreiteiras. A área do canteiro será cercada e iluminada convenientemente.

Nas instalações serão instalados sistemas de detecção de incêndio, extintores, mangueiras de incêndio e hidrantes. De acordo com os regulamentos legais e especificações normativas, extintores de características e eficiência adequadas serão instalados, com sinalização pertinente.

No término da obra serão retiradas todas as instalações provisórias do canteiro de obras, tais como equipamentos e as instalações industriais usados na construção, edificações temporárias e sucatas.

5.3.2.2 Emissões atmosféricas, ruídos e vibrações

Não haverá resíduos tóxicos durante a montagem da UFV. Materiais contendo asbestos não serão utilizados no local para nenhum propósito. Isso inclui também o material de guarnições.

Policlorobifenilos (PCBs) não devem ser utilizados no local. Não serão utilizados gases compostos de cloro e quaisquer outros gases com propensão conhecida a causar danos à camada de ozônio através de reações catalíticas destrutivas com as moléculas de ozônio. Todos os poluentes orgânicos persistentes.

(POPs) são proibidos no local.

5.3.2.3 Efluentes Líquidos industriais

Não haverá efluentes industriais. Os produtos líquidos ou pastosos devem ser armazenados em locais com contenção secundária.

5.3.2.4 Efluentes Líquidos sanitários

Durante a fase de obras haverá atividades humanas, as quais gerarão esgoto sanitário. O esgoto sanitário gerado neste empreendimento possuirá características físico-químico-biológicas comuns a qualquer esgoto sanitário para uma estimativa de 500 a 800 colaboradores.

Considerando que não há viabilidade técnica para o encaminhamento do esgoto sanitário gerado no empreendimento para uma rede/estação de tratamento de esgoto pública (pelo fato de não existir uma na região), optou-se pela implantação de uma estação compacta de tratamento de esgoto particular.

Assim, para este local há necessidade de implantação de estação de tratamento de esgoto sanitário (E.T.E.), com o objetivo de se dar uma destinação adequada a estes efluentes. A alternativa a ser implantada no empreendimento será o tratamento e posterior infiltração no solo, através de tanque séptico e vala de infiltração. Como se trata de um sistema para o canteiro de obras, ele será de caráter temporário.

5.3.2.5 Resíduos sólidos gerados

Os principais resíduos (papelão, tábuas de madeira, filmes e espumas de polímeros, óleos lubrificantes, graxas, solventes, tintas, restos / cortes de cabos e condutores, etc.) serão recolhidos e armazenados em tanques / tabuleiros

distintos para cada resíduo, numa área separada do restante das instalações e protegida contra o acesso indevido. Esta área não deve trazer efeitos negativos ao solo e à água subterrânea. O gerenciamento de resíduos irá incluir:

- Compra / locação de contêineres de acordo com os regulamentos locais e diretrizes emitidos pela CONTRATANTE;
- Aquisição de máquinas para separação de madeira e papel dos pallets dos módulos FV de acordo com os regulamentos locais;
- Retirada e tratamento de acordo com os regulamentos locais;
- Contêiner, evacuação e tratamento de peças metálicas / de alumínio de acordo com os regulamentos locais.

5.3.3 Fase de operação

Durante a operação da usina, serão realizados periodicamente a aparagem da vegetação e limpeza dos módulos. Em relação a emissões atmosféricas, ruídos e vibrações, efluentes líquidos industriais, efluentes líquidos sanitários e resíduos sólidos gerados, permanecerão como descritos na etapa de implantação.

5.3.4 Fase de desativação

Devido aos princípios construtivos das UFV, no final da vida útil podem ser removidos 100% do material utilizado (extração mecânica das estacas e cabeamentos) e o terreno poderá ser utilizado sem restrições para qualquer outra finalidade. Na fase de desmontagem os materiais da planta serão reaproveitados:

- Estacas e os cabos serão retirados do solo. Aço e/ou alumínio serão reaproveitados;
- Cabos de cobre e alumínio, transformadores: receberão reciclagem;
- Módulos fotovoltaicos: nos mercados maduros de energia fotovoltaica (em países como Alemanha, Itália, Espanha), já se estabeleceu uma indústria comercial de reciclagem de módulos fotovoltaicos. Os mesmos são triturados e os materiais (vidro, silício, alumínio, cobre, entre outros) são reaproveitados em grandes partes.

