



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U. nº 198, de 14/10/2016
AELBRA EDUCAÇÃO SUPERIOR - GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO S.A.

Katiussa Magalhães Brito

Análise de eficiência de um sistema de minigeração fotovoltaica conectado à rede instalado
no Centro Universitário Luterano de Palmas-TO

Palmas – TO

2019

Katiussa Magalhães Brito

Análise de eficiência de um sistema de minigeração fotovoltaica conectado à rede instalado
no Centro Universitário Luterano de Palmas-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof.a Dra. Ângela Ruriko Sakamoto.

Palmas – TO

2019

Katiussa Magalhães Brito

Análise de eficiência de um sistema de minigeração fotovoltaica conectado à rede
instalado no Centro Universitário Luterano de Palmas-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).


Orientador: Prof.a Dra. Ângela Ruriko
Sakamoto.

Aprovado em: ____ / ____ / ____


BANCA EXAMINADORA


Prof.a Dra. Ângela Ruriko Sakamoto
Orientadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP


Prof.a Esp. Kenia Parente Lopes Medonça
Avaliadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP


Prof.a Dra. Michele Ribeiro Ramos
Avaliadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças e não me deixar desistir mesmo nos momentos que tudo parecia estar perdido.

Em segundo lugar agradeço a minha família, em especial, aos meus pais pelos ensinamentos e por todo apoio dado durante essa jornada.

Agradeço a minha orientadora Doutora Ângela Ruriko Sakamoto por toda orientação, conhecimento compartilhado, por paciência e cuidado para que permitissem eu chegar até aqui. Agradeço também meu co-orientador Thalyson Medeiros pelas orientações e esclarecimentos prestados quanto solicitados em desespero por mim.

Agradeço muito a equipe do meu serviço (Equipe Ouvidoria) por toda compreensão nessa minha reta final de faculdade, sem dúvidas vocês foram essenciais. Agradeço também ao meu chefe pelas ajudas prestadas para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos do dia-a-dia e da faculdade que me motivaram a nunca desistir do meu sonho e me ajudar de alguma forma especial como cada um sabe e saibam que sou imensamente grata por isso.

RESUMO

BRITO, Katiussa Magalhães. **Análise de eficiência de um sistema de minigeração fotovoltaica conectado à rede instalado no Centro Universitário Luterano de Palmas-TO.** 2019. 61p. Trabalho de conclusão de curso (graduação). Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas -TO, 2019.

O presente trabalho tem como finalidade analisar a eficiência de um sistema de minigeração fotovoltaica conectado à rede elétrica instalado no Centro Universitário Luterano em Palmas-TO. A utilização de fontes de energia renováveis é um dos métodos mais eficazes para preservação do meio ambiente. É importante investir nessa fonte de energia solar visto que ela é renovável e inesgotável, além de diminuir gastos quanto aos aspectos econômicos e ambientais. Justifica-se a necessidade de investir na ampliação do sistema devido a ANEEL a partir de 2020 começar a taxar o uso da energia solar. Dentro deste contexto, foram levantados a eficiência do sistema atual, mapeados os históricos de consumo e de área disponível para verificar pontos de melhoria e maior aproveitamento da energia fotovoltaica. Como resultado, identificou-se que há condições para ampliar o sistema em 91.697,25 kWh de geração, pelo estudo pode se comprovar que esta ampliação gera uma economia anual para a instituição de R\$ 474.155,64 com retorno de investimento de quatro anos, mostrando-se como a melhor relação custo-benefício no investimento em energia solar.

Palavras-chave: Energia Solar, sistema fotovoltaico, eficiência da matriz energética.

ABSTRACT

BRITO, Katiussa Magalhães. **Efficiency analysis of a grid-connected photovoltaic mini-generation system installed at the Palmas Lutheran University Center**. 2019. 61p. Course Completion Essay (Undergraduate). Civil Engineering Course. Palmas Lutheran University Center, Palmas -TO, 2019.

The present work aims to analyze the efficiency of a photovoltaic minigeneration system connected to the electric grid installed at the Lutheran University Center in Palmas-TO. The use of renewable energy sources is one of the most effective methods for preserving the environment. It is important to invest in this source of solar energy as it is renewable and inexhaustible, as well as reducing spending on economic and environmental aspects. It is justified to take advantage of current taxes incentives and the need to invest in the expansion of the system due to ANEEL from 2020 begin to charge fees to the use of solar energy. Within this context, the efficiency of the current system was investigated, the consumption mapped and available physical areas verified then it was able to come up with points of improvement and better use of photovoltaic energy. As a result, it was found that there are conditions to expand the system by 91,697.25 kWh of generation, the study can prove that this expansion generates an annual savings for the institution of R \$ 474,155.64 with a return on investment of four years, proving to be the most cost-effective way to invest in solar energy.

Keywords: Solar energy, photovoltaic system, energy matrix efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Matriz Elétrica Brasileira: Potência instalada em Operação (MW).....	12
Figura 2: Estrutura de uma célula fotovoltaica.....	17
Figura 3: Esquema de funcionamento de uma célula fotovoltaica	18
Figura 4: Orientação azimutal do módulo solar, face voltada para o norte geográfico	19
Figura 5: Alternativas para montagem em telhado colonial	20
Figura 6: Parafuso com prisioneiro para fixação em telhado de fibrocimento.....	21
Figura 7: Diferentes estruturas para telhado metálico	21
Figura 8: Estrutura de sistema fotovoltaico para laje	22
Figura 9: Sistema com medição bidirecional.....	22
Figura 10: Referencial da espessura da abertura e sua classificação.....	24
Figura 11: Tabela de feriados	36
Figura 12: Local de estudo	39
Figura 13: Fluxograma para o desenvolvimento do projeto	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Consumo de energia	45
Gráfico 2: Economia do valor total	49
Gráfico 3: Economia comparada ao consumo fora ponta.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores em reais	44
Tabela 2: Consumo em kWh	46
Tabela 3: Tarifa de cobrança no período estudado	47
Tabela 4: Produção de energia do sistema.....	48
Tabela 5: Economia gerada pelo sistema.....	49
Tabela 6: Orçamento do projeto implantado	51
Tabela 7: Retorno de investimento	51
Tabela 8: Cálculo do retorno de investimento	53

LISTA DE QUADRO

Quadro 1: Protocolo de Pesquisa	42
Quadro 2. Áreas das plantas de coberturas	52
Quadro 3: Orçamento para ampliação	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEULP/ULBRA	Centro Universitário Luterano de Palmas
EPE	Empresa de Pesquisa energética
ELETRORBRAS	Centrais Elétrica Brasileiras S.A.
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MW	Megawatts
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PNEF	Plano Nacional de Eficiência Energética
PNE	Plano Nacional de Energia
PROCEL	Programa Nacional De Conservação de Energia Elétrica
ROL	Receita Operacional Líquida
STC	Standard Test Conditions
SAGE	
V	Volt
W/m ²	Watt por metro quadrado
Wh/m ²	Watt-hora por metro quadrado

