



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFERSA

CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS – CMPF

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DE UM
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO NO COMPLEXO TURÍSTICO
SERROTE DO JATOBÁ DE PAU DOS FERROS-RN**

GUSTAVO LEITE GONÇALVES

PAU DOS FERROS –RN

2019

GUSTAVO LEITE GONÇALVES

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DE UM
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO NO COMPLEXO TURÍSTICO
SERROTE DO JATOBÁ DE PAU DOS FERROS-RN**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao colegiado do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho

Co-orientadora: Bárbara Laís Felipe De Oliveira

PAU DOS FERROS -RN

2019

GUSTAVO LEITE GONÇALVES

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DE UM
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO NO COMPLEXO TURÍSTICO
SERROTE DO JATOBÁ DE PAU DOS FERROS-RN**

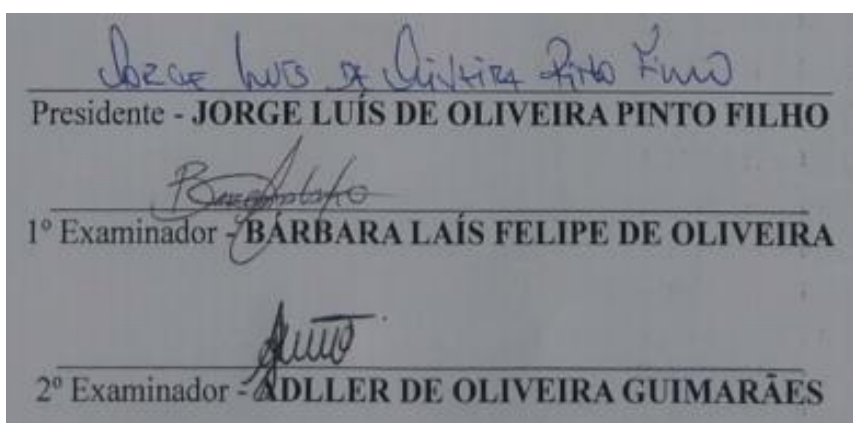
Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
colegiado do Curso de Bacharelado em
Engenharia Ambiental e Sanitária, da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho

Co-orientadora: Bárbara Laís Felipe De Oliveira

Aprovado em: 18 / março / 2019

BANCA EXAMINADORA



© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L643a Leite Gonçalves, Gustavo.
ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DE
UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO NO COMPLEXO
TURÍSTICO SERROTE DO JATOBÁ DE PAU DOS FERROS-RN
/ Gustavo Leite Gonçalves. - 2019.
43 f. : il.

Orientador: Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho.
Coorientadora: Bárbara Lais Felipe de Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária, 2019.

1. Semiárido. 2. Energia Solar. 3. Fontes
Alternativas de Energia. 4. Complexo Turístico
Serrote do Jatobá. I. de Oliveira Pinto Filho,
Jorge Luís, orient. II. Felipe de Oliveira,
Bárbara Lais, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Agradecimentos

Agradeço inicialmente a Deus e aos Guias Espirituais, que me são meus confidentes, conselheiros e incentivadores em todas as escolhas feitas na minha vida.

Aos meus pais e demais familiares que fizeram o possível e impossível para me manter em Pau dos Ferros-RN durante todos esses anos, apesar de meus embaraços.

Ao meu amor, Sarah, que me incentivou nas horas de dificuldade, quando a força me faltou e me ajudou, inclusive, em muitos trabalhos.

Aos meus amigos, Natália, Tailton, Jéssica (The Crente), Flávia, Guto, Jordy, Bia, Rubens, Jardel e todos os outros que fizeram parte dessa jornada.

Aos funcionários da UFERSA, Rita, Luciene, Graça, Célio, Odivaldo, Lucimar, Eduardo, que me auxiliaram em vários momentos que aconteceram.

A todos os demais que não citei pela falta de tempo para entregar esse TCC, deixo o meu MUITO OBRIGADO!

Resumo

Esta obra compreende a elaboração e análise de um projeto de Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede para o Complexo Turístico Serrote do Jatobá, seguido de uma apreciação quanto a viabilidade ambiental e econômica, através dos métodos de *pay-back* descontado e *check list*, respectivamente. A pesquisa é justificada diante da necessidade da diversificação da matriz energética nacional, recorrente da crise do petróleo e intensa implantação da sustentabilidade na construção civil. Ela abrange a descrição, dimensionamento e projeto de um sistema solar de geração elétrica direcionado a um complexo turístico em Pau dos Ferros-RN, enumerando os impactos ambientais e identificando que os positivos se sobressaem em magnitude e abrangência quando comparados aos negativos, assim como a análise do retorno do fluxo de caixa em condições futuras, quitando o investimento por volta do 4º e 5º ano de funcionamento, o que gera lucro pelo resto da vida útil.

PALAVRAS CHAVE: Semiárido; Energia Solar; Fontes Alternativas de Energia, Complexo Turístico Serrote do Jatobá.

Abstract

This work comprises the elaboration and analysis of a grid-connected photovoltaic system project for the Serrote do Jatobá Tourist Complex, followed by an assessment of the environmental and economic feasibility through the discounted pay-back and check list methods, respectively. The research is justified by the need to diversify the national energy matrix, recurrent from the oil crisis and intense implementation of sustainability in civil construction. It covers a description, design and design of an electric energy generation system directed to a tourist complex in Pau dos Ferros-RN, enumerating the environmental aspects and identifying the positive aspects in magnitude and comprehensiveness when compared to negatives, as well as analysis of the return of cash flow in future, removing the investment around the 4th and 5th year of operation, which is done for the rest of the useful life.

KEY WORDS: Semi-arid; Solar energy; Alternative energy sources, Serrote do Jatobá Tourist Complex.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 Objetivos Gerais.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS	20
3. METODOLOGIA.....	22
3.1 TIPIFICAÇÃO DA PESQUISA	23
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	23
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	24
3.4 COLETA DE DADOS.....	25
3.5 PROCESSAMENTO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	26
3.6 DIVULGAÇÃO DOS RESULTADOS.....	26
4. PROJETO ELÉTRICO	26
4.1 LEVANTAMENTO DAS CARGAS	26
4.1.1 Cargas de Iluminação	27
4.1.2 Cargas para as Tomadas	28
4.1.3 Ar condicionado	29
4.1.4 Carga total.....	31
4.2 PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	31
5. ANÁLISE ECONÔMICA.....	33
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
7. REFERÊNCIAS	38

Lista de Tabelas

Tabela 1: Estimativa de BTU - Leroy Merlin	30
Tabela 2: Custo inicial do projeto	33
Tabela 3: Padrão de custo com os demais componentes	34
Tabela 4: Custo com os demais componentes	34
Tabela 5: Custo total do projeto	34
Tabela 6: Viabilidade econômica	35

Lista de Figuras

Figura 1: Obtentores de energia fotovoltaica e térmica	13
Figura 2: Irradiação solar diária média em Pau dos Ferros-RN	15
Figura 3: Ranking da capacidade de produção de energia solar mundial	17
Figura 4: Empregos gerados pela produção de energia solar	17
Figura 5: Composição do painel fotovoltaico.....	19
Figura 6: Fluxograma Metodológico	23
Figura 7: Mapa de localização de Pau dos Ferros-RN	24
Figura 8: Mapa de localização do CTSJ.....	25
Figura 9: Escadaria, Praça/Mirante do CTSJ.....	25
Figura 10: Planta baixa do auditório	27
Figura 11: Especificações do Produto.....	31
Figura 12: Fluxo de caixa.....	37

1. INTRODUÇÃO

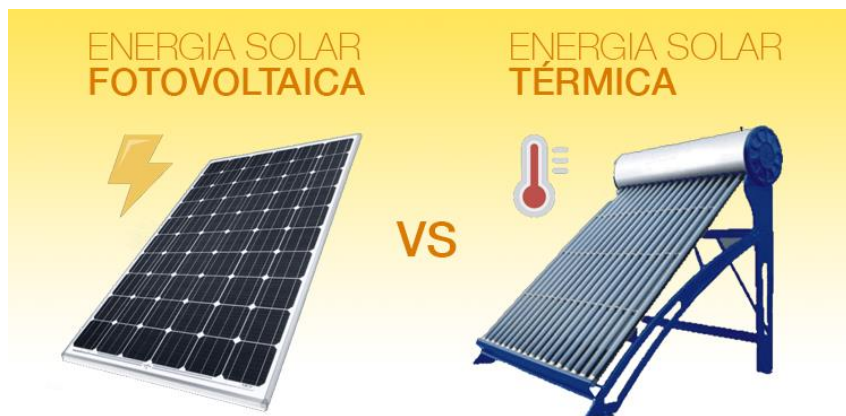
A eletricidade é considerada uma das fontes de energia que permitiu maior avanço nos Indicadores de Desenvolvimento Humano (IDH), servindo de combustível para mover diversos setores, tais quais: sociais, órgãos e econômicos. No setor industrial ampliou a economia, que é fomentada à aquisição de mais matérias primas convencionais, como o gás natural, hidrelétricas, termelétricas. Os custos dessas matérias primas são muito altos e contribuem para a crise do petróleo e da madeira, e que acabou por promover a concepção de fontes alternativas de energia (FEA's) responsáveis por um elevado e sustentável nível de segurança e conforto (RAMÍREZ, SIABATO, ORDUZ, 2017; MACEDO NETO et al., 2014).

O Conselho Mundial de Energia - WEC, do inglês, *World Energy Council*, em 2012, propôs o tripé da sustentabilidade energética que envolve: segurança energética que visa atender a demanda por energia, de quantidade e qualidade adequadas para as atuais e futuras gerações; equidade social em termos de acessibilidade e exequibilidade do fornecimento de energia para toda a população; e a sustentabilidade ambiental de oferta e demanda, bem como a inclusão de fontes renováveis (RAMÍREZ; SIABATO; ORDUZ, 2017). Dessa maneira, as questões ambientais estão em foco, a sensibilização quanto ao uso dos recursos naturais e à educação ambiental fez a sociedade desenvolver tecnologias que priorizem a utilização das energias limpas e renováveis. Nesse contexto, destaca-se a energia solar; diversos países, tais quais: China, Estados Unidos, e Japão, criaram programas de incentivo a sua utilizando, abrindo linhas de financiamento com baixas taxas de juros e subsidiando os preços de aquisição de tais equipamentos (MACEDO NETO et al., 2014).