5.4 Impactos ambientais

Segundo a resolução CONAMA nº 001/1986, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

A implantação de painéis solares apresenta em si, benefícios significativos para a oferta de energia elétrica, proveniente do sol, poupando os recursos ambientais. Porém, é importante observar alguns critérios durante o planejamento e elaboração do projeto e durante a implantação e operação da usina, com a finalidade de prevenir a ocorrência de potenciais impactos ambientais negativos (DIAS, 1999), bem como a maximização dos impactos positivos.

Para cada uma das fases da atividade foram identificadas as ações de projeto, as principais já descritas no subtópico 4.3 e os impactos ambientais, conforme apresentado no quadro 3, a seguir:

Conforme visualizado, na fase de implantação é onde ocorre a maior ação dos projetos e conseqüentemente a maioria dos impactos ambientais.

Na fase de planejamento foram identificados 1 (uma) ação, na fase de implantação 10 (dez) ações e na fase de operação 1 (uma).

Quadro 3 - Ações e fases do projeto

Fases do empreendimento	Ações de projetos
Planejamento	Divulgação do empreendimento
	Elaboração de projetos básicos e executivos
	Fazer orçamento de mão de obra e materiais
	Elaboração de cronograma físico e financeiro
Implantação	Contratação de mão de obra
	Locação de máquinas e equipamentos
	Instalação dos canteiros de obras
	Sinalização da área
	Limpeza do terreno (Desmatamento)
	Terraplanagem
	Escavação
	Aterros e movimentação de terras
	Obras civis
	Montagem dos painéis solares
	Conexão dos painéis aos dispositivos de controle
	Conexão da UFV à rede elétrica da Uacsa
Testes e comissionamento	
Desmobilização da obra	
Operação	Monitoramento de tensão corrente da UFV
	Inspeção de manutenção
	Limpeza e conservação

Fonte: Autoria própria, 2020.

5.4.1 Identificação dos impactos ambientais nas fases do empreendimento

Com as ações identificadas para cada fase do empreendimento, procedeu-se a identificação dos impactos, nas fases de planejamento, implantação e operação, conforme apresentado no quadro 4, a seguir:

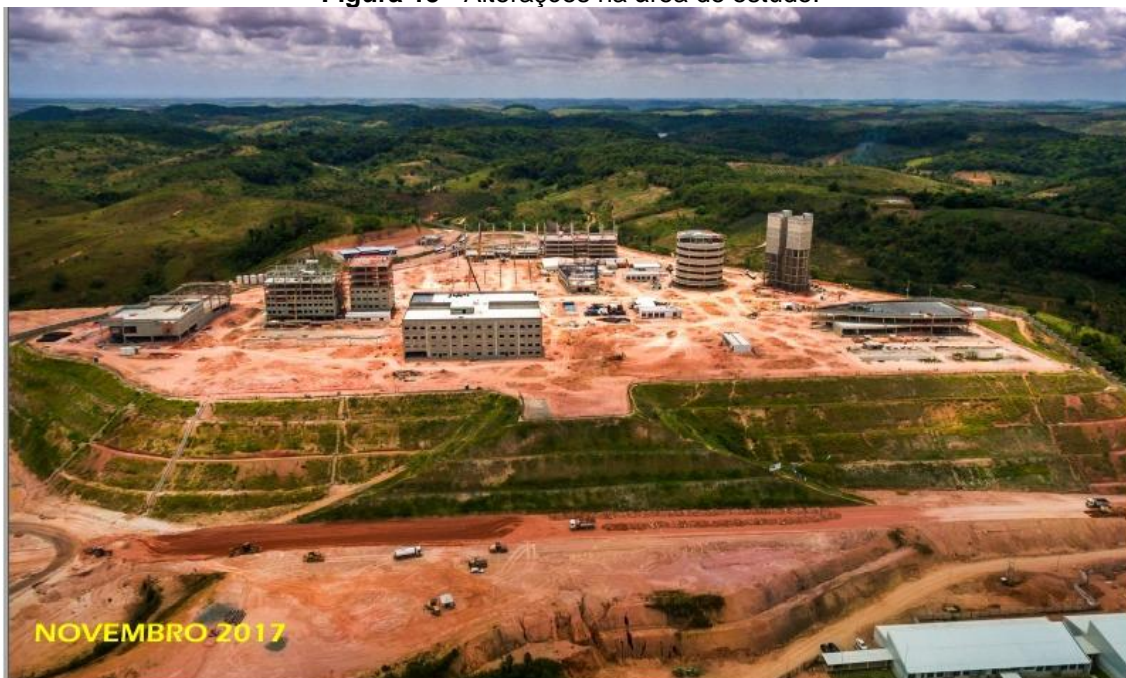
Quadro 4 - Fases do empreendimento, ações dos projetos e os impactos previstos