SUMÁRIO

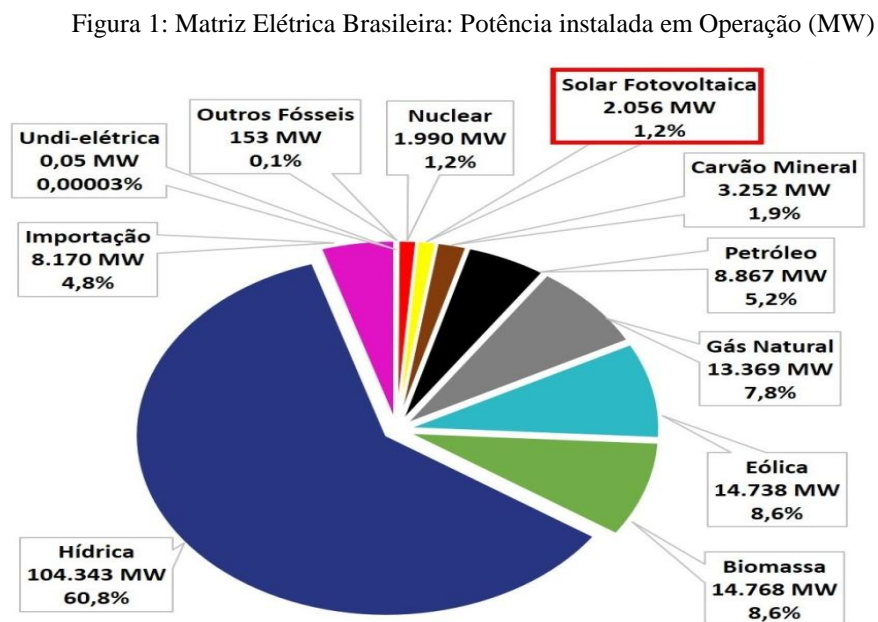
1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2	HIPÓTESES	14
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos	14
1.4	JUSTIFICATIVA	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS	16
2.2	ESTRUTURAS E PATOLOGIAS RELACIONADAS	23
2.3	EFICIÊNCIA ENERGETICA E CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO	24
2.4	REGULAMENTAÇÃO TARIFÁRIA ANEEL	35
2.5	CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	36
3	METODOLOGIA	38
3.1	DESENHO DO ESTUDO	38
3.2	LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA	39
3.3	OBJETO DE ESTUDO OU POPULAÇÃO E AMOSTRA	39
3.4	INSTRUMENTOS DE COLETAS DE DADOS E ANÁLISE	40
4	RESULTADOS SOBRE A CAPACIDADE INSTALADA	43
4.1	CONSUMO ANTERIOR	44
4.2	ANÁLISE DA CAPACIDADE INSTALADA	45
4.3	RETORNO DE INVESTIMENTO	50
5	DIRETRIZES PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA	52
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A energia fotovoltaica consiste na transformação da luz solar em energia elétrica. Essa fonte tem sido a alternativa que mais vem ganhando atenção no mundo, pois, além de reduzir impactos ao meio ambiente e praticamente não originarem resíduos ou emissões de poluentes, possui uma adequação de instalação em qualquer lugar, desde que, haja muita incidência de luz e tenha uma área disponível para a instalação dos painéis (VILLALVA, 2015).

Para diminuir dependência por boas vazões afluentes e os níveis de gases poluente emitidos na atmosfera é justo diversificar a matriz elétrica, recorrendo a fontes alternativas limpas do ponto de vista ambiental e econômico, como a utilização de energia eólica, solar fotovoltaica e biomassa, sendo a ideal para o Brasil a utilização de energia através da utilização de sistemas solar fotovoltaico devido o país possuir elevadas taxas de insolação (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Analisando a necessidade dessa diversificação o cenário das fontes renováveis vem ganhando espaço no Brasil. A fonte solar fotovoltaica ultrapassou a energia nuclear atingindo uma potência operacional instalada superior a 2000 MW equivalente a 1,2% da matriz energética do país conforme ilustra a figura 1 (ABSOLAR, 2019).



Fonte 1: Aneel / ABSOLAR, 2019

Esses resultados agregam muitos benefícios para o desenvolvimento do Brasil, pois essa fonte de energia contribui para a redução de gastos com a energia elétrica e impactos causados ao meio ambiente.

São inúmeras as vantagens dos sistemas fotovoltaicos conectados a rede, dentre elas Ruther (2004) destacam-se: os custos e as perdas envolvidas na condução e distribuição da energia são minimizados, devido o consumidor está próximo ao gerador, à instalação pode ser feita junto às edificações sem a exigência de ocupar novos espaços, os painéis possuem dupla função além de gerar energia serve como elementos arquitetônicos, dentre outras. Porém apresenta algumas desvantagens como o investimento inicial elevado, não produz energia no período noturno e a requer tecnologia de alto nível para produção de células fotovoltaicas.

Neste projeto de pesquisa buscou analisar o processo vigente e apresentou uma ampliação do sistema fotovoltaico em 91.697,25 kWh de geração de energia a ser produzida no qual será dimensionado numa área de 5200 m² e como verificado há total disponibilidade. O valor a ser investido nesse sistema será de R\$ 1.900.000,00 e trará uma economia anual para a instituição de R\$474.153,80, e com isso esse sistema se pagará em aproximadamente quatro anos.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O investimento no sistema fotovoltaico é financeiramente alto, porém em relação ao meio ambiente o impacto causado é praticamente desprezível, um dos destaques que minimizam o custeio da implementação.

Pensando nisso é necessário calcular custos com mão de obra, instalação e manutenção das placas, para avaliar se a implantação é viável ao consumidor. Por ser um sistema relativamente novo em Palmas e poucas empresas trabalharem nessa área, a mão de obra ainda tem um custo elevado, o que acaba negativando os custos da implantação. Quanto à instalação e manutenção, o CEULP/ULBRA por tratar-se de prédios dos anos 90, é necessário analisar se as estruturas suportam o peso das placas sem sofrerem nenhuma patologia e se as placas estão fixadas de forma correta a ponto de suportar variações climáticas como chuvas e ventos fortes.

Diante de todos esses aspectos, se questiona qual é o retorno econômico do sistema fotovoltaico instalado no Centro Universitário Luterano de Palmas?

1.2 HIPÓTESES

O estudo parte da relevância de aferir se,

- O custo de manutenção é tão barato quanto proposto;
- Possíveis impactos das placas sobre a estrutura; e,
- O retorno de investimento está nos patamares estimados.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Propor diretrizes para aumentar a eficiência da matriz energética atual.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Apurar o consumo médio mensal de energia elétrica em períodos anteriores e posteriores a instalação das placas;
- Buscar áreas disponíveis para novas instalações e estimar a quantidade de energia a ser produzida; e,
- Orçar custo de ampliação do sistema.