A energia solar é abundante, inesgotável, renovável e não polui, comparando-a com as outras fontes de energia. Dessa maneira, a captação da energia do sol pode ser utilizada como fonte de energia térmica ou convertida diretamente em energia fotovoltaica (WANDERLEY; CAMPOS, 2013). Assim, é uma solução para áreas remotas e não eletrificadas, principalmente em localidades como o Brasil, com vastos territórios que apresentam ótimos índices de insolação (MACEDO NETO et al., 2014).

Há duas formas de aproveitamento energético do sol e podem ser alcançadas através de uma tecnologia própria. A conversão da energia solar em eletricidade acontece com o auxílio do uso de módulos fotovoltaicos, conectado a um material semicondutor. Já a energia solar térmica apresenta um sistema que atua com o aquecimento da água (VARELLA E GUERRA, 2014).

Figura 1: Obtentores de energia fotovoltaica e térmica



Fonte: Lumentec, 2018

1.1 PROBLEMA

A demanda energética, atualmente, aumentou consideravelmente para que a sociedade, estimada em mais de 7,5 bilhões de habitantes, atenda suas necessidades. Assim, busca-se na natureza, FEA's capazes de manter o nível de vida digna. Algumas fontes, como a hidrelétrica, nuclear, termelétrica, atualmente são as mais difundidas, porém os impactos causados por elas, como a emissão de gases, desmatamento, alteração paisagística e a geração de resíduos acarretam danos para todos os envolvidos, direta e indiretamente, poluindo os compartimentos ambientais, alterando os lugares nas quais são produzidas ou esgotando os recursos naturais (OLIVEIRA, 2010).

Ultimamente, as usinas hidrelétricas detêm o primeiro lugar no *ranking* das principais geradoras de energia do país com aproximadamente 70% da participação, seguido do gás natural e biomassa (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2016). Todas as formas de produção de energia causam impactos ambientais, tanto positivos quanto negativos e de abrangências não só locais, mas também em escalas regionais e nacionais, como as chuvas ácidas, e globais, como o efeito estufa e o buraco na camada de ozônio (MOURA; SCHMID, 2005).

Diante dos cenários climáticos, ambientais e a crise dos combustíveis fósseis, a energia solar se torna uma FEA para o funcionamento de residências e estabelecimentos. Como incentivo, o estado do Rio Grande do Norte (RN) assinou o convênio ICMS 16/2015, que isenta a energia produzida pelas unidades geradoras do ICMS. O Estado do RN também conta com linhas especiais de crédito como a FNE SOL - Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste, do Banco do Nordeste, com financiamento para instalação dos

sistemas, que a ABSOLAR¹ quer expandir para outras regiões do país com a ajuda de bancos nacionais públicos. Como resultado da divulgação, o estado ampliou sua potência instalada em energia solar fotovoltaica de 56 KW (*kilowatts*) em 2013 para 2.219 KW no ano de 2017. Nesse período passou de 4 (quatro) unidades consumidoras para as atuais 168 (cento e sessenta e oito) (CENTRO DE ESTRATÉGIAS EM RECURSOS NATURAIS E ENERGIA - CERNE, 2017).

1.2 JUSTIFICATIVA

A energia fotovoltaica tem sido vista internacionalmente como uma tecnologia bastante promissora, nas últimas décadas. Pesquisas internacionais apresentam importantes contribuições para análise sobre expansão do mercado, ganhos na escala de produção e redução de custos para os investidores. Estima-se que a capacidade de geração solar do Brasil seja atualmente 20MW (*megawatts*) de potência fotovoltaica instalada, destinada principalmente ao atendimento de sistemas isolados e remotos, em situações em que a extensão da rede de distribuição da concessionária não se mostra economicamente viável (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018).

A arquitetura sustentável está intimamente ligada às questões de conforto ambiental, considerando-se aspectos como insolação, ventos dominantes, características do entorno e uso da edificação nas fases iniciais da elaboração do projeto. Nela são utilizadas algumas medidas para tentar reduzir os impactos ambientais que serão gerados, além de proporcionar o esperado conforto ambiental, seja térmico, luminoso e/ou acústico, além de reduzir a poluição nos ambientes para as futuras gerações (COSTA e SCOCUGLIA, 2008).

Essas medidas, que também são chamadas de diretrizes de sustentabilidade, são ferramentas úteis e devem ser utilizadas para avaliações de eficiência da minimização dos referidos impactos, antes mesmo da construção do prédio, analisando critérios técnicos, sociais, culturais, econômicos e ambientais (COSTA e SCOCUGLIA, 2008).

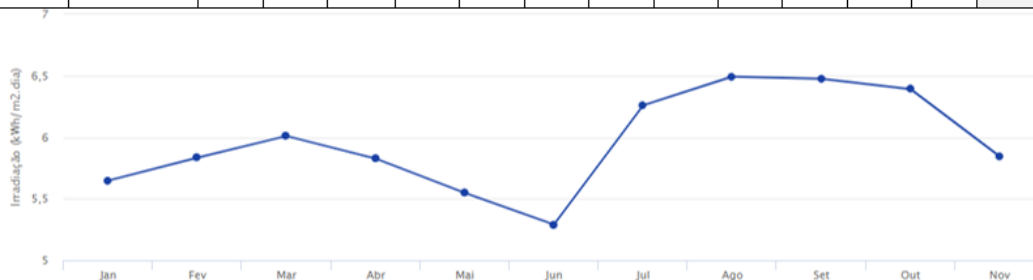
Nas regiões áridas, é possível o total aproveitamento dos dias de sol, pois a umidade relativa é fraca, o céu é claro e praticamente sem nuvens. A região Nordeste do Brasil apresenta os valores mais altos de irradiação global anual dentre todas as regiões brasileiras, 5.688 Wh/m².dia. O Rio Grande do Norte tem um dos maiores índices de incidência solar do território brasileiro e o município de Pau dos Ferros apresenta média de

¹ Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

5,94 KWh/m².dia, conforme figura 2, tornando-o apto a receber investimentos para implementação de usinas solares fotovoltaicas (BEZERRA, 2001; WANDERLEY, 2013).

Figura 2: Irradiação solar diária média em Pau dos Ferros-RN

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Igual a latitude	6° N	5,65	5,83	6,01	5,83	5,55	5,29	5,64	6,26	6,46	6,47	6,39	5,84	5,94



Fonte: CETRESB, 2019

Quando há o investimento no sistema fotovoltaico na fase de elaboração do projeto pode-se integrá-lo à obra, podendo escolher a melhor localização, harmonizando-o com o projeto para garantir o melhor desempenho do equipamento, evitando, inclusive, o sombreamento das placas.

A disposição dos módulos deve adequar-se conforme a geometria da cobertura, sendo dispostos de maneira linear, ou em outra posição, de forma que garanta uma estética agradável e que utilize a área com melhor orientação e sem sombreamentos, buscando sempre a máxima possibilidade de geração. Paralelamente, deve-se pensar no local de fixação do inversor e disjuntores, de modo que permaneçam abrigados, de preferência no interior da edificação, em local seco e que não sofra eventuais impactos ou manuseios desnecessários (SANTOS, 2006). Se a compatibilização entre os sistemas não ocorrer, provavelmente haverá desacordo com o conjunto e provável desarmonia. Além disso, causa um impacto visual negativo, desvalorizando a arquitetura, de modo que se forem aplicados corretamente o resultado pode ser muito inovador (MOURA; SCHMID, 2005).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos Gerais

Dimensionar um sistema solar fotovoltaico integrado para o Complexo Turístico Serrote do Jatobá e atestar sua viabilidade econômica e ambiental.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar as cargas e estimar o consumo de energia elétrica do auditório do Complexo Turístico Serrote do Jatobá – CTSJ;
- Dimensionar e projetar um sistema solar fotovoltaico;
- Analisar a viabilidade econômica de sua implantação;
- Caracterizar os impactos, verificando a viabilidade ambiental.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

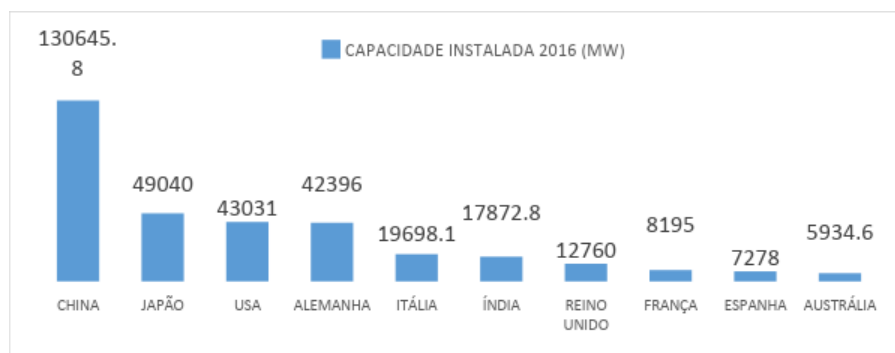
A perspectiva para as principais fontes de energia oriunda de matrizes fósseis, como o petróleo e o gás natural, no século XXI é a finitude, dessa forma a sociedade sente a necessidade de alterar sua base energética, na busca de um modelo sustentável, embasado na questão ambiental com a degradação de recursos naturais, a poluição, seus efeitos nocivos, riscos da energia nuclear e desigualdades socioeconômicas (TESSMER, 2002).

A crise energética fóssil impulsionou o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica no Brasil. Iniciou-se a comercialização de produtos no país, desde então a energia fotovoltaica tem sido cada vez mais presente, seja em indústrias, comércio ou até mesmo residencial, passando por diversos avanços e atualizações, a fim de aumentar sua eficiência energética e diminuir seus custos de implantação e manutenção (FRAIDENRAICH, 2005).

De acordo com o Relatório Estado Global das Renováveis – GSR, do inglês *Global Status Report (2017)*, de autoria da Rede de Políticas de Energias Renováveis para o Século 21 (REN 21), o aumento da capacidade instalada de geração de energia renovável mundial no ano de 2016 foi recorde, alcançando 161 GW, fazendo com que a fonte solar fotovoltaica fosse a de maior crescimento (47%), um acréscimo de 75 GW, totalizando 303 GW ao redor do mundo, seguida pela eólica (34%) e hidroelétrica (15,5%). A Ásia lidera a produção de energia solar, com três quartos do acréscimo de capacidade instalada no mundo. Os 10 maiores mercados de energia solar são: China, Estados Unidos, Japão, Índia e Reino Unido, Alemanha, Coreia do Sul, Austrália, Filipinas e Chile, onde as 5 primeiras representaram 85% do aumento total mundial. Falando em capacidade instalada, os cinco líderes são: China, Japão, Alemanha, Estados Unidos e Itália, ainda de acordo com o GSR.

A Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA) divulgou o ranking da capacidade instalada de produção de energia solar é liderado pela China e Japão, como exposto na Figura 3.

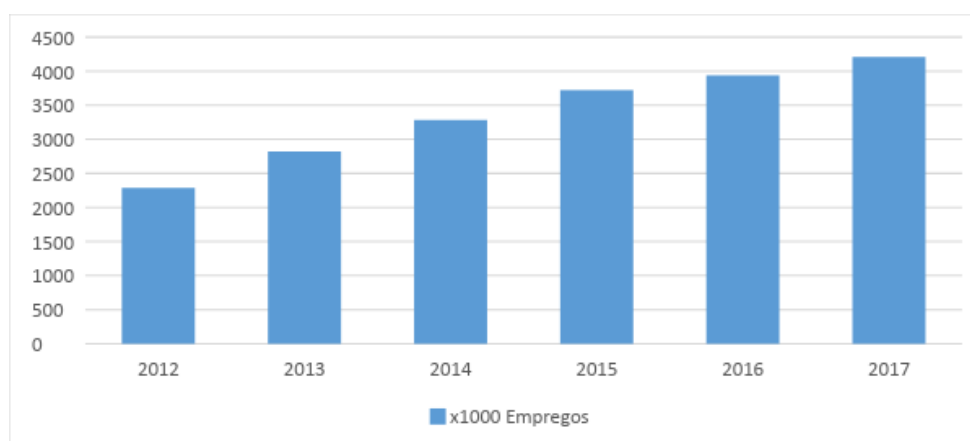
Figura 3: Ranking da capacidade de produção de energia solar mundial



Fonte: IRENA (2017), adaptado.

Outro fato relacionado diretamente com o crescimento da produção de energia fotovoltaica é a renda e geração de trabalho, como mostra a Figura 4.

Figura 4: Empregos gerados pela produção de energia solar



Fonte: IRENA (2017), adaptado.

Segundo Siqueira (2013), a sustentabilidade no ramo da construção civil tem sido muito abordada, dependendo de ações do dia a dia, do consumo, da produção e não apenas da preservação dos recursos naturais. O desenvolvimento sustentável permite que o homem atenda suas necessidades, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender as suas.

A sustentabilidade no ramo civil é considerada um dos requisitos para a caracterização um bom desempenho ambiental, o que gera um debate paralelo. Para atingir esse aumento na eficiência das edificações, pode-se utilizar diversas alternativas, como a arquitetura bioclimática, dispositivos para economia de energia e a geração da própria energia elétrica (SIQUEIRA, 2013).

A utilização de painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica é uma forma de aumentar o desempenho em uma edificação e está diretamente focado na questão da

sustentabilidade. Seguindo esse raciocínio, Siqueira (2013) cita algumas vantagens na utilização da energia fotovoltaica:

- Redução de investimentos em linhas de transmissão e distribuição;
- Fonte inesgotável;
- Não libera gases para a atmosfera;
- Reduzem a dependência energética dos combustíveis fósseis;
- Os painéis fotovoltaicos vêm aumentando sua eficiência ao longo dos anos, enquanto os preços tendem a cair;
- É excelente em lugares remotos e de difícil acesso;
- Em países tropicais, como o Brasil, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território.

A produção da energia fotovoltaica mediante aproveitamento do recurso natural possui vantagens e desvantagens bastante significativas. Torna-se um processo vantajoso pelo fato de fazer uso de um recurso totalmente renovável, inesgotável do ponto de vista humano, por não possuir emissões atmosféricas durante seu processo de funcionamento, não produz ruídos, e apesar de possuir um alto custo de instalação, o tempo de vida útil do sistema compensa o investimento, uma vez que possui uma estimativa de funcionamento de 25 anos, tendo seu retorno direto no que seria pago na tarifa de luz e necessita de uma quantidade reduzida de manutenção, tendo em vista que o desgaste mecânico é reduzido (PORTAL SOLAR, 2018).

O impacto ambiental, tomado como desvantagem, mais significativa do sistema fotovoltaico para geração de energia solar é provocado durante a fabricação de seus materiais e construção, e também relacionado às questões de área de implantação (INATOMI, 2000).

A instalação e funcionamento dos sistemas solares é gerido pela resolução normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que estabelece os parâmetros regulatórios para a microgeração (até 100 kW) e a minigeração (entre 100 kW e 1 MW) de energia elétrica a partir de sistemas particulares conectados à rede de distribuição, viabilizando a geração distribuída de pequeno porte no Brasil.

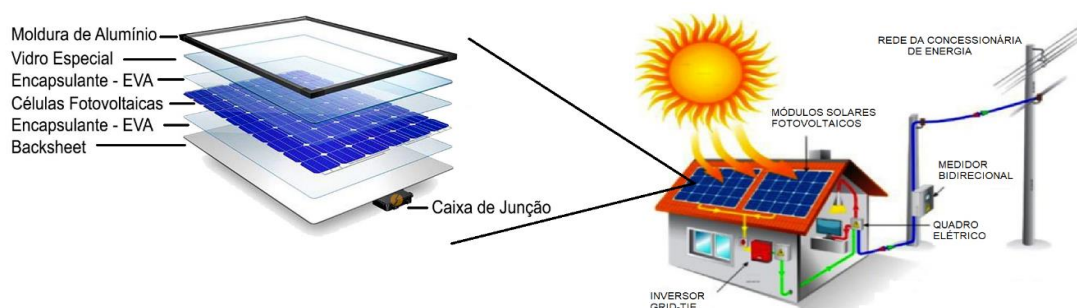
Nessa resolução são expostos diversos parâmetros para o desenvolvimento desse novo mecanismo de produção energética, possibilitando a produção de energia a partir de unidades consumidoras e o sistema de compensação para a produção excedente. Caso o consumidor utilize mais energia do que produziu, irá pagar o equivalente de quilowatt-hora utilizado referente às tarifas às quais o estabelecimento corresponde. Por outro lado, caso o consumidor produza mais energia elétrica do que consuma, pagará apenas uma taxa fixa

estabelecida pela concessionária e usufruirá de créditos válidos por 60 meses, que poderão ser abatidos das próximas faturas do próprio imóvel ou de outro imóvel definido pelo proprietário.

O princípio da geração energética de um sistema solar se dá pelo fato de que as células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, geralmente o Silício, que não possui elétrons livres e, portanto, é mal condutor elétrico. Para alterar isto, combina-se o silício com o Fósforo e obtém-se um material com elétrons livres, ou seja, carregado negativamente. Ao reagir o material com o Boro ao invés de Fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, com cargas positivas livres (NASCIMENTO E ALVARENGA, 2004).

Ao unir esses materiais, forma-se um campo elétrico devido aos elétrons livres que ocupam os vazios da estrutura do silício positivo. Com a incidência da luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons chocam-se com outros elétrons da estrutura do silício fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores, produzindo um fluxo de elétrons (corrente elétrica), onde este fluxo será transferido para um painel solar, que possui a finalidade de recolher a energia produzida, proteger e garantir durabilidade das células. Este painel é conectado em outros painéis, configurando um sistema solar fotovoltaico. A composição do painel pode ser observada na Figura 5 (NASCIMENTO E ALVARENGA, 2004).

Figura 5: Composição do painel fotovoltaico



Fonte: Adaptado do Portal Solar (2018)

Os sistemas podem ser classificados de três formas: Autônomo, quando é desvinculado ao sistema da concessionária e funciona através de baterias para armazenar a eletricidade produzida; conectado à rede, desenvolvido neste trabalho, onde a energia excedente gerada é lançada na rede e revertida na forma de bônus ao consumidor; E híbrido que é uma junção das duas formas anteriores (PORTAL SOLAR, 2018).

O sistema fotovoltaico é composto de “células” de material semicondutor que converte a luz solar diretamente em energia elétrica, além dos painéis solares, inversor solar,

sistema de fixação das placas solares, cabeamentos, conectores e outros materiais elétricos padrões (OTTINGER, 1991).

O uso de painéis fotovoltaicos desempenha um papel importante para a renovação de edifícios, uma vez que aumenta o seu valor, tanto esteticamente como energeticamente. Uma solução encontrada foi incorporar os sistemas solares nas fachadas, tornando-as visualmente mais atraentes. Outra função dos painéis está na sua capacidade de tornar o edifício e seus usuários autônomos, dependendo cada vez menos do fornecedor de energia (KAAN e REIJENGA, 2004).

Os arquitetos possuem a opção de escolher incorporar ou não o sistema solar no seu projeto, porém outros fatores devem ser levados em conta além dos aspectos estéticos, como aspectos físicos, mecânicos, eletrotécnicos, financeiros e organizacionais. O sistema não necessita ser óbvio em relação a arquitetura do local e devem possuir um design agradável, dentro do contexto do edifício (KAAN E REIJENGA, 2004).

O estudo da viabilidade de implantação de um sistema de energia solar é de extrema importância nos tempos atuais devido a necessidade de utilização de novas fontes de energia renováveis, uma vez que a principal fonte de energia são os métodos não renováveis, o que causa diversos impactos ao meio ambiente (TEIXEIRA, CARVALHO e LEITE, 2011). O intuito do estudo de viabilidade de um projeto é baseado em sua capacidade de gerar fluxos de caixa futuros, compensando o investimento inicial (SAMANEZ, 2014)

Como forma de reconhecer os empreendimentos que adotam soluções eficientes aplicadas à edificação foram criadas certificações e etiquetas para classificá-los, cada um baseado em requisitos diferentes. Elas compreendem informações úteis que influenciam o consumidor na hora de construir, além do fator preço. A escolha consciente por parte dos clientes promove a melhoria contínua dos produtos, estimulando, assim, a competitividade nas indústrias (SIQUEIRA, 2013).