Fases do empreendimento	Ações de projetos	Impactos ambientais
Planejamento	<ul style="list-style-type: none"> • Divulgação do Empreendimento; 	<ul style="list-style-type: none"> • Atração das pessoas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Sinalização da obra; 	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenção de acidentes.
	<ul style="list-style-type: none"> • Contratação de mão de obra; 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento na economia.
	<ul style="list-style-type: none"> • Locação de máquinas e equipamentos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de renda.
Implantação	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza do terreno (Desmatamento); 	<ul style="list-style-type: none"> • Perda de cobertura vegetal nativa; • Degradação do solo; • Afugentamento da fauna; • Perda de habitat da fauna; • Desencadeamento de processos erosivos; • Alteração da paisagem;
	<ul style="list-style-type: none"> • Terraplanagem, Escavação, aterros e movimentação de terras; 	<ul style="list-style-type: none"> • Alterações no escoamento superficial; • Alteração da qualidade do ar; • Desencadeamento de processos erosivos; • Contaminação do solo; • Descaracterização da paisagem local.
	<ul style="list-style-type: none"> • Operação das máquinas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruído.
	<ul style="list-style-type: none"> • Execução de obras civis; 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração nos níveis de ruído; • Afugentamento da fauna; • Impactos visuais; • Riscos de acidentes.
Operação	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupação da área por painéis fotovoltaicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição visual; • Aumento na oferta de energia elétrica.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Na fase de implantação os principais impactos foram gerados na ação de limpeza da área, com o desmatamento e na terraplanagem com a movimentação do solo, conforme pode ser visualizado nos registros fotográficos.

Figura 15 - Alterações na área de estudo.



Fonte: Autoria própria, 2020.

OLIVEIRA (2000), conclui que os problemas ambientais aparecem como um sinalizador, que influencia as tomadas de decisões referentes à implantação de empreendimentos.

De acordo com a CONSTITUIÇÃO FEDERAL (1988), a avaliação de impacto ambiental é um dos instrumentos mais importantes para a proteção dos recursos ambientais, tanto que no art. 225, inciso IV, § 10, a Constituição declarou como sendo um dos deveres do Poder Público exigir na forma da Lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente estudo prévio de impacto ambiental a que se dará publicidade.

Foi possível, identificar os impactos ambientais sobre o meio biótico, abiótico e antrópico, conforme estão apresentados no quadro 5, a seguir:

Quadro 5 - Impactos ambientais sobre o meio biótico, abiótico e antrópico.

Impactos Ambientais Significativos.	Fases do Projeto			Meio ambiente		
	Planejamento	Implantação	Operação	Meio Abiótico	Meio Biótico	Antrópico
Atração das pessoas	X					X
Aumento na economia		X				X
Geração de renda		X				X
Perda de vegetal nativa		X			X	
Desencadeamento de processos erosivos		X		X		
Degradação do solo		X		X		
Perda de habitat natural da fauna		X			X	
Afugentamento da fauna		X			X	
Alteração da paisagem		X	X	X	X	
Alteração do escoamento superficial		X		X		
Alteração da qualidade do ar		X		X		
Contaminação do solo		X		X	X	X
Ruído		X		X	X	X
Intrusões visuais			X			X
Riscos de acidentes		X			X	X
Aumento na demanda de água			X		X	X
Geração de Resíduos Sólidos			X		X	
Geração de Efluentes			X			X
Gerações de Efluentes Sanitários			X			X
Aumento da oferta de empregos			X			X
Aumento da renda local			X			X
Aumento na oferta de energia elétrica			X			

Fonte: Autoria própria, 2020.