1.4 JUSTIFICATIVA

Mundialmente a população não para de crescer, conseqüentemente a necessidade de geração de energia tende a aumentar cada vez mais, e no mundo em que vivemos é impossível viver sem energia. Preocupado com um futuro da humanidade, o Brasil tem buscado meios sustentáveis para a geração dessa energia sem causar danos ao meio ambiente, com ganho econômico e social, investindo em sistemas solares.

A luz do sol é o meio renovável que se dá de forma mais simples para a geração de energia. O efeito fotovoltaico é a criação de uma tensão elétrica ou de uma corrente elétrica correspondente em um material uma exposição da luz. Isso acontece quando a luz solar através dos seus próprios fótons é absorvido pelos módulos (células fotovoltaicas), que são feita de silício, criam cargas negativas e positivas devidas o seu grande acúmulo de átomos, elétrons e seus materiais semicondutores. Os fótons são absorvidos pelas células fotovoltaicas que geram uma energia que é transferida para os elétrons no qual se movem esse movimento dos elétrons que se da à geração de energia elétrica. (VILLALVA, 2015).

O território brasileiro é privilegiado com altas taxas de irradiação solar, além de possuir inúmeras edificações comerciais e industriais com áreas disponíveis na própria cobertura e estacionamento para instalação desse projeto, então nada mais justo do que usufruir dessa riqueza e contribuir para desenvolvimento de uma nação melhor.

A expansão desse sistema no Brasil melhora a crise energética e taxa de desemprego, gerando empregos em diversas áreas como na fabricação dos painéis fotovoltaicos e beneficiariam a área da engenharia já que para instalação é necessário a avaliação de um profissional.

O CEULP/ULBRA já faz uso desse projeto fotovoltaico, porém o percentual de energia gerada pelo sistema ainda é considerada baixa devido às instalações de painéis serem inferiores a demanda de consumo da instituição o que torna viável a ampliação desse sistema visto que o custo de implantação se pagará com a própria energia economizada após a instalação das novas placas.

A relevância da ampliação desse projeto é ainda maior depois que a ANEEL divulgou a possível alteração na norma 482 no qual irá taxar o uso da energia solar, a previsão para que essa alteração ocorra está prevista para o ano de 2020, segundo eles haverá um período de transição para as novas regras quem já possui o sistema irá permanecer com as regras atuais com vigor até 2030 e os demais que realizarem a instalação após o lançamento da norma publicada pagará pelo custo da rede.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar o referencial teórico e as pesquisas recentes que propiciam o entendimento e embasam a abordagem metodológica proposta no presente trabalho. Os temas abordados são: instalações fotovoltaicas, estruturas e patologias relacionadas e eficiência e custos do sistema fotovoltaico.

2.1 INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

Segundo Molina, Romanelli (2015, p.56) “o sol é a estrela central do sistema planetário denominado, por esse motivo, sistema solar”, sendo a principal fonte de energia da Terra considerada inesgotável, permitindo a geração de energia térmica e luminosa além de ser uma fonte limpa em relação ambiental.

A energia solar é transmitida para o nosso planeta através de espaço na forma de radiação solar, essa radiação é quantificada por uma grandeza denominada irradiância, expressa em W/m^2 . Já a insolação também conhecida como irradiação é a grandeza que expressa à energia solar irradiada sobre uma determinada superfície durante um intervalo de tempo expressa em Wh/m^2 (watt-hora por metro quadrado), que significa a densidade de energia por unidade de área. Essa radiação solar transforma-se em energia útil através do uso de tecnologias, tais como coletores solares térmicos com função de converter a radiação solar em calor para o aquecimento de água em residências ou edificações e também pode ser transformada em energia elétrica através da utilização de células fotovoltaicas (VILLALVA, 2015).

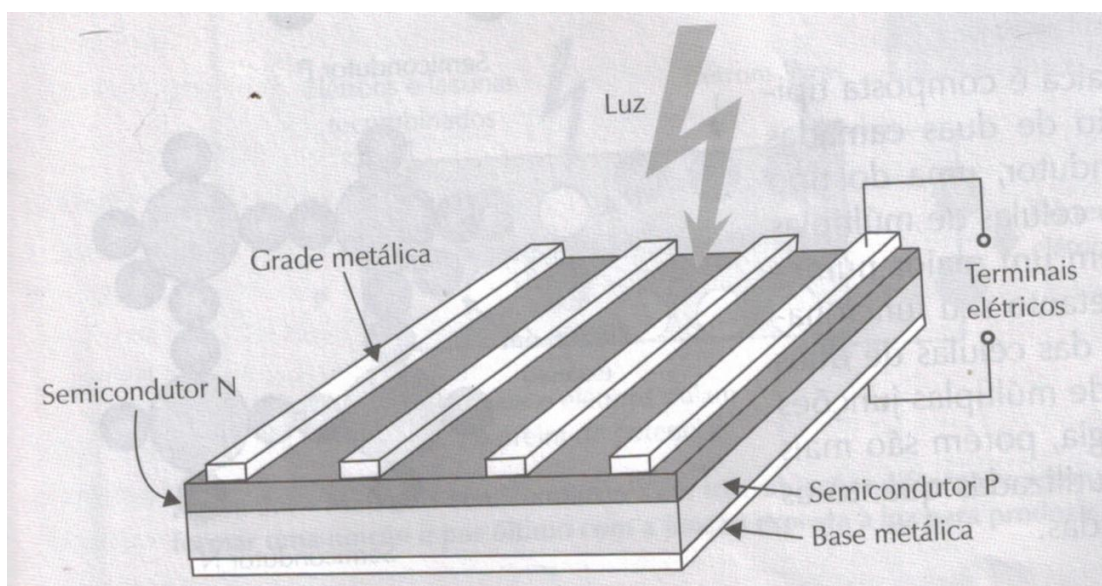
O Brasil possui uma enorme vantagem na utilização de sistemas solar devido sua posição geográfica ser privilegiado com altas taxas de irradiação solar. Porém a energia solar não é totalmente aproveitada porque o território brasileiro não poder ser completamente coberto de dispositivos de captação, mas quando captadas, as energias podem ser utilizadas de forma direta e indireta. A utilização de forma indireta são as maneiras necessárias à manutenção da vida terrestre, tais como a fotossíntese e as energias eólica e hidráulica. A forma direta divide-se em duas etapas ativa e passiva. A energia solar ativa faz uso de dispositivos que captam a radiação e a transforma em outras formas de energias como: calor e eletricidade. Já a forma direta passiva de utilização da energia solar refere-se às propriedades arquitetônicas utilizadas em construções para proporcionar conforto térmico em edificações dependendo do clima da região (MOLINA; ROMANELLI, 2015).

A energia solar fotovoltaica é o fenômeno físico capaz de converter a energia luminosa em eletricidade, através de células compostas por materiais semicondutores com propriedades específicas (VILLALVA, 2015).