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

A regulamentação da implantação e operação de usinas fotovoltaicas é realizada através da Norma Técnica nº 279/2001 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Essa resolução estabelece procedimentos para licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental, onde expõe em seu artigo 1º:

Os procedimentos e prazos estabelecidos nesta Resolução aplicam-se, em qualquer nível de competência, ao licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental, aí

incluídos: IV – Usinas Eólicas e outras fontes alternativas de energia. (RESOLUÇÃO CONAMA Nº 279, pág. 01).

O licenciamento ambiental é um instrumento importante para o controle das atividades humanas que interferem nos diversos compartimentos ambientais, a fim de assegurar a sustentabilidade. Ele é uma exigência legal onde estão sujeitas todas as atividades potencialmente poluidoras e degradantes. Segundo Barbosa Filho et al. (2016), o termo “pequeno potencial de impacto” fez surgir uma discussão em meio aos órgãos estaduais de meio ambiente, uma vez que a caracterização de pequeno potencial é subjetiva, sendo necessário o estudo ambiental para definir sua magnitude, dessa forma, ao solicitar uma consultoria jurídica ao MMA, estabeleceu-se a seguinte sentença:

Dificuldade de se definir impacto ambiental de pequeno porte antes da análise dos estudos ambientais que subsidiam o processo de licenciamento ambiental e, tendo em vista as diversidades e peculiaridades regionais, bem como as complexidades de avaliação dos efeitos sobre o meio ambiente decorrentes da implantação de projetos de energia elétrica (RESOLUÇÃO CONAMA Nº 279, pág. 01).

Para Barbosa Filho et al. (2016), todo empreendimento gerador de energia elétrica apresenta diversos impactos ambientais, inclusive a solar, sejam elas positivas ou negativas, com variadas amplitudes e abrangências. Os impactos da energia fotovoltaica estão relacionados principalmente à sua localização, às características físico-climáticas do local de implantação e às características dos ecossistemas locais, porém, comparados aos benefícios e impactos positivos, os impactos negativos tornam-se irrisórios.

No meio físico, os impactos negativos associados estão relacionados, principalmente, a fase de instalação, uma vez que há a modificação paisagística, movimentação de equipamentos, materiais e pessoas. A alteração paisagística varia de acordo com o local do empreendimento, caso haja necessidade de alteração topográfica, supressão vegetal, o que já causa um impacto visual marcante, além da presença dos painéis solares, podendo também originar processos erosivos e alterações no comportamento hídrico e do fluxo hidrológico superficial, culminando em um possível assoreamento. A geração de resíduos sólidos também é um ponto importante a se tratar, pois as atividades antrópicas presentes na instalação geram uma quantidade de resíduos considerável, sem falar do manuseio de produtos químicos e produtos de limpeza, circulação de veículos, máquinas e equipamentos na área do canteiro, podendo causar contaminação do solo e do ar, pela geração de poeira, ainda de acordo com Barbosa Filho et al. (2016).

As alterações biológicas do meio são de caráter antrópicas e naturais, tendo potencial para ocorrer de forma contínua, considerando os ciclos de desenvolvimento da fauna e flora durante a implantação e operação do sistema. A perda da cobertura vegetal causa a alteração na dinâmica dos ecossistemas, com a fragmentação dos habitats e mudança dos limites das comunidades de espécies locais, causando desequilíbrio nos níveis tróficos locais, causa ainda o afugentamento da fauna, dado que as diversas espécies procurarão migrar para áreas seguras, atrás de alimento e abrigo, propiciando o risco de acidentes nas vias de acesso, como afirmaram Barbosa Filho et al. (2016). Todos esses impactos contribuem para a perda do potencial ecológico das áreas, levando a uma menor abundância dessas espécies, causando a redução de toda a biodiversidade presente.

O encadeamento de impactos decorrentes da usina solar desencadeia uma série de impactos positivos e negativos no meio social, direta ou indiretamente, em escala local ou ultrapassando as barreiras territoriais, definidos pela geração de emprego e renda, crescimento da economia local e aumento da arrecadação tributária, aumento do fluxo de veículos no processo construtivo, consumo de materiais, risco de acidentes de trabalho, aumento da eficiência dos equipamentos com o incentivo a pesquisa e aprimoramento, aproveitamento de uma fonte de energia renovável, abundante, limpa e gratuita, que fornece segurança e confiabilidade na sua obtenção.

A fim de promover o consumo elétrico de modo lúcido e eficiente visando assim aumentar sua disponibilidade através da otimização do desempenho dos equipamentos, da redução do consumo, e anulação do desperdício através da conscientização dos seus consumidores, existem estudos que buscam a gestão energética ambiental, que visam a melhoria do aproveitamento de energia por programas de conservação, monitoramento, fiscalização e consequente divulgação quanto à necessidade do racionamento desta, Tais métodos sustentáveis resultam na melhoria do meio ambiente, pois reduzem os custos operacionais, o desperdício e consequentemente o impacto ambiental, preservando principalmente os recursos naturais não renováveis e melhorando o aproveitamento dos renováveis, trazendo benefícios para a qualidade de vida da sociedade em geral (MATA et al., 2013).

3. METODOLOGIA

A pesquisa compreende a descrição, dimensionamento e projeto de um sistema fotovoltaico direcionado a um complexo turístico no Alto Oeste potiguar, assim como a

caracterização dos impactos ambientais relacionados e a análise do retorno do fluxo de caixa em condições futuras, indicando a recuperação do valor investido e possível saldo gerado.

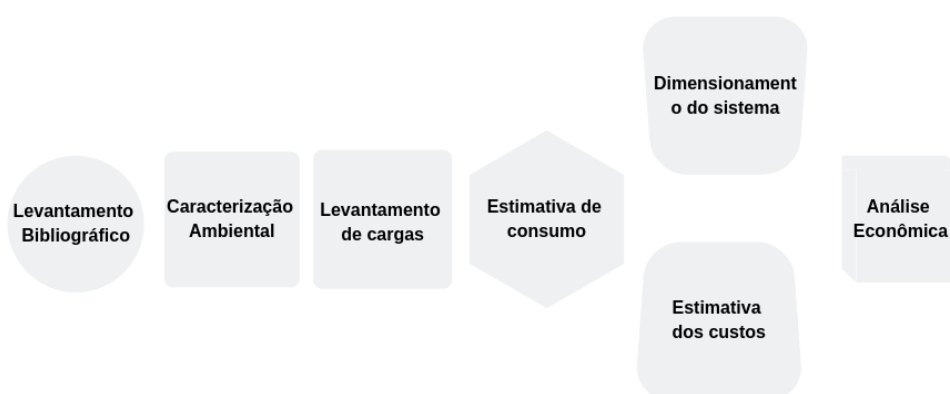
3.1 TIPIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa compreende uma análise descritiva, constituindo um estudo de caso, tratando de especificidades de um complexo turístico no semiárido brasileiro. Esse tipo de abordagem permite detalhar as características de um determinado fenômeno e estabelecer relações entre os fatores envolvidos, podendo ser empregado em situações análogas. No estudo, será descrito o consumo energético do estabelecimento estudado e dimensionado um sistema fotovoltaico equivalente à demanda (SEVERINO, 2017).

Propõe-se neste estudo análise da viabilidade econômica e ambiental da instalação de um sistema fotovoltaico para o Complexo Turístico Serrote do Jatobá, dessa maneira, Damiani (2012), permite classificá-lo enquanto uma pesquisa de intervenção, que promove a interconexão entre teoria e prática, de maneira a fomentar propostas modificadoras.

Classifica-se a natureza dessa pesquisa como de abordagem mista, uma vez que as informações coletadas mesclarão dados numéricos, econômicos, técnicos e sociais. Gray (2012) afirma que os estudos com esta caracterização têm como principal atributo o uso de mecanismos de coleta de dados. Neste sentido, serão realizadas pesquisas com embasamento na literatura correlata revisada pelos pares; análises documentais técnicas; e levantamentos de dados primários e secundários.

Figura 6: Fluxograma Metodológico



Fonte: Autor, 2019

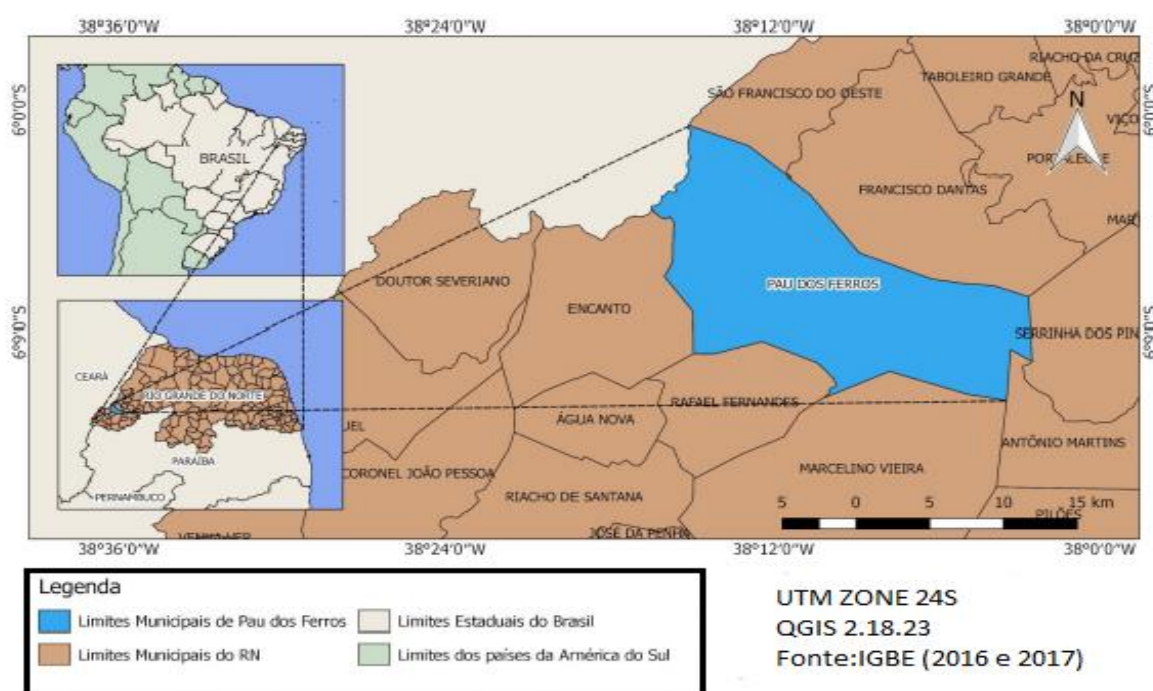
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A cidade de Pau dos Ferros situa-se na região alto oeste do Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil, com uma área territorial de 259,959 km², distante 400 km da capital Natal/RN, de acordo com os dados do IDEMA (2008) e uma população de 30.183 habitantes

(IBGE, 2018). A localidade teve origem em 1759 a partir do desmembrando político do município de Portalegre, com a resolução provincial nº 344, de 04-09-1856 (IBGE, 2018).