Foram identificados 22 impactos em todas as fases do empreendimento e 20 são considerados significantes. Desses 22 impactos, 4 são positivos e 18, negativos.

De acordo com Silva (1994) e Fernandes (1997), o impacto ambiental é a alteração no meio ou em algum de seus componentes por determinada ação ou atividade. Estas alterações precisam ser quantificadas, pois apresentam variações relativas, podendo ser positivas ou negativas, grandes ou pequenas.

Segundo MILARÉ (2000), no ordenamento jurídico brasileiro, a avaliação de impacto ambiental (AIA) é enxergada ora como instrumento de planejamento e gestão, ora como um procedimento associado a alguma forma de processo decisório, como o licenciamento ambiental. Estas duas dimensões são, na verdade, indissociáveis e, no conjunto, têm por objetivo analisar a viabilidade ambiental de um projeto, programa ou plano

5.4.2 Viabilidade da implantação da usina fotovoltaica da Uacsa

A produção mensal dos arranjos foi estimada com base na irradiação média mensal do município em kWh/m².dia, multiplicada pela quantidade de dias do mês e a área de cada arranjo, em m², e dividida quantidade de horas que o sol permanece visível no mês.

Segundo o Atlas Solarimetro do Brasil (2000), a região que está inserida no Cabo de Santo Agostinho possui 7 horas de sol por dia e uma radiação média de 5,25 kWh/m².dia.

Como a usina foi projetada para receber dois arranjos, somamos as áreas totais de cada arranjo, totalizando uma área de incidência solar de 5.883,15 m².

A tabela 4 apresenta os dados da potência de radiação solar disponível de energia solar disponível para os arranjos.

Tabela 4 - Potência disponível de energia solar para os arranjos.

Mês	Irradiação kWh/m ² .dia	Dias do mês	Área do arranjo (m ²)	Horas/dia	Pm (KW)
Jan	5,69	31	5883,15	7	148246,98
Fev	5,81	28	5883,15	7	136724,41
Mar	5,81	31	5883,15	7	151373,45
Abril	5,10	30	5883,15	7	128588,85
Maio	4,38	31	5883,15	7	114116,30
Jun	4,09	30	5883,15	7	103123,22
Jul	4,17	31	5883,15	7	108644,97
Ago	4,85	31	5883,15	7	126361,66
Set	5,42	30	5883,15	7	136657,17
Out	5,73	31	5883,15	7	149289,13
Nov	5,97	30	5883,15	7	150524,60
Dez	6,02	31	5883,15	7	156844,78
Total de energia solar disponível em 1 ano					1610495,50

Fonte: Autoria própria, 2020.

Dessa forma, o potencial total de energia solar fornecida aos módulos fotovoltaicos é de 1.610.495,70 kW ao ano o que daria uma média de 4,41 MW por dia. Ou seja, energia suficiente para alimentar uma Usina fotovoltaica de 1,0 MW.

Agora que sabemos que existe potência solar suficiente para alimentar os 3032 módulos desta usina fotovoltaica, resta-nos saber a viabilidade econômica da usina.

Sabemos que energia de consumos de um equipamento elétrico é o produto da potência do equipamento pelo e tempo em que o equipamento estiver em funcionamento.

No caso da Usina fotovoltaica, a energia gerada será o produto do somatório das potências de cada módulo fotovoltaico, multiplicado pela quantidade de tempo em que estes módulos estarão expostos a luz solar durante o dia. Ou seja:

$$\text{ENERGIA}_{\text{Geração}} = (\text{POTÊNCIA TOTAL}_{\text{Painéis}}) \times (\text{TEMPO}_{\text{Exposição}}) \quad (2)$$

Teoricamente esta equação estaria completa, porém como o sistema de geração de energia fotovoltaica não é livre de perdas, precisamos incluir um fator de rendimento (η). Portanto, a equação ficará desta forma:

$$\text{ENERGIA}_{\text{Geração}} = (\text{POTÊNCIA TOTAL}_{\text{Painéis}}) \times (\text{TEMPO}_{\text{Exposição}}) \times \eta \quad (3)$$

Este fator de rendimento está associado as perdas elétricas nos módulos fotovoltaicos, inversores e cabos elétricos de ligação além de ser considerada a temperatura ambiente e a ventilação do local.