O semicondutor encontrado na natureza capaz de transformar a luz em eletricidade é o silício, que por si só não garante o funcionamento das células fotovoltaicas sendo necessário o acréscimo de átomos de fósforo e boro em seus átomos, esse processo é conhecido como dopagem, necessário para a formação da junção pn (VILLALVA, 2015).

Os tipos de silício mais apropriados para construção de painéis solares destinados a geração de energia elétrica são silício cristalino e silício de amorfo hidrogenado. As células fotovoltaicas constituídas de silício cristalino possuem uma eficiência de conversão entre 15% a 18% enquanto as células constituídas de silício amorfo hidrogenado possuem de 10% a 12% de eficiência, porém seu custo de fabricação é menor em relação ao silício cristalino e a sua eficiência diminui entre os 6 e 12 primeiros meses de utilização. Essas células são compostas pela junção de duas camadas de material semicondutor P e N, unidas por terminais elétricos, sendo uma base metálica inferior revestida de película de alumínio ou de prata e uma grade metálica superior translúcida. Além disso, uma célula comercial possui uma camada de material antirreflexivo, para evitar a reflexão e consequentemente aumentar a absorção da luz solar, geralmente composta de nitreto de silício ou de dióxido de titânio. A figura 2 mostra esse detalhamento (VILLAVA, 2015).

Figura 2: Estrutura de uma célula fotovoltaica

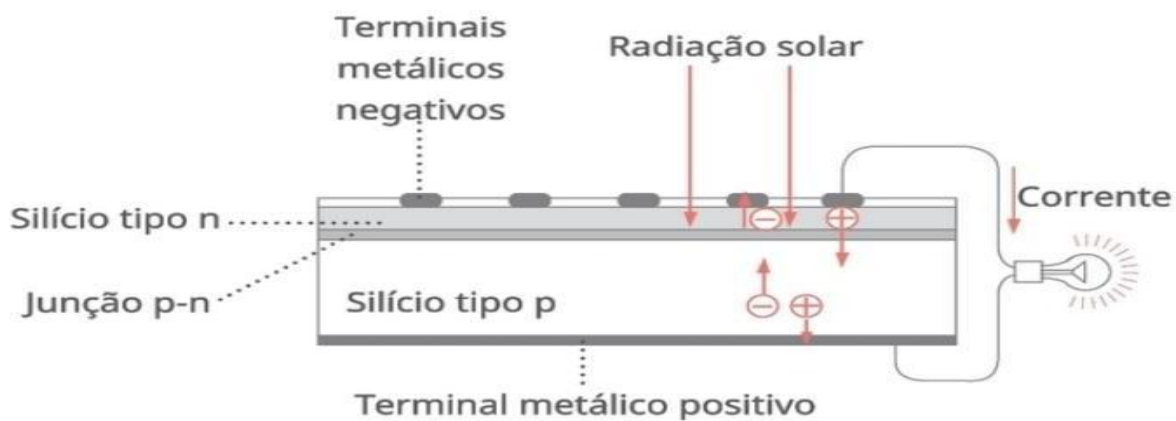


Fonte 2: Villalva (2015)

Para as células fotovoltaicas produzirem corrente e tensão elétrica é necessário receberem a aplicação de um campo elétrico. Para produzir esse campo elétrico, os átomos de silício são dopados com boro que possui três elétrons em sua camada de valência, classificados como aceitador de elétrons, ou seja, um dopante do tipo p e outra camada de silício são dopados de fósforo que possui cinco elétrons de valência, tornando-se doadores de elétrons ou um dopante do tipo n (VILLALVA, 2015).

Quando se forma a junção p-n no material, surge um campo elétrico. Esse campo elétrico se forma devido à radiação solar conter fótons de luz que quando incidem nas células fotovoltaicas excitam os elétrons que passam da banda de valência para a banda de condução. Este fenômeno gera o acúmulo de cargas negativas em uma região opostas às cargas positivas e dá origem a uma diferença de potencial e conseqüentemente a um campo elétrico, gerando assim eletricidade, conforme ilustrado na figura 3 (MOLINA; ROMANELLI, 2015).

Figura 3: Esquema de funcionamento de uma célula fotovoltaica



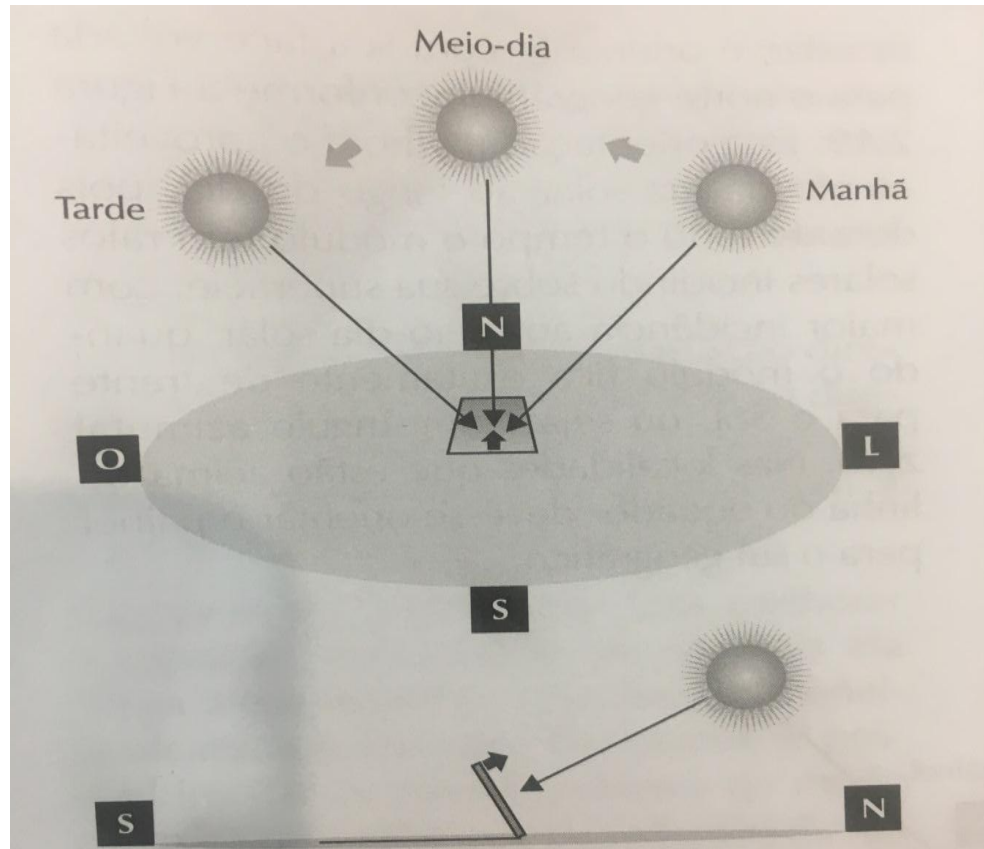
Fonte 3: Natasha Melnick

A quantidade de eletricidade produzida por um sistema fotovoltaico depende da insolação, que são dados disponibilizados em forma de tabelas, mapas solarimétricos e ferramentas computacionais, do local onde os módulos são instalados.