O município encontra-se inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, entre a latitude 6° 06' 33" Sul e longitude 38° 12' 6" Oeste. Como observado na Figura 7, seus limites municipais ao Norte: São Francisco do Oeste e Francisco Dantas; ao Sul: Rafael Fernandes e Marcelino Vieira; ao Leste: Serrinha dos Pintos, Antônio Martins e Francisco Dantas e ao Oeste: Encanto e Estado do Ceará (IDEMA, 2008).

Figura 7: Mapa de localização de Pau dos Ferros-RN

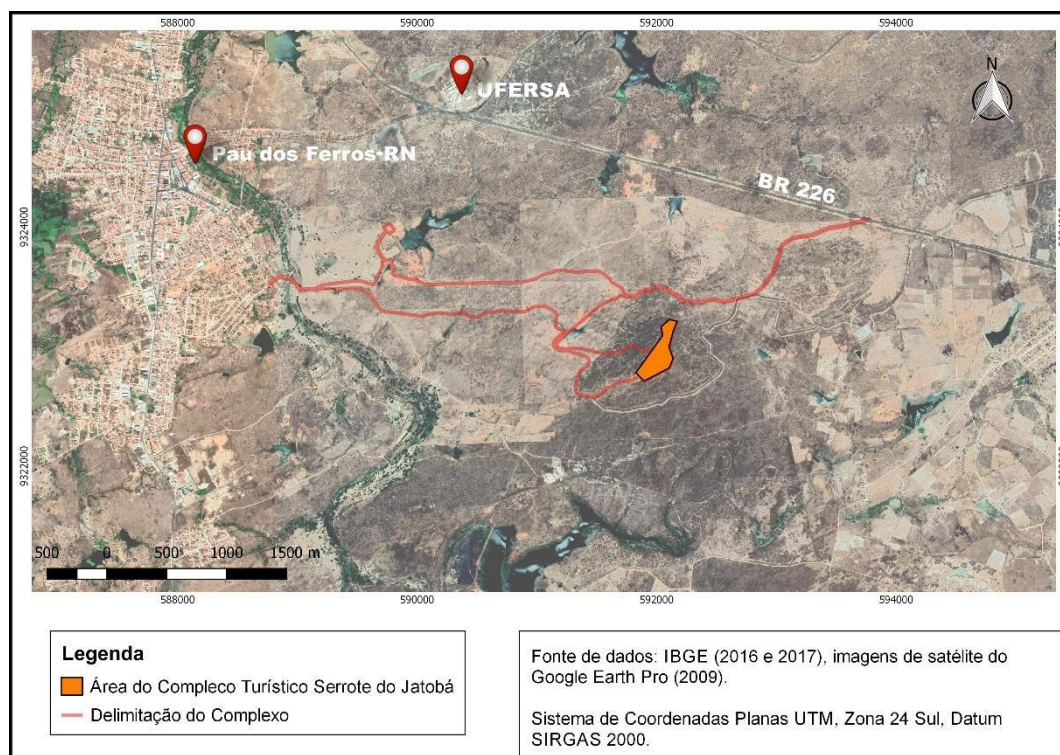


Fonte: Autor, 2019

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A parte experimental do estudo será desenvolvida no Complexo Turístico Serrote do Jatobá – CTSJ. O objeto de estudo trata-se de uma obra em desenvolvimento pela prefeitura de Pau dos Ferros e sua implantação, irá gerar um aumento considerável no quantitativo de energia consumida da concessionária. O CTSJ está localizado no Sítio Jatobá, Zona Rural do Município de Pau dos Ferros-RN (Figura 8), e serão implementadas vias de acesso; estacionamento inferior; escadaria; estacionamento e outras edificações. O espaço onde se desenvolverá a atividade tem área total de 247.987,0998 m² e contará com 78.024,3329 m² de área construída, conforme a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Econômico - SEPLAN, 2018 (Figura 9).

Figura 8: Mapa de localização do CTSJ



Fonte: Autor, 2019

Figura 9: Escadaria, Praça/Mirante do CTSJ



Fonte: SEPLAN, 2018

3.4 COLETA DE DADOS

Inicialmente foi realizado levantamento de coleções técnicas para fundamentação do arcabouço teórico sobre o tema estudado. Em seguida, houve a previsão das cargas do prédio principal do complexo turístico, estimando o consumo de energia elétrica do auditório do CTSJ com auxílio da NBR 5410 e do seu projeto arquitetônico. A partir dos dados deste levantamento e da estimativa de consumo obtida, foi dimensionado um sistema fotovoltaico que atenda às necessidades do empreendimento através da metodologia descrita em Villalva

e Gazoli (2013), já os cálculos dos custos de cabos e serviços serão realizados conforme procedimento descrito pela Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE (2012).

A viabilidade ambiental pela caracterização e análise dos impactos decorrentes do projeto será feita através da metodologia *check list*. A indicação da praticabilidade econômica será realizada pela metodologia do *pay-back* descontado.

3.5 PROCESSAMENTO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

As estratégias adotadas para aprimoramento do trabalho têm como objetivo a identificação de uma coleção importante de estudos empíricos para sua discussão. A literatura de pesquisa a ser incorporada é, majoritariamente, revisada por pares.

3.6 DIVULGAÇÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente, os resultados serão publicados por meio de artigos em periódicos científicos e eventos, posteriormente na imprensa local. O material será consolidado na forma de dossiê e entregue aos responsáveis e gestores pela definição de políticas públicas ambientais, para que o estudo possa resultar em efetiva contribuição ao município e ao complexo.

4. PROJETO ELÉTRICO

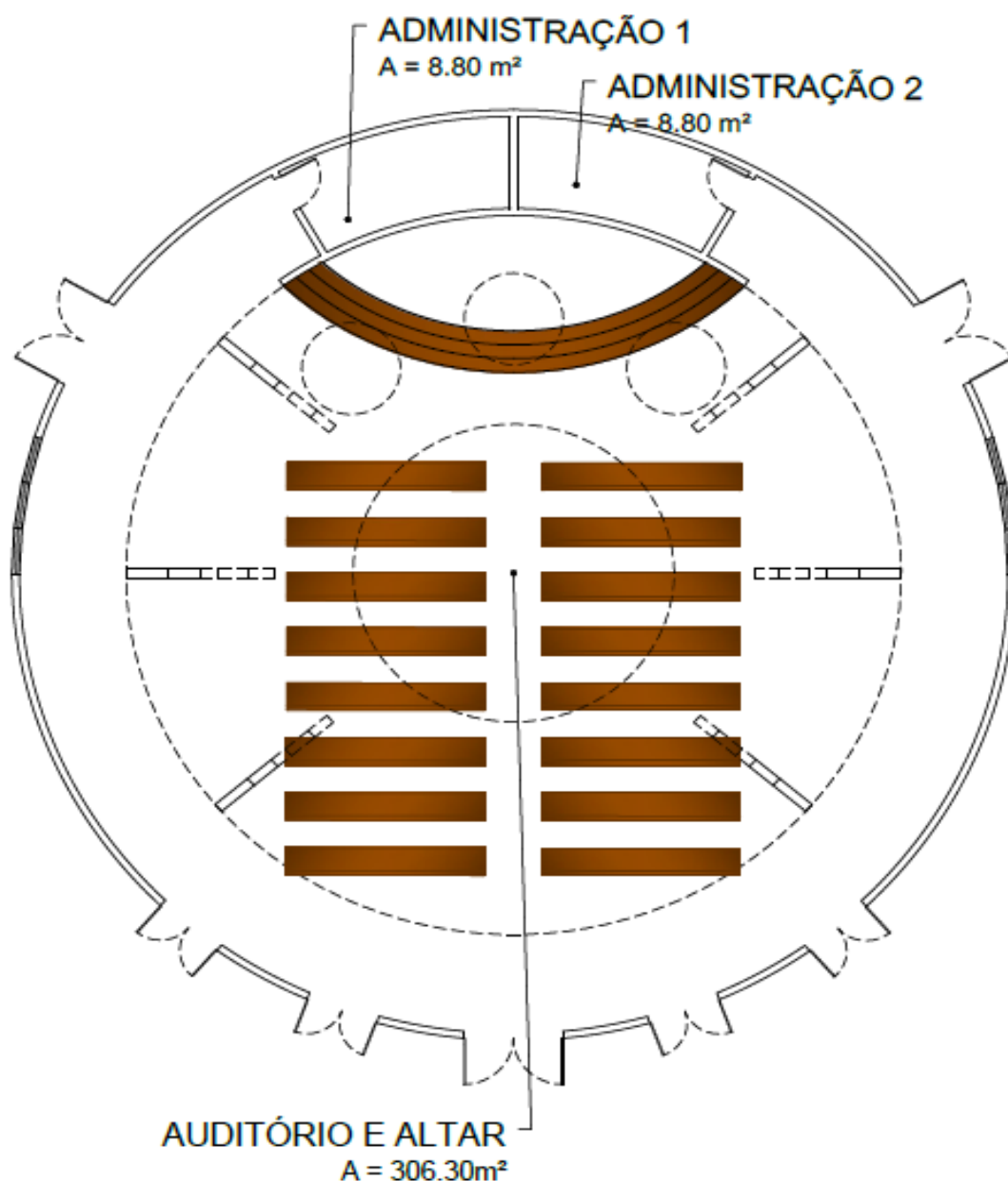
O projeto desenvolvido nessa pesquisa compreende um Sistema fotovoltaico direcionado aos espaços do CTSJ correspondentes ao auditório e a duas salas administrativas, considerando o tempo de funcionamento diário de 8 (oito) horas.

4.1 LEVANTAMENTO DAS CARGAS

A Norma de Instalações elétricas de baixa tensão - NBR 5410 estabelece as condições que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.