O valor de η igual a 0,80 é um valor bastante razoável dadas as características técnicas do equipamento e local de instalação.

Aplicando-se os valores da tabela 5, podemos chegar a um valor mensal de energia produzida.

Tabela 5 - Dados para cálculo de geração de energia

Descrição	Valor	Unidade
Potência de cada Módulo	330,00	W
Nº de módulos	3032,00	Unidades
Potência total dos Módulos	1000560,00	W
Rendimento	0,80	
Nº de dias	30,00	dias
Nº de horas de exposição	7,00	h

Fonte: Autor

Aplicando os dados da tabela 5 na equação 3, chegaremos ao resultado a uma quantidade de energia média mensal gerada de 168,09 MW ao mês ou 2.017,08 MW ao ano.

A tabela 6 mostra o consumo da unidade provisória da Uacsa nos últimos 9 meses.

Tabela 6 - Valores do consumo de energia elétrica da Uacsa

Meses - ano	Valores
Jul-19	R\$ 22.201,54
Ago-19	R\$ 15.901,53
Set-19	R\$ 27.277,49
Out-19	R\$ 34.996,97
Nov-19	R\$ 33.287,29
Dez-19	R\$ 31.289,62
Jan-20	R\$ 15.385,13
Fev-20	R\$ 21.118,86
Mar-20	R\$ 24.930,06
Média de consumo	R\$ 25.154,28

Fonte: autor

A Universidade Federal de rural de Pernambuco (UFRPE) é caracterizada no grupo tarifário do Procel como Subgrupo A4, cuja tarifa é de 0,45998 R\$/kWh.

Se multiplicarmos o valor desta tarifa pela quantidade de energia produzida pela usina fotovoltaica, teremos um valor de R\$ 77.319,91 por mês. Este valor, sem considerar os impostos, é mais de três vezes o valor do consumo da sede provisória da Uacsa. Portanto, este empreendimento possibilitará uma economia no valor da conta de energia elétrica paga pela Uacsa. Projetando este valor para um período de um ano, teríamos uma economia no valor do consumo de energia elétrica de R\$ 927.838,98.

Atualmente a implantação da usina fotovoltaica da Uacsa está orçada em R\$ 4.778.105,00, o que significa que até o final de sua vida útil, esta usina terá compensado todo investimento financeiro que foi feito para sua implantação.

Além do aspecto econômico, esta usina poderia ser utilizada para beneficiar pequenas comunidades através do fornecimento de parte da energia gerada, para projetos comunitários. A Comunidade do Sabiá, fundada a mais de 100 anos, poderia ser uma dessas comunidades, pois sua localização fica próxima à Uacsa e poderia utilizar parte desta energia para alimentar uma escola infantil que funciona na associação dos moradores.

Outra questão importante é a quantidade de gás carbônico (CO₂) que deixará de ser emitidos na atmosfera, a quantidade de árvores que deixariam de ser cortadas e a quantidade de carvão que deixaria de ser consumido.

A tabela 7 demonstra os fatores de Emissões de CO₂ x Consumo kWh Anual para o ano de 2017.

Tabela 7 - Fatores de Emissões de CO₂ x Consumo kWh Anual para o ano de 2017
Ano de 2017

	Jan	0,0566
	Fev	0,0536
	Mar	0,0696
	Abr	0,0815
	Mai	0,0847
Fator médio mensal (tCO ₂ /MWh)	Jun	0,0676
	Jul	0,0965
	Ago	0,1312
	Set	0,1264
	Out	0,1366
	Nov	0,1193
	Dez	0,0892
Fator médio anual (tCO ₂ /MWh)	Média	0,0927

Fonte: MCTIC (2018)