Para melhor instalar um módulo solar fotovoltaico deve-se levar em conta o movimento diário do Sol para que se tenha um melhor aproveitamento da luz solar durante o dia. Devendo este ser instalado, sem um sistema de rastreamento solar, com sua face voltada para o norte geográfico, conforme a Figura 03, pois nessa posição o módulo receberá raios solares incidindo sobre sua superfície durante todo o dia, tendo maior incidência ao meio-dia solar, devido os raios solares chegarem diretamente em linha reta do Sol, ou seja, com ângulo azimutal zero.

Outra regra básica quanto à instalação do módulo é a escolha corretamente do ângulo de inclinação do módulo com relação ao solo, de modo que favoreça a produção de energia ao longo do ano. Lembrando que para as regiões que estão acima da linha do equador deve-se orientar o painel para o sul geográfico, como ilustrado na figura 4 (KELLER; CARVELLI, 2016).

Figura 4: Orientação azimutal do módulo solar, face voltada para o norte geográfico



Fonte 4: Villalva (2015)

Os módulos fotovoltaicos para comercialização são constituídos por um conjunto de células montadas sob uma estrutura rígida e conectadas eletricamente em série para fornecer tensões maiores, de maneira que o terminal superior de uma célula seja ligado ao terminal inferior da outra e assim sucessivamente, até obter um conjunto de tensão de saída desejada. As células e suas conexões elétricas são comprimidas dentro de lâminas plásticas, o módulo é revestido por uma placa de vidro e depois é montado em uma moldura de alumínio. Na parte posterior, é instalada uma caixa de junções elétricas onde são interligados os cabos elétricos, que geralmente são fornecidos junto com o módulo e possuem conectores ajustados que permitem a conexão rápida de módulos em série (VILLALVA, 2015).

Depois de comercializados os módulos devem ser instalados em arranjos em algum tipo de sistema de montagem que podem ser: montagem em telhados, solos, estacionamentos e soluções alternativas. Independentemente do tipo de montagem que será utilizada as placas são fixadas em trilhos o que varia são os tipos de suportes que serão utilizados para parafusar e nivelar esses trilhos na estrutura. Os tipos de materiais utilizados nesse sistema de montagem são fabricados basicamente em alumínio e aço carbonizado a quente ou em aço inox 304 (LAU, 2017).

Para telhados coloniais utiliza-se na maioria das vezes um modelo de gancho que é fixado ao caibro e passa por entre as telhas para que um seja fixado a esse gancho e as placas solares finalmente são fixados aos trilhos sem precisar furar as telhas de acordo com a figura 5 (LAU, 2017).

Figura 5: Alternativas para montagem em telhado colonial



Fonte 5: Portal Solar (2017)

Em telhados de fibrocimento para fixação dos módulos é recomendado o parafuso com prisioneiro, tendo a necessidade de perfurar as telhas conforme figura 6 (LAU, 2017).

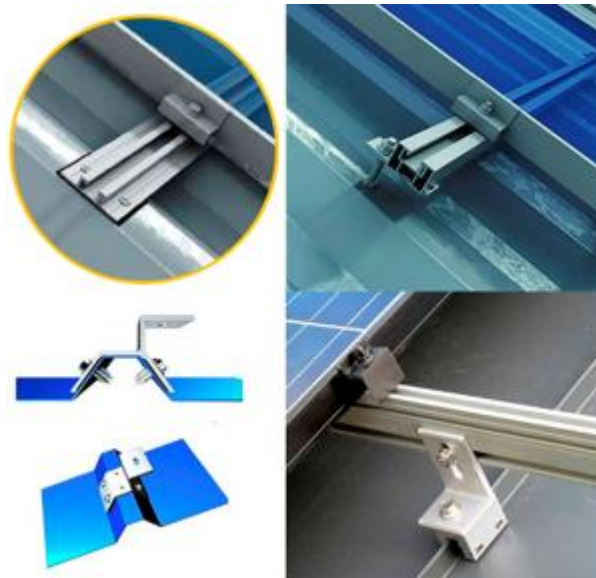
Figura 6: Parafuso com prisioneiro para fixação em telhado de fibrocimento



Fonte 6: Portal Solar (2017)

Para coberturas metálicas há várias soluções que se adequam de acordo com um modelo da telha. Destaca-se uma que permite que a estrutura seja colada inteiramente na telha. Ciente que a estrutura e a cola devem ser específicas para essa aplicação e a montagem deve seguir rigorosamente as instruções como demonstrado na figura 7 (LAU, 2017).

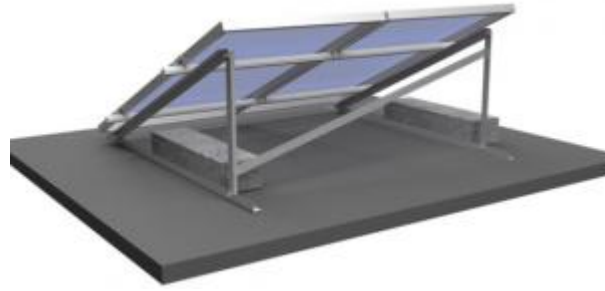
Figura 7: Diferentes estruturas para telhado metálico



Fonte 7: Portal Solar (2017)

Quando se trata de laje usa-se uma estrutura adequada é em forma de triângulo com inclinação fixa ou ter ajuste de inclinação, pode ser aparafusada ou concretada na laje, podendo ainda ser fixada utilizando-se lastros de concreto conforme figura 8 (LAU, 2017).

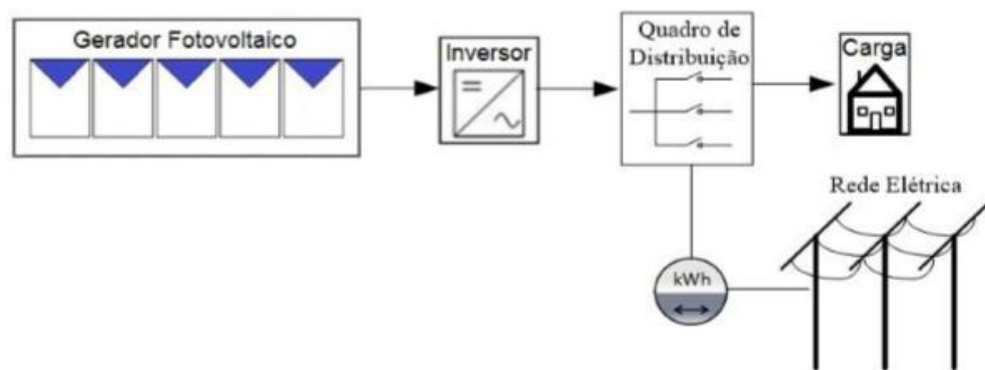
Figura 8: Estrutura de sistema fotovoltaico para laje



Fonte 8: Portal Solar (2017)

Feito a instalação dos módulos para que eles funcionem torna-se necessário acrescentar alguns elementos como: inversor de corrente contínua em corrente alternada, rede elétrica, medidor de energia e cargas, funcionando da seguinte maneira: os módulos recebem a luz e a transforma em energia contínua, o inversor converte essa eletricidade em corrente alternada no valor da tensão desejada (110V ou 220V) para consumo do consumidor e por fim utiliza-se o medidor bidirecional para registrar a energia consumida da rede elétrica pública e a energia que o estabelecimento produz e exporta para a rede, assim a unidade consumidora pagará para a concessionária de energia apenas o valor da diferença entre a energia gerada e a consumida como demonstra a figura 9 (VILLALVA, 2015).