Seguindo a referida norma e com auxílio do projeto (figura 10), é possível realizar a previsão de carga para atender a demanda do auditório do CTSJ. Ela aborda parâmetros de carga mínima relacionadas às dimensões dos compartimentos para o cálculo e previsão das cargas.

Figura 10: Projeto do auditório e salas administrativas do CTSJ.



Fonte: SEPLAN, 2018

4.1.1 Cargas de Iluminação

Na determinação das cargas de iluminação, como alternativa à aplicação da ABNT NBR 5410, pode-se adotar os seguintes critérios:

- a) em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m², deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA;
- b) em cômodo ou dependências com área superior a 6m², deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6 m², acrescida de 60 VA para cada aumento de

4 m² inteiros.

Assim, para os locais de estudo, foram realizados os seguintes cálculos da potência:

1) AUDITÓRIO E ALTAR: 306,30m²

$$306,30m^2 = 6m^2 + 75 * 4m^2 + 0,30m^2$$

$$100VA + 75 * 60VA + 0VA =$$

$$100 + 4500 = 4600VA$$

2) ADMINISTRAÇÃO 01 e 02: 8,80 m² cada

$$8,80m^2 = 6m^2 + 2,80m^2$$

$$100VA + 0VA = 100 * 2 = 200VA$$

Dessa forma, para a iluminação dos ambientes em questão, foi obtido um valor de potência de 4800 VA, uma vez que este valor resulta do somatório das potências mínimas, onde:

$$P_{total} = P_{auditorio_{altar}} + P_{adm0102} \quad (Eq. 2)$$

$$P_{total} = P_{auditorio_{altar}} + P_{adm0102}$$

$$P_{total} = 4600VA + 200VA = 4800VA$$

4.1.2 Cargas para as Tomadas

Ainda de acordo com a NBR 5410, o número de pontos de tomada deve ser determinado em função da destinação do local e dos equipamentos elétricos que podem ser utilizados, observando-se no mínimo os seguintes critérios:

a) Em salas e dormitórios devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada para cada 5m, ou fração, de perímetro, devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível;

b) Em cada um dos demais cômodos e dependências de habitação devem ser previstos pelo menos:

1. Um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for igual ou inferior a 2,25 m². Admite-se que esse ponto seja posicionado externamente ao cômodo ou dependência, a até 0,80 m no máximo de sua porta de acesso;

2. Um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for superior a 2,25 m² e igual ou inferior a 6 m²;

3. Um ponto de tomada para cada 5m, ou fração, de perímetro, se a área do cômodo ou dependência for superior a 6 m², devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível.

Dessa forma, para os ambientes do projeto, realizam-se os seguintes cálculos:

1) AUDITÓRIO E ALTAR: 306,30m²

De acordo com a área desses ambientes, deve ser considerado um ponto de tomada para cada 5 m, visto que a dependência possui área superior a 6m². Assim, como o perímetro total corresponde a 68,88 m, então tem-se que:

$$\text{Número de pontos de tomadas} = \frac{68,88m}{5}$$

Número de pontos de tomadas $\approx$ **14 tomadas**.

2) ADMINISTRAÇÃO 01 e 02: 8,80 m²

Os perímetros dos cômodos referentes aos ambientes da Administração 01 e 02 correspondem a 12,68 m cada uma. Assim:

$$\text{Número de pontos de tomadas} = \frac{2 \cdot 12,68m}{5}$$

Número de pontos de tomadas $\approx$ **6 tomadas**.

A potência a ser atribuída a cada ponto de tomada é função dos equipamentos que ele poderá vir a alimentar e não deve ser inferior aos seguintes valores mínimos:

b) nos demais cômodos ou dependências, no mínimo 100VA por ponto de tomada.

Assim, para o Auditório e Altar, tem-se um valor correspondente a 14 pontos de tomadas. Considerando, segundo a NBR 5410, a potência mínima de 100 VA por ponto de tomada, conclui-se, que a potência total é de 1400 VA. Já para os ambientes da Administração 01 e 02, a potência total atribuída foi de 600 VA, uma vez que é o equivalente a 6 pontos de tomadas multiplicado pela potência de 100 VA.

Dessa forma, a Potência Total para as tomadas corresponde a:

$$P_{total} = P_{auditorio_{altar}} + P_{adm01_{02}} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$P_{total} = 1400VA + 600VA = 2000VA$$

4.1.3 Ar condicionado

Com base na planilha comercial da *Leroy Merlin* (Tabela 1), calculou-se a quantidade de BTUs necessárias para manter a refrigeração do Auditório, Altar, Administração 01 e Administração 02.

Tabela 1: Estimativa de BTU - Leroy Merlin

Área (m ²)	Ambiente residencial	Ambiente comercial
9 m ²	7.000 BTUs	7.000 BTUs
12 m ²	7.000 BTUs	9.000 BTUs
15 m ²	9.000 BTUs	12.000 BTUs
20 m ²	12.000 BTUs	16.000 BTUs
25 m ²	15.000 BTUs	20.000 BTUs
30 m ²	18.000 BTUs	24.000 BTUs
35 m ²	21.000 BTUs	28.000 BTUs
40 m ²	24.000 BTUs	32.000 BTUs
45 m ²	27.000 BTUs	36.000 BTUs
50 m ²	30.000 BTUs	40.000 BTUs
60 m ²	36.000 BTUs	48.000 BTUs
70 m ²	42.000 BTUs	56.000 BTUs

Fonte: Leroy Merlin, 2014

Com isso, por proporcionalidade é possível estipular a demandada:

$$\begin{array}{ccc} 70m^2 & 56000BTU's \\ 306,30m^2 & x \\ x = 245.040BTU's \end{array}$$

De acordo com a tabela de Potência de Aparelhos Eletrodomésticos da COSERN (2012), um ar condicionado de 30.000 BTUs, possui uma potência de 3.200 W. Assim, para que sejam supridos os 245.040 BTUs, será necessário a utilização de, aproximadamente, 9 aparelhos de ar condicionado de 30.000 BTUS, resultando em uma potência total requerida de 28.800 W ou 28,8 KW.

Com relação às áreas da Administração 01 e 02, devido ambos os cômodos possuírem suas dimensões inferiores a 9 m², ainda com base na Tabela 1, seria necessário o uso de aparelhos de 7000 BTUs. Assim, comparando com a tabela de Potência de Aparelhos Eletrodomésticos da COSERN (2012), um aparelho de 7000 BTUs com potência de 900 W, posto um em cada uma dessas dependências, supre as necessidades de refrigeração, requerendo a potência total estimada de 1800 W ou seja 1,8 KW.

Concluindo, a potência pretendida para o funcionamento dos aparelhos de ar condicionado, seria de 28,8 KW + 1,8 KW, totalizando 30,6 KW.

4.1.4 Carga total

A carga total corresponde ao somatório das potências calculadas, considerando o fator de potência de 0,92, adotado nas redes de distribuição do Brasil - segundo a ANEEL, 2014. Assim:

$$P_{ainstaladatotal} = P_{arcondicionado} + \frac{S_{Iluminação} * Fp_{iluminação}}{1000} + \frac{S_{TUGTs} * Fp_{TUGTs}}{1000} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$P_{ainstaladatotal} = 30,6kW + \frac{4800*1}{1000} + \frac{2000*0,92}{1000}$$

$$P_{ainstaladatotal} = 30,6KW + 4,8KW + 1,84KW$$

$$37,24KW \approx 38KW$$

4.2 PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O projeto para a implantação do sistema fotovoltaico foi baseado em todos os benefícios da implementação desse tipo de geração elétrica, por ser utiliza de uma energia renovável infinita e inesgotável, prezando ainda pela economia na sua execução.

De acordo com Villalva e Gazoli (2013), o número de módulos é dado por:

$$N_m = \frac{\text{Energia do Sistema (kWh)}}{\text{Energia do Módulo (kWh)}} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde N_m é o número de módulos da instalação; Energia do sistema é a energia produzida pelo sistema no tempo considerado (kWh); Energia do módulo é a energia produzida pelo módulo (dado disponibilizado pelo fornecedor do produto, conforme figura 11) no tempo considerado (kWh); de acordo com os valores do quadro 1, abaixo.

Figura 11: Especificações do Produto

ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

Dados elétricos*

- Potência máxima (Pmax): 395W
- Número de células: 144 half-cell
- Tensão de máxima potência (Vmp): 38,5V
- Corrente da máxima potência (Imp): 10,26A
- Tensão de circuito aberto (Voc): 47,0V
- Corrente do curto-circuito (Isc): 10,82A
- Tipo de células: Silício Policristalino
- Eficiência do módulo: 17,88%
- Tolerância de potência: + - 5%
- Dimensões (mm): 2108 x 1048 x 40 (mm)
- Peso (Kg): 24,9

Fonte: Autor, 2019

Quadro 1: Especificações técnicas

Modelo	Painel Solar 395W <i>Canadian Solar</i> - CS3W-395P
Tempo considerado	8:00 h
Energia do sistema	$(38 * 8) = 304 \text{ KWh}$
Energia do módulo	$(59/30) = 1,97 \text{ KWh}$

Fonte: Autor, 2019

$$N_m = \frac{304}{1,97} \cong 154 \text{ módulos}$$

Considera-se, para esse dimensionamento, um arranjo de módulos em série, de forma que o inversor será dimensionado de acordo com a tensão total do sistema (V_{oc} , string), através da Tensão de circuito aberto (V_{oc}): 47,0V.

$$V_{oc, string} = N_m * V_{oc} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$V_{oc, string} = 154 * 47 = 7.238 \text{ V}$$

A tensão máxima de entrada do sistema, de acordo com dados do fornecedor, é de 1000V, exigindo a divisão do sistema em n inversores, para a divisão da tensão. Deve-se considerar, também, o atendimento a potência instalada do sistema, definida pela seguinte equação:

$$PkWp = \frac{(N_m * P_m)}{1000} \quad (\text{Eq. 3})$$

$\therefore$

$$PkWp = \frac{(154 * 395)}{1000} = 60,83kWp$$

Onde:

$PkWp$ = Potência instalada do sistema em kWp;

P_m = Potencia do módulo.