No Brasil esse fator é calculado pelo ONS e MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações). Para estimar a emissão de CO₂ devido ao uso da energia elétrica pode se utilizar a seguinte equação:

$$\text{Quantidade de CO}_2 = (\text{Fator Médio Anual de Emissões de CO}_2) \times (\text{Consumo kWh Anual}) \quad (4)$$

Por exemplo:

Para estimar a quantidade de CO₂ emitido pela UFV, da Uacsa, baseado na quantidade de energia elétrica gerada, utilizou-se o fator médio anual de 2017 (Tabela 7).

$$\text{Produção anual de Energia Elétrica} = 2.017,08 \text{ MW}$$

$$\text{Fator Médio Anual} = 0,0927 \text{ t/MWh}$$

$$\text{Total kg de CO}_2 \text{ emitidos} = 2.017,08 \text{ MW} \times 0,0927 \text{ t/MWh} = 186,98 \text{ toneladas de CO}_2.$$

Portanto esta usina fotovoltaica evita que seja emitido 186,98 toneladas de CO₂ na atmosfera, colaborando assim para diminuir o efeito estufa.

O carvão utilizado em usinas termoelétricas são os que possuem baixo poder calorífico, ou seja, menor do que 4000 kcal. Para determinar o quanto de carvão seria necessário para produzir a mesma quantidade de energia produzida pela Usina fotovoltaica da Uacsa, foi usado o exemplo da usina termoelétrica de Candiota. Nesta usina é utilizado o carvão sub-betuminoso, com poder calorífico variando entre 3200 a 2600 kcal/kg, cinzas de 52,2 a 59,0% e umidade até 17% (Eletrobras CGTEE).

Seriam necessárias 169,09 toneladas deste carvão, para produzir o que a usina fotovoltaica da Uacsa produz em um mês, ou seja, 169,09 MWh. Isso sem contar a quantidade de cinzas produzidas depois da queima do carvão, que seria numa quantidade de 84,55 toneladas.

De acordo com estudo realizado pelo Instituto Totum e pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), da Universidade de São Paulo em parceria com a Fundação SOS Mata Atlântica, estimou-se que cada árvore da Mata Atlântica absorve 163,14 kg de gás carbônico (CO₂) equivalente ao longo de seus primeiros 20 anos. Sendo assim, para uma quantidade de 186,98 toneladas de CO₂, que seriam emitidos na geração de 169,09 KWh por mês em uma termoelétrica, seriam necessárias 275.307 árvores para absorver este CO₂.

6. CONCLUSÕES

Com relação ao estudo de caso do custo instalado e eficiência de operação de usina fotovoltaica de 1 MW, podemos concluir que:

- A área onde a usina solar será implementada apresenta um grande potencial de energia solar, capaz de abastecer a demanda de projeto para o campus da Uacsa;
- O projeto, no que tange os aspectos ambientais, identificando se as especificações, atendem as exigências legais de uma usina fotovoltaica de 1,0 MW;
- As etapas para o funcionamento da usina, são comuns a vários empreendimentos, tais como planejamento, implantação, operação e desativação;
- Os principais impactos ambientais e sociais da implantação da usina fotovoltaica foram perda de vegetação nativa e perda de habitat natural da fauna e os impactos sociais foram o aumento do emprego;

Portanto, existe a viabilidade técnica e econômica da implantação desta usina fotovoltaica, com base no potencial de energia que a usina pode oferecer. Potencial este, estimado em 1001,00 kW de energia, o que mostra que o novo Campus terá gastos reduzidos com a conta de da energia convencional.

Do ponto de vista social, também pode ser avaliada como viável, uma vez que durante a instalação será gerado empregos e após o funcionamento alunos, funcionários e a comunidade poderão fazer uso dessa energia.

Do ponto de vista ambiental, a área foi analisada como viável, pois o terreno, com exceção de algumas áreas, não apresenta nenhuma restrição para a implantação do empreendimento e área que será diretamente afetada apresenta topografia com declividade favorável a movimentação do solo e limpeza da área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATLAS - Atlas Solarímetro do Brasil. **Solarímetro do Brasil**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.