Figura 9: Sistema com medição bidirecional



Fonte 9: (CEPEL – CRESESB)

2.2 ESTRUTURAS E PATOLOGIAS RELACIONADAS

Os painéis fotovoltaicos são fabricados para durar no mínimo 25 anos, o tempo que os fabricantes garantem que os módulos ainda terão uma eficiência de no mínimo 80%, mais para que o sistema atinja essa vida útil é fundamental alguns cuidados com a estruturas em que serão instalados.

Para realizar a instalação do sistema fotovoltaico é necessário fazer uma análise estrutural do prédio e da cobertura analisando as dimensões e localizações dos pilares, terças, treliças e tesouras do telhado, materiais que foram empregados na fabricação das estruturas e o tipo de telha usado na cobertura para calcular a capacidade que a estrutura tem de suportar as solicitações mecânicas, sejam estáticas ou dinâmicas, sem que estas venham causar tensões e deformações que podem resultar em falhas e graves acidentes (LAU, 2017).

É responsabilidade do engenheiro civil ou mecânico calcular as forças que atuam no sistema fotovoltaico a fim de selecionar as dimensões e materiais adequados para a estrutura. As principais forças estáticas presentes no sistema são: o próprio peso da estrutura, peso das telhas, dos módulos fotovoltaicos e das estruturas de fixação, além das forças dinâmicas como chuvas e ventos que o sistema fotovoltaico precisa resistir (LAU, 2017).

Conforme a NBR 8800:2008 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios) deve ser considerada uma sobrecarga acidental mínima de 25 kgf/m² correspondente a ações ou esforços que não foram previstos inicialmente, ou seja, se a estrutura foi projetada conforme as orientações das normas ela deverá suportar o sistema fotovoltaico sem nenhuma alteração, pois o peso dos painéis solares será incluído na margem de segurança já existente em projeto, caso não tenha sido projetada segundo a norma deverá fazer um reforço estrutural para suportar a carga adicional do sistema.

Mesmo depois de todo estudo e análise da edificação pode ocorrer falhas que ocasionem o surgimento de algumas patologias, que, se observadas podem ser tratadas e recuperadas sem que a estrutura chegue ao colapso.

Segundo Oliveira (2013, p.24), “Patologia pode ser entendido como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema”.

Mesmo depois do sistema dimensionado e instalado pode aparecer o surgimento de algumas patologias na estrutura devido a vários fatores, principalmente, à má execução do projeto que com a atuação da sobrecarga dão origem as manifestações patológicas como as fissuras, trincas e rachaduras que segundo Oliveira (2012, p.9) “são manifestações patológicas

das edificações observadas em alvenarias, vigas, pilares, lajes, pisos entre outros elementos, geralmente causadas por tensões dos materiais” que são diferenciadas pela espessura de abertura, sendo classificada de acordo com a tabela 10:

Figura 10: Referencial da espessura da abertura e sua classificação

Anomalias	Aberturas (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10,0

Fonte 10: Oliveira (2012, p.10)

Se essas irregularidades não forem tratadas podem dar origem a outra patologia denominada infiltração que segundo a NBR 9575:2010 (Impermeabilização – Seleção e projeto) é uma penetração indesejável de fluidos nas construções que devem ser tratadas por profissionais capacitados e por métodos eficientes.

2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Eficiência energética de acordo com a Epe (2019) “significa gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais ou obter o mesmo com menos energia”, ou seja, melhorar o uso das fontes de energia para se obter um determinado resultado.

O Brasil vem realizando políticas relacionadas à eficiência energética desde os anos 90 com o objetivo de incentivar e conscientizar a sociedade quanto ao uso eficiente da energia, dentre são citadas a rotulagem de produtos energeticamente eficientes, como: o Programa Brasileiro de Etiquetagem PBE-INMETRO; o Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural – CONPET; e o PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL (Eletrobras), que inclui a rotulagem de aparelhos eletrodomésticos e edificações, entre outros; ações voltadas a tecnologias específicas como o uso de motores elétricos de alta eficiência e o planejamento da eliminação de lâmpadas incandescentes do mercado, e os planos de longo prazo como o Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 e o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF). O PNEF deriva do PNE e consolida vários dos instrumentos existentes (ALTOÉ *et al.*, 2017).

Conforme determina a legislação específica, em particular a Lei no 9.991, de 24 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), as empresas concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica, doravante denominadas distribuidoras, devem aplicar um percentual mínimo

da receita operacional líquida (ROL) em Programas de Eficiência Energética, segundo regulamentos da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL com objetivo de promover o uso da energia elétrica em diversos setores da economia por meio de projeto que demonstrem as ações de combate ao desperdício.

Além de buscar equipamentos mais eficientes, a sociedade pode fazer a diferença utilizando a energia de forma consciente, evitando desperdícios. Com pequenas mudanças de hábito, é possível economizar na conta de luz, gás ou combustível de automóveis e reduzir os impactos negativos ao meio ambiente (EPE, 2019).

Os sistemas fotovoltaicos é uma fonte de geração de energia que pode aumentar ainda mais sua eficiência integrando de sistemas fotovoltaicos à arquitetura levando alguns vários fatores que atuam mutuamente: a geração fotovoltaica, a função e a arquitetura (URBANETZ *et al.*, 2010; ZOMER *et al.*, 2011), o comportamento térmico, a transmitância luminosa dos módulos e o custo, sendo importante chegar a uma estabilidade destes fatores e ao mesmo tempo cumprir normas de segurança que afetam a instalação, tanto do ponto de vista elétrico quanto arquitetônico (CHIVELET, 2010).

Michael *et al.* (2010) analisaram as diversas possibilidades de integração arquitetônica de sistemas solares ativos em fachadas e coberturas de edificações dividindo-as em três tipos: em fachadas, em coberturas e em espaços abertos.

Em fachadas de edificações existentes os módulos fotovoltaicos são usados como vedação final, ou em fachadas ventiladas, que substituem outros elementos construtivos (pedra, cerâmica, alumínio, madeira, vidro, entre outros), o uso de vidros com células fotovoltaicas integradas, como elementos sombreadores (brises) e uso de elementos fotovoltaicos como elementos estéticos que visam agregar valor à arquitetura apresentando vantagens econômicas e ecológicas, visto que envolve a substituição de elementos construtivos que podem ser mais caros ou mais impactantes ao meio ambiente em termos de energia embutida e emissão de gases poluentes, tanto na fase de produção quanto no seu transporte até o local de utilização transmitindo a ideia de uma edificação sustentável (ZOMER, 2014).