Encontrada a potência instalada (P_{kWp}), define-se agora o número de inversores que atenda a esse valor. Usualmente, o comércio de inversores trabalha com a tensão máxima de entrada de 600 e 1000V, que configura a tensão máxima de entrada que um sistema em série dos módulos do modelo escolhido suporta. Dessa forma, o sistema foi dividido para que não ultrapassasse 1000V e considerando que o mesmo não funcionará em potência máxima constantemente:

$$N_m = \frac{1000}{47} \cong 22 \text{módulos} \therefore 1.034V \quad (\text{Eq. 7})$$

De forma análoga, o número de inversores pode ser obtido a partir da razão entre o número de módulos da instalação (Eq. 5) pelo número de módulos derivados da tensão máxima de entrada do sistema (Eq. 7).

$$N_{inv} = \frac{154}{22} = 7 \text{inversores} \quad (\text{Eq. 8})$$

Calculado o número de inversores, encontra-se um modelo que atende aos requisitos de tensão e potência instalada. O modelo *Grid-Tie Canadian Solar* com Monitoramento - CSI-25K-KTL de potência igual a 25,0kW.

A área mínima requerida, diante das dimensões unitárias do módulo (2108mm x 1048mm), configura-se em 48,6 m².

Tomando como base as dimensões fornecidas pelo fabricante, é possível obter as áreas requeridas pelos equipamentos da composição do sistema projetado, sendo 2,4 m² [7*(0,7m x 0,53m)] e 53,5 m² [22*(2,108m x 1,048m)] dos inversores e painéis solares, respectivamente, considerando uma taxa de acréscimo de 10% em cada acessório.

5. ANÁLISE ECONÔMICA

O custo inicial de implantação do sistema fotovoltaico pode ser visualizado na tabela 2, disponível pelo *site* Minha Casa Solar em 08/03/2019.

Tabela 2: Custo inicial do projeto

Quantidade	Descrição	Valor Unitário	Valor Total
22	Painel Solar 395W <i>Canadian Solar</i> - CS3W-395P	R\$ 919,00	R\$ 20.218,00
7	<i>Inversor Grid-Tie 25,0kW Canadian Solar</i> com Monitoramento - CSI-25K-KTL	R\$ 22.032,26	R\$ 154.225,82
TOTAL			R\$ 174.443,82

Fonte: Minha Casa Solar, 2019

Na tabela 3, encontram-se os valores de referência da ABINEE (2017) para os demais componentes do sistema.

Tabela 3: Padrão de custo com os demais componentes

Componente	Residencial	Comercial	Usina
Capacidade	3Kw	30kW	30mW
Cabos e Proteção	R\$ 2.250,00	R\$ 18.000,00	R\$ 13.100.000,00
Sistema de fixação	R\$ 3.750,00	R\$ 24.000,00	R\$ 14.000.000,00
Serviços	R\$ 3.750,00	R\$ 30.000,00	R\$ 18.000.000,00
Total	R\$ 9.750,00	R\$ 72.000,00	R\$ 45.000.000,00

Fonte: ABINEE, 2017

Com base na tabela 3, realizou-se a estimativa dos custos dos demais componentes do sistema estudado, com potência instalada de 60,83kWh, através da interpolação dos valores expressos para instalações comerciais, o qual a potência encontra-se mais próxima, obtendo-se assim, a tabela 4 seguinte:

Tabela 4: Custo com os demais componentes

Componente	Comercial
Capacidade	60,83 kWp
Cabos e Proteção	R\$ 36.480,00
Sistema de fixação	R\$ 48.640,00
Serviços	R\$ 60.800,00
Total	R\$ 145.920,00

Fonte: Autor, 2019

De acordo com a ABINEE (2017), a estimativa real do valor do projeto (tabela 5) compreende a soma dos custos dos componentes mais o quantitativo dos módulos e inversores, acrescido de 0,5% do valor do projeto, caracterizado como “outros”, referente a outros elementos (disjuntor, medidor e etc.)

Tabela 5: Custo total do projeto

Equipamento	Valor
Painel Solar 395W <i>Canadian Solar - CS3W-395P</i>	R\$ 20.218,00
Inversor <i>Grid-Tie Canadian Solar</i>	R\$ 154.225,82
Cabos e Proteção	R\$ 36.480,00
Sistema de fixação	R\$ 48.640,00
Serviços	R\$ 60.800,00
Outros	R\$ 1.601,82
Total	R\$ 321.965,64

Fonte: Autor, 2019

A estimativa do custo do projeto ($\frac{R\$}{\text{kw}}$) é feita com base no custo total em razão a potência instalada. No objeto de estudo, definiu-se o valor do custo como $5,29 \frac{R\$}{\text{kw}}$, enquadrando-o no valor de referência da ABINEE (2017), de $6,27 \frac{R\$}{\text{kw}}$ para instalações comerciais.

A viabilidade por meio do *Pay-back* descontado será realizado com os seguintes parâmetros da análise de custos da produção:

- Vida útil do sistema fotovoltaico: 25 anos
- Custo de investimento: R\$ 321.965,64
- Custo de operação e manutenção: Estimado em 1% do custo de investimento ao ano
- Eficiência das células: 1,5% no primeiro ano e 0,75% nos anos seguintes
- Tarifa de energia: Depende do Índice Geral de Preços do Mercado –IGPM e o reajuste é feito pelo índice de Reajuste Tarifário –IRT. A partir da análise das variações das tarifas da Cosern, identificando 5% ao ano.

Na tabela 6, abaixo, é apresentada a viabilidade econômica do sistema, onde para a realização dos cálculos foi levada em consideração a queda na eficiência dos módulos, bem como a geração e a economia consideradas possuem recorrências anuais. A sua elaboração se deu através da estimativa do desconto do fluxo de caixa advindo da geração elétrica anual, suscitado do valor investido inicial, levando em consideração o gasto com operação e manutenção, bem como o aumento anual da tarifa, tudo isso proporcional à perda do desempenho da eficiência das células. Segundo o Porta Solar (2018), o sol, com o passar do tempo, por diversas razões, enfraquece as ligações químicas que fazem a célula solar funcionar.

Tabela 6: Viabilidade econômica

ANO	Desempenho (%)	Tarifa (R\$)	Geração (kWh)	Economia (R\$)	O e M (R\$)	Fluxo (R\$)
0	-	-	-	-	-	-321965,64
1	100	0,6382716	109440	69852,44	-3219,66	-248893,54
2	98,5	0,67018518	107798,4	72244,89	-2488,94	-174159,71
3	97,761	0,703694439	105384,794	74158,69	-1741,6	-98259,42
4	97,028	0,738879161	102252,758	75552,43	-982,59	-21724,4
5	96,3	0,775823119	98469,406	76394,84	-217,24	54887,68
6	95,578	0,814614275	94115,089	76667,49	-548,88	132104,05

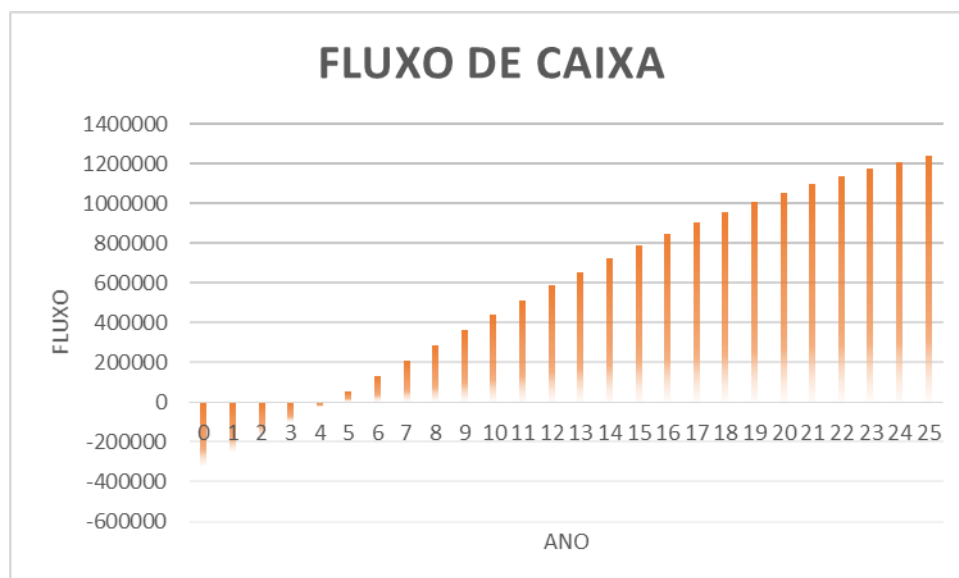
7	94,861	0,855344989	89278,515	76363,93	-1321,04	209789,02
8	94,15	0,898112238	84055,722	75491,47	-2097,89	287378,38
9	93,444	0,94301785	78545,029	74069,36	-2873,78	364321,52
10	92,743	0,990168743	72845,016	72128,86	-3643,22	440093,6
11	92,047	1,03967718	67051,652	69712,07	-4400,94	514206,61
12	91,357	1,091661039	61256,378	66871,2	-5142,07	586219,88
13	90,672	1,146244091	55542,383	63665,13	-5862,2	655747,21
14	89,992	1,203556295	49983,701	60158,2	-6557,47	722462,88
15	89,317	1,26373411	44643,942	56418,07	-7224,63	786105,58
16	88,647	1,326920815	39575,515	52513,57	-7861,06	846480,21
17	87,982	1,393266856	34819,33	48512,62	-8464,8	903457,63
18	87,322	1,462930199	30404,935	44480,3	-9034,58	956972,51
19	86,667	1,536076709	26351,045	40477,23	-9569,73	1007019,47
20	86,017	1,612880544	22666,378	36558,16	-10070,19	1053647,82
21	85,372	1,693524572	19350,74	32770,95	-10536,48	1096955,25
22	84,732	1,7782008	16396,269	29155,86	-10969,55	1137080,66
23	84,097	1,86711084	13788,77	25745,16	-11370,81	1174196,63
24	83,466	1,960466382	11508,935	22562,88	-11741,97	1208501,48
25	82,84	2,058489701	9534,002	19625,64	-12085,01	1240212,13

Fonte: Autor, 2019

Como pode ser observado, o sistema se mostra eficiente durante sua vida útil, acumulando um fluxo de caixa equivalente a mais de três vezes o valor do investimento. Dessa forma, confirma-se a viabilidade econômica, tendo em vista que o custo com a manutenção dos equipamentos apresenta-se baixo, comparado ao fluxo acumulado.