ATLAS SOLAR E EÓLICO E SOLAR DE PERNAMBUCO. Disponível em: <<http://www.atlaseolicosolar.pe.gov.br>>. Acesso em: 01 ago. 2020.

Atlas de energia elétrica do Brasil. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. 3. Ed. – Brasília: ANEEL, 2008.

AGUILAR, R.S; OLIVEIRA, L.C.S; ARCANJO, G.L.F. Energia Renovável: Os Ganhos E Os Impactos Sociais, Ambientais E Econômicos Nas Indústrias Brasileiras. In: XXXII Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Bento Gonçalves. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA No 414, de 9 de setembro de 2010. **Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 de set de 2010. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 1 de mar 2018.

ANEEL–**Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 28 jun. 2020.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012**. [S.l.], abr. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. Nbr 5419. Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2004.

_____. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012a. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 de abr de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 1 de mar de 2018.

_____. Resolução Normativa No 517, de 11 de Dezembro de 2012b. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 14 dez 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>>. Acesso em: 1 de mar 2018.

_____. Nota Técnica nº 0129 de agosto de 2012c. Retificação da Seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Nota_Tecnica_0129_SRD.pdf>. Acesso em: 1 de mar de 2018.

_____. Resolução Normativa no 687 de 2015a da ANEEL. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 24 de nov de 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 1 de mar de 2018.

_____. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica. p. 88, 2015b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9>. Acesso em: 4 de mar de 2018.

_____. ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição. p. 74, 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-3>>. Acesso em: 4 de mar de 2018.

BASTOS, L. W. Análise De Custos Dos Desperdícios Na Construção. Monografia (Graduação). Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, RS. p. 1–14, 2016. VISA

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei No 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 mar 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.848.htm>. Acesso em: 1 de mar 2018.

_____. Ministério da Educação. Resolução no 216, de 3 de out de 2013. Aprova criação da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (Uacsa) Campus Abolicionista Joaquim Nabuco desta Universidade e dá outras providências. Disponível em: <<http://uacsa.ufrpe.br/sites/uacsa.ufrpe.br/files/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20216.2013%20%20CRIA%C3%87%C3%83O%20DA%20UNID.%20ACAD.%20DO%20CABO%20E%20CURSOS%20OFERECIDOS%20%20Uacsa.pdf>>. Acesso em: 28 de fev de 2018.

_____. Conselho Superior da Justiça do Trabalho. Guia de Contratações Sustentáveis da Justiça do Trabalho/Brasil. Conselho Superior da Justiça do Trabalho. 2. ed., revisada, atualizada e ampliada – Brasília, 2014.

_____. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Portaria no 538, de 15 de Dezembro de 2015, 2015. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1942329/Portaria_n_538-2015/49ab0708-5850-404c-a924-2760bbd22bbc;>

BRASSEUR, G. e SOLOMON, S., Aeronomy of the middle atmosphere, D. Reidel Publishing, Dordrecht, Holanda, 1986.

Bringing Green Power to Life; Datasheet Módulo GCL-P6/72-330Wp. Manual Técnico, 2016. Disponível em:< <http://www.suntreesolar.com.au/wp-content/uploads/2016/11/GCL-P6-72-290.pdf>>. Acesso em: 20 de fev 2018.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA-CEPEL, CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA-Cresesb. Manual de engenharia para sistemas Fotovoltaicos. Brasil. p, 530, 2015.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO-CRESESB, Taxa de irradiação mensal no município do Cabo de Santo Agostinho, 2018. Disponível em:
<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 30 de maio 2018.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. Alternativas energéticas: Uma visão da Cemig. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CHANDRASEKHAR, S., Radiative Transfer, Dover Publishing Inc., New York, EUA, 1950.

DIAS, M. C. (Org). Manual de Impactos Ambientais: Orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.

FREITAS, G.S.; DATHEIN, R. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

GLENN, J.C.; GORDON, T.J.; FLORESCU, E. "Futures studies around the World", In: 2011 State of the future, Washington, EUA, The millennium project, Global futures studies & research, cap. 7, 2011, Disponível em <http://www.millennium-project.org/millennium/2011SOF.html>, Acesso em: Agosto 2020

EDUARDO, C.; MOREIRA, S. Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente. Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense, v. 1, p. 397-402, 2010.