Segundo Michael *et al.* (2010), em coberturas ocorre com a instalação dos módulos em contato com o telhado plano atual, com uma determinada distância do telhado plano ou na extremidade da cobertura plana, sendo ideal a instalação dos módulos em coberturas que não serão utilizadas para outras finalidades, além disso, a estética da estrutura não sofre muita distorção com a arquitetura existente.

E a terceira forma de integração analisada por Michael *et al.* (2010) foi a integração de sistemas solares ativos em equipamentos urbanos, tais como estacionamentos cobertos, paradas de ônibus, telefones públicos e semáforos. Podendo fazer apenas uma sobreposição a algo existente ou uma integração total, aperfeiçoando o potencial arquitetônico e estético.

O custo de instalação de um sistema de energia solar fotovoltaico depende do tamanho e da complexidade e instalação. O custo de instalação envolve os painéis fotovoltaicos, componentes complementares como cabos, estrutura de fixação e elementos de proteção do sistema, inversor, mão de obra, frete, elaboração de projeto entre outros para obter o custo real da implantação é necessário procurar uma empresa especializada para realizar o orçamento da implantação (SA, 2016).

Para o dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede – SFCR é fundamental determinar a quantidade de energia que o sistema irá produzir. De acordo com Villalva; Gazoli (2012) para se determinar a capacidade de produção de energia é necessário ter como base o consumo médio mensal de energia elétrica da Unidade Consumidora (UC), o espaço disponível para instalação das placas fotovoltaicas e a disponibilidade de recursos para investimento na implantação do SFCR, pois o sistema pode-se atender a demanda energética da UC parcialmente ou integralmente.

Os principais componentes de um Sistema Fotovoltaico, segundo Molina; Romanelli (2015) são:

- **Módulos Fotovoltaicos:** são os responsáveis pela conversão da radiação solar em energia elétrica. O dimensionamento desses módulos leva em conta a demanda de energia necessária e o espaço disponível para sua instalação.

- **Controladores de Carga:** são equipamentos responsáveis por evitar variações bruscas na carga do sistema fotovoltaico, regulando sobrecargas e descargas da bateria e proporcionando um melhor desempenho do sistema.

- **Inversores:** os módulos fotovoltaicos geralmente produzem uma tensão de 12 V em Corrente Contínua (CC). Logo os inversores têm a função de converter essa tensão em corrente contínua para corrente alternada (CA) no valor de tensão desejado para consumo residencial, que pode ser de 110 V ou 220 V. Nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede os inversores têm também a função de sincronizar a frequência da corrente do sistema com a corrente da rede da concessionária.

Em relação ao cálculo da potência instalada em kWp (P_i) do sistema fotovoltaico, é necessário conhecer os dados do consumo médio diário (C_{md}) da residência equação [1], a

irradiância solar diária média (I_s) do local de instalação medida através de sensores de radiação solar e o rendimento do sistema (η_s) mostrado na equação [2]. Então, o valor da potência instalada do sistema é calculado pela equação [3] (VILLALVA, 2015).

$$C_m = \frac{P_e \times N_d \times D_m}{1000} \quad [1]$$

Onde:

C_m (kWh/mês) = consumo médio mensal;

P_e (W) = potência nominal do equipamento (dado de placa ou do manual do fabricante);

N_d (h/dia) = número médio de horas diárias de utilização do equipamento;

D_m (dias/mês) = número médio de dias de utilização do equipamento, por mês.

Rendimento do sistema é dado pela equação:

$$n = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_p \times 1000} \times 100\% \quad [2]$$

Onde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Potência máxima de pico;

A_p = Área do módulo (m^2);

1000 = correspondem a taxa de radiação solar padronizada 1000 W/ m^2 em STC.

$$P_i = \frac{C_m d}{I_s} \times \eta_s \% \quad [3]$$

Sendo:

P_i = Potência instalada;

C_{md} = Consumo médio diário;

I_s = Irradiância solar diária média;

n_s = rendimento do sistema.

Posteriormente é necessário estimar a energia a ser produzida por cada módulo fotovoltaico, utilizando o método da insolação que tem como principal critério o valor da irradiância solar média diária. Assim, é certo que em alguns dias do ano a insolação estará abaixo do valor médio, fazendo com que o sistema produza menos energia que a calculada para fins do projeto. No entanto, em alguns dias o sistema poderá gerar mais que o esperado e injetar a energia excedente na rede da concessionária, gerando crédito à Unidade Consumidora e compensando posteriormente nos dias de baixa produção. A equação [4] é utilizada para dimensionar a energia a ser produzida por um módulo (VILLALVA, 2015).

$$E_p = E_s \times A_m \times n \quad [4]$$

em que:

E_p = energia a ser produzida diariamente pelo módulo (Wh);

E_s = insolação diária (Wh/ m²/ dia);

A_m = é a área superficial do módulo (m²);

n = eficiência do módulo.

Após calcular a energia que cada módulo poderá produzir e sabendo a energia que se deseja gerar mensalmente, é possível determinar o número de módulos do sistema fotovoltaico, que deve ser baseado na produção de energia elétrica do módulo no local da instalação e no tipo de controlador de carga empregado no sistema, sendo o número de módulos N calculado de acordo com a equação [5] (VILLALVA, 2015).

$$N_p = \frac{E_c}{E_p} \quad [5]$$

em que:

N_p = Número de módulos empregados no sistema;

E_c = Energia diária consumida no sistema (Wh);

E_p = Energia diária produzida por módulo (Wh).

As equações 6 e 7 definem respectivamente área e o peso total ocupada pelos painéis (COELHO; OLIVEIRA, 2016) :

$$A_t = N_p \times A_p \quad [6]$$

onde:

N_p = Número de painéis;

A_p = Área dos painéis disponibilizadas nas fichas técnicas dos módulos escolhidos.

$$P_t = N_p \times P_p \quad [7]$$

onde:

N_p = Número de painéis;

P_p = Peso de um painel (Kg)

Para se dimensionar o controlador de carga do sistema fotovoltaico devem ser considerados os limites máximos do controlador no que se refere à tensão em corrente contínua do sistema. A corrente máxima do controlador (I_c) depende da corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico mais um fator de segurança de no mínimo 25% (CEPEL - CRESESB, 2014).

Para o dimensionamento do inversor é preciso definir a demanda máxima de potência e o período do dia em que o sistema estará funcionando. Além disso, é preciso ter uma estimativa

da curva de carga identificando as sazonalidades mensais e anuais da UC. Para estimar a curva de carga leva-se em conta o consumo diário dos equipamentos, identificando os períodos de maior e menor consumo. A potência do inversor deverá ser maior ou igual a potência máxima constatada na curva de carga e a tensão de entrada igual a tensão do sistema em corrente contínua e a tensão de saída em corrente alternada de acordo com a necessidade da unidade consumidora (CEPEL - CRESESB,2014).