A figura 12, a seguir, obtido a partir dos dados da tabela 6, representa o fluxo de caixa acumulado ao longo dos 25 anos de geração da usina solar fotovoltaica, demonstrando o retorno financeiro do investimento é recuperado entre o 4º e 5º ano de funcionamento, onde durante o restante de sua vida útil, a energia gerada significará lucro, uma vez que não haverá mais a necessidade do pagamento integral da fatura vinculada a concessionária.

Figura 12: Fluxo de caixa



Fonte: Autor, 2019

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento deste estudo, possibilitou-se dimensionar e analisar uma micro usina fotovoltaica conectada à rede, com capacidade de 60,83 kWp, referente ao funcionamento do auditório do Complexo Turístico Serrote do Jatobá em Pau dos Ferros-RN. A partir dos resultados obtidos, observou-se a viabilidade ambiental do projeto, uma vez que os impactos ambientais positivos se sobressaem em magnitude e abrangência quando comparados aos negativos, bem como atestou-se, viabilidade econômica por meio do critério do *Pay-back*, o que identificou retorno financeiro entre o 4º e 5º ano de funcionamento, o que gera lucro pelo resto da vida útil do aparelho, não havendo mais a dívida mensal total perante a concessionária.

Diante dos expostos, sugere-se o estudo da expansão do projeto para todo o Complexo Turístico, buscando-se a geração autônoma total.

7. REFERÊNCIAS

- ABINEE - GRUPO SETORIAL DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DA ABINEE (São Paulo). Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- BARBOSA FILHO, Wilson P. et al. **Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas**. 2016. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/expansao-da-energia-solar-fotovoltaica-no-brasil-impactos-ambientais-e-politicas-publicas>>. Acesso em: 11 fev. 2019.
- BARBOSA, R. R. et al. Energia solar fotovoltaica no semiárido: potencial, cenário atual e perspectivas. 2017. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conidis/trabalhos/TRALHO_EV074_MD1_SA6_ID1255_12092017164051.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- CERNE. **Em 4 anos, produção de energia solar fotovoltaica cresceu 4000% no Rio Grande do Norte**. 2017. Disponível em: <<http://cerne.org.br/em-4-anos-producao-de-energia-solar-fotovoltaica-cresceu-4000-no-rn/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.
- COSTA, S. C. da; SCOCUGLIA, J. B. C. **Diretrizes de sustentabilidade na arquitetura: Percepções e usos na cidade de Natal**. Arquitectos, São Paulo, ano 09, n. 098.04, Vitruvius, jul. 2008
- DAMIANI, M. F. **Sobre pesquisas do tipo intervenção**. In: encontro nacional de didática e práticas de ensino, 16. 2012, Campinas. Anais XVI ENDIPE. Campinas: Junqueira&marin Editores, 2012. p. 1 - 9.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Ministério de Minas e Energia. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Disponível em: <https://jornalggm.com.br/sites/default/files/documentos/nt_energiasolar_2012.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética e Elétrica**. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- FRAIDENRAICH, N. **Antecedentes Históricos da Ciência Solar no Brasil**. A Tecnologia Solar Fotovoltaica. Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia. FAE. UFPE. 2005.
- GRAY, D. E. **Pesquisa no mundo real**. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2012.
- IBGE, 2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pau dos Ferros - RN**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/pau-dos-ferros>

- IDEMA. **Perfil do seu município**. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/identificacao/DOC/DOC000000000013919.PDF> V.10 p. 1-22, 2008. Acesso em: 17 de set 2018.
- INATOMI, T. A. H. **Análise dos impactos Ambientais na produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos**. Dissertação de Mestrado. USP, 2000.
- IRENA. **Dados e Estatísticas**. 2017. Disponível em: <<http://www.irena.org/>>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- KAAN, H.; REIJENGA, T. Photovoltaics in an architectural context. **Progress In Photovoltaics: Research and Applications**, [s.l.], v. 12, n. 6, p.395-408, set. 2004. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/pip.554>.
- MACEDO NETO, M. C. de et al. **Aplicação de materiais alternativos para o uso da energia solar**. Holos, [s.l.], v. 4, p.212-223, 4 ago. 2014. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2014.663>.
- MATA, A. R. da et al. **Sistema de gestão ambiental: Energia**. 2013. Disponível em: <https://www.unifal-mg.edu.br/sustentabilidade/sites/default/files/anexos/Energia_relato%20do%20rio_0.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2019.
- MOURA, V.; SCHMID, A. L. **A integração de sistemas fotovoltaicos na arquitetura brasileira contemporânea: POTENCIAL ENQUANTO CONCEITO ARQUITETÔNICO EM SHOPPING CENTERS**. 2005. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/283347529>>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- MINHA CASA SOLAR. **Inversor Grid-Tie 25,0kW Canadian Solar com Monitoramento - CSI-25K-KTL**. 2019. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-grid-tie-25-0kw-canadian-solar-com-monitoramento-csi-25k-ctl-79322>>. Acesso em: 08 mar. 2019.
- MINHA CASA SOLAR. **Painel Solar 395W Canadian Solar - CS3W-395P**. 2019. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-395w-canadian-solar-cs3w-395p-79326>>. Acesso em: 08 mar. 2019.
- NASCIMENTO, C. A. do; ALVARENGA, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 21 f. Monografia (Especialização) - Curso de Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras-mg, 2004.
- OLIVEIRA, A. M. de. **A IMPORTÂNCIA DA ENERGIA SOLAR**. 2010. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/a-importancia-da-energia-solar/32718/>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

OTTINGER, R. L. **Environmental costs of electricity** / prepared by Pace University center for environmental legal studies. New York: Oceana Publications, 1991.

PAGLIARO, M.; CIRIMINNA, R.; PALMISANO, G. **BIPV**: merging the photovoltaic with the construction industry. **Progress In Photovoltaics: Research and Applications**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.61-72, jan. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/pip.920>.

PORTAL SOLAR. **Painéis Solares Integrados à Construção – BIPV**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/paineis-solares-integrados-a-construcao---bipv.html>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

PORTAL SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Pannel Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-pannel-solar.html>>. Acesso em: 12 set. 2018.

PORTAL SOLAR. **Quanto tempo duram os painéis solares?** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/pannel-solar/quanto-tempo-duram-os-paineis-solares-.html>>. Acesso em: 12 set. 2018.

PORTAL SOLAR. **Sistema Fotovoltaico**: Como Funciona a Energia Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html>>. Acesso em: 12 set. 2018.

PORTAL SOLAR. **Vantagens e Desvantagens da Energia Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html>>. Acesso em: 14 set. 2018.

RAMÍREZ, E. B. R.; SIABATO, A. I. B.; ORDUZ, M. G. **Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia**. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, [s.l.], v. 8, n. 1, p.239-248, 5 jun. 2017. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <http://dx.doi.org/10.22490/21456453.1853>.

REN 21 (Paris). **Renewables 2017: GLOBAL STATUS REPORT**. 2017. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2018.

RESOLUÇÃO NORMATIVA, Nº 482, 17 de Abril de 2012. 2012. 1p.

SAMANEZ, C. P. **Matemática Financeira**. 5. ed. São Paulo Sp: Pearson Prentice Hall, 2010. 286 p.

SANTOS, Í. P. dos. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil -, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-sc, 2009.

SEPLAN, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Econômico - 2018

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. Cortez editora, 2017.

SIQUEIRA, L. M. P. de. **Viabilidade da microgeração de energia elétrica em uma residência por um sistema composto por painéis fotovoltaicos conectados à rede**. 2013. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

TEIXEIRA, A. de A.; CARVALHO, M. C.; LEITE, L. H. de M. **Análise de viabilidade para a implantação do sistema de energia solar residencial**. E-xacta, Belo Horizonte, v. 3, n. 4, p.117-136, 30 dez. 2011.

TESSMER, H. **Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 3, n. 3, 7 p. nov. 2002.

VARELLA, F. K.de O. M.; GUERRA, M. I. da S. **Análise do desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar de baixo custo na cidade de Mossoró (rn)**. Holos, [s.l.], v. 4, p.241-268, 2 set. 2014. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2014.1266>.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à Rede**. São Paulo Sp: Editora Erica Ltda, 2013. 224 p.

WANDERLEY, A. C. F.; CAMPOS, A. L. P. S. **Perspectivas de inserção da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica no Rio Grande do Norte**. Holos, [s.l.], v. 3, p.3-14, 2 ago. 2013. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2013.1493>.

ANEXO

QUADRO DE ACABAMENTOS

MATERIAL	AMBIENTE					OBSERVAÇÕES
	ADMINISTRATIVO	SANITÁRIO	CELEBRAÇÃO	ESCALA DE EMERGÊNCIA	QUIOSQUES	
ACABAMENTO EM GRANITO						
CERÂMICA BRANCA SOCROMAX						
CERÂMICA NA COR AARIUM 100CM(100CM)						
INTERTRAVADO PRE-MOLDADO						
CERÂMICA BRANCA SOCROMAX						
GRAFIATO COM PINTURA NA COR AREIA						
CONCRETO APARENTE						
MASSA CORRIDA COM PINTURA ARTÍSTICA						
MASSA CORRIDA COM PINTURA NA COR AREIA						
MASSA CORRIDA COM PINTURA SEM-BRILHO NA COR AREIA						
GRAFIATO COM PINTURA NA COR BRANCO GELO						
VIGORITE LIGADO 2,5CM(2,5CM)						
LAJE EMASSADA PINTADA NA COR BRANCO NEVE						
FORRO DE GESSO BRANCO						
MASSA CORRIDA COM PINTURA ARTÍSTICA						

QUADRO DE ESQUADRIAS

Nº	LARGURA	ALTURA	PERÍMETRO	QTD	TIPO	MATERIAL
P1	2,00	2,10	-	07	ABRIR	VIDRO
P2	0,90	2,10	-	08	ABRIR	ALUMÍNIO
P3	0,80	2,10	-	06	ABRIR	ALUMÍNIO
P11	2,80	1,00	1,90	04	ROLO	METAL
J1	3,00	1,00	1,10	02	PIVOTANTE	ALUM + VDR
J2	1,00	0,40	1,70	12	MAXI-ABR	ALUM + VDR
J3	3,20	2,10	-	04	FIXA	VIDRO
J4	1,50	0,90	1,60	01	MAXI-ABR	ALUM + VDR

43