FERNANDES, E. N. Sistema inteligente de apoio ao processo de avaliação de impactos ambientais de atividades agropecuárias. Viçosa, MG: UFV, 1977. 122 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

- FISAC, M.; VILLASEVIL, F. X.; LÓPEZ, A. M. High-efficiency photovoltaic technology including thermoelectric generation. *Journal of Power Sources*, v. 252, p. 264–269, 2014.
- HUSSY, C. et al. International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO2 Intensity. *Ecofys*, p. 1–84, 2014.
- IQBAL, M., *Introduction to Solar radiation*, Academic, Londres, Reino Unido, 1983.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 2.ed. São José dos Campos, SP. 88p, 2017.
- LIAO, T.; LIN, B.; YANG, Z. Performance characteristics of a low concentrated photovoltaic- thermoelectric hybrid power generation device. *International Journal of Thermal Sciences*, v. 77, p. 158–164, 2014.
- MELO, E. G. DE. *Geração Solar Fotovoltaica: estimativa do fator de sombreamento e irradiação em modelos tridimensionais de edificações*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica. p. 130, 2012.
- MILARÉ, Édís. *Direito do Ambiente: Doutrina, Prática, Jurisprudência e Glossário*. 3 ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2000.
- MONTEIRO, M.; FERREIRA, M.; SANTOS, D. Energia da Biomassa. *Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense*, v. 3, 2013.
- NASCIMENTO, R. L; *Energia Solar no Brasil: Situação e Perspectivas*. Estudo Técnico, Consultoria Legislativa. p. 46, 2017.
- OLIVEIRA, E. M.; *Educação ambiental uma possível abordagem*. Brasília: Ibama, 2000, 2 ed.
- PALADINI, E. P. *Gestão da Qualidade: Teoria e prática*. 2. Edição – 6. Reimpr. São Paulo: Atlas, 2009. 339 p.
- PEREIRA, E.B.; COLLE, S., A energia que vem do sol, *Ciência Hoje*, 22, 24-35 (1997).
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.de.; RUTHER, R. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. São José dos Campos: INPE, 2006.
- PIMENTA-NETO, F.; ARAUJO, M.S.T. Abordagem contextualizada do conceito de energia utilizando o enfoque CTSA. In: *Anais do Encontro de Produção Discente PUCSP/Cruzeiro do Sul*. São Paulo: UNICSUL, v.2, n. 1, 2014.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel / Cresesb, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2020.

POLMAN, A. et al. Photovoltaic materials: Present efficiencies and future challenges. *Science*, v. 352, n. 6283, 2016.

PORTAL BRASIL. Obra em novo campus da Federal Rural de Pernambuco será entregue em 2018. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/esporte/2017/08/brasil-termina-a-universiade-de-taipei-em-28-lugar>>. Acesso em: 5 de mar de 2018.

PROCEL - Programa nacional de conservação de energia elétrica. Manual de tarifação de energia elétrica. 2011, 56 p.

ROSA, M. M. Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de um Sistema Fotovoltaico Integrado em um Estádio de Futebol. Monografia (Graduação) - UFSC, Araranguá, SC, 2018.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY - REN21. Disponível em: <<https://www.ren21.net/>>. Acesso em: 1 de mar de 2018.

SAHU, A.; YADAV, N.; SUDHAKAR, K. Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 66, p. 815–824, 2016.

SANTOS, C. B. dos. Análise de Sistemas Fotovoltaicos para Geração de Energia Solar. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, set. 1997.

SELEME, R.; STADLER, H. Controle da qualidade: As ferramentas essenciais. 2. ed. Curitiba: Ibpex. 2010. 180p.

SILVA, E. Avaliação de Impactos Ambientais no Brasil. Viçosa, SIF, 1994 a

TOLMASQUIN, M. T. Fontes Renováveis de Energia no Brasil. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. ISBN 85-7193-095-3.

VISA, I. et al. Comparative analysis of the infield response of five types of photovoltaic modules. *Renewable Energy*, v. 95, p. 178–190, 2016.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 1. ed.. ed. São Paulo: Érica, 2012. ISBN 978-85-365-0416-2.