Para análise do tempo de retorno do investimento foi utilizada uma ferramenta da matemática financeira denominada *payback* descontado. Diferentemente do *payback* simples, o descontado considera um a taxa de desconto anual e outros fatores que influenciam o rendimento a cada ano. Assim o *payback* descontado apresenta um valor mais confiável quanto maior for o período analisado (SOUZA, 2003).

A viabilidade econômica pode ser demonstrada através do *payback* descontado, para isso é necessário conhecer o investimento inicial, o fluxo de caixa ao longo dos anos e a porcentagem de reajuste médio anual de energia. Para analisar o tempo de retorno de investimento, fazer a comparação entre a geração mensal de energia, considerando a perda de rendimento dos módulos e a geração mensal real obtida através do sistema de acordo com Keller e Carvelli (2016) para obter esses resultados é necessário seguir alguns passos como:

Materiais e equipamentos: buscar informações fornecidas pela própria empresa sobre materiais e equipamentos utilizados no sistema fotovoltaico;

Rendimento dos módulos: verificar na ficha técnica disponibilizada pelo fabricante o rendimento dos módulos;

Geração anual de energia considerando a perda de rendimento dos módulos: calcula-se o consumo médio anual dado na equação 1 multiplicado por 12 meses para obter a geração média anual, em seguida calcula-se a geração anual de energia considerando a perda de rendimento dos módulos por meio de uma regra de três simples, no qual a energia média anual gerada está para 100%, assim a incógnita será a geração anual de energia considerando a perda de rendimento dos painéis está para 97,5% rendimento do painel no primeiro ano dado pela equação 8:

$$G_{aep} = \frac{G_{ma} \times R_p}{100} \quad [8]$$

G_{ma} = geração média anual, kWh/ano;

G_{aepr} = geração anual de energia considerando a perda de rendimento dos painéis, em kWh/ano;

R_p = rendimento dos painéis, em porcentagem.

Geração acumulada de energia: é definida pela geração acumulada de energia a partir da somatória dos valores de geração de energia anual considerando a perda do rendimento dos painéis ano a ano, conforme mostra a equação 9:

$$G_{ae} = G_{aea} + G_{aepr} \quad [9]$$

G_{ae} = geração acumulada de energia, em kWh;

G_{aea} = geração acumulada de energia no período anterior, em kWh;

G_{aepr} = geração anual de energia considerando perda de rendimento dos painéis no período considerado, em kWh/ano.

Porcentagem de reajuste médio anual de energia: considera-se o reajuste anual da tarifa de energia baseado na taxa média de reajuste da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL.

Custo do kWh sem impostos: o custo do kWh será obtido através do valor empregado pela empresa para o dimensionamento do sistema, sendo acrescido do reajuste médio anual, de acordo com a equação 10:

$$kWh = kWh_a \times R_{ma} \quad [10]$$

kWh = custo do kWh_a sem impostos, no período, em reais;

kWh_a = custo do kWh no período anterior, em reais;

R_{ma} = reajuste médio anual.

Economia gerada por ano: é obtida através do produto da geração anual de energia considerando a perda de rendimento dos painéis pelo custo do kWh sem impostos de acordo com a equação 11:

$$E_{ga} = G_{aepr} \times kWh \quad [11]$$

E_{ga} = economia gerada por ano, em reais;

G_{aepr} = geração anual de energia considerando perda de rendimento dos painéis, em kWh/ano;

kWh = custo do kWh sem impostos, em reais.

Economia gerada por ano acumulada: é a soma da economia acumulada e da economia gerada por ano dada pela equação 12:

$$E_a = E_{ap} + E_{gap} \quad [12]$$

E_a = economia acumulada, em reais;

E_{ap} = economia acumulada no período anterior, em reais;

E_{gap} = economia gerada por ano no período, em reais.

Retorno de investimento: soma-se o retorno de investimento no período anterior com a economia gerada por ano, no período, conforme a equação 13:

$$RI = RI_a + E_{gap} \quad [13]$$

RI_a = retorno de investimento no período anterior, em reais;

E_{gap} = economia gerada por ano no período, em reais.

Geração mensal de energia considerando a perda do rendimento dos módulos: é obtida através dos valores de rendimento dos módulos e geração média mensal de energia disponível pela empresa responsável pela instalação do sistema, conforme a equação 14:

$$G_{mepr} = \frac{G_{mm} \times Rp}{100} \quad [14]$$

Geração real de energia: os valores são extraídos do banco de dados do inversor e disponibilizados pela empresa responsável, os mesmos referem-se a geração mensal de energia proveniente do sistema fotovoltaico.

A principal diferença de um SFCR e de um SFI é que o sistema conectado à rede não necessita de baterias, ele opera obrigatoriamente em c.a na mesma tensão e frequência da rede local, os inversores incorporam dispositivos seguidores de potência máxima e a rede local é capaz de receber a energia gerada. (VILLALVA, 2015).

O sistema fotovoltaico conectado à rede não utiliza baterias para o armazenamento de energia, pelo fato da energia gerada pelo gerador se consumida no ato da geração ou, não havendo demanda no momento da geração a energia é injetada diretamente na rede. No momento em que a energia é injetada na rede da concessionária o consumidor deixa de ser um consumidor e se torna uma fonte de geração de energia, sendo que a energia gerada por ele pode ter o valor retornado para o consumidor (CEPEL - CRESESB, 2014).

No Brasil os sistemas de micro, mini e compensação de energia, são regulamentados pela resolução normativa Aneel 687/2015, e por sua vez devem atender aos procedimentos de distribuição (PRODIST) módulo 3, as normas de acesso da concessionária local e às normas ABNT.

O consumidor do estado do Tocantins que optar pela modalidade de microgeração ou minigeração de energia fotovoltaica tem que se basear na resolução 687/2015 da ANEEL, juntamente com as normas técnicas da concessionária local (Energisa), sendo que a resolução da ANEEL abrange o âmbito nacional e a norma técnica da Energisa âmbito estadual. A Energisa dispõe de duas normas técnicas sendo elas a NTD 18 e a NTD 19, onde a NTD 18 compreende os requisitos para instalação de baixa tensão que atinjam a geração de até 75 kW, já a NTD 19 compreende os requisitos para instalações que tenham capacidade de gerar a partir de 75 kW até 5 MW.

A microgeração distribuída tem que ter potência instalada menor ou igual a 75 KW e que utilize geração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL ou fontes renováveis de energia elétrica conectada a rede de distribuição por meios de instalações de unidades consumidoras (RESOLUÇÃO 687/2015).

As minigeração distribuída tem que ter potência instalada de superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para as fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para as cogeração qualificada conforme regulamentação da ANEEL ou fontes renováveis de energia elétrica conectadas a rede de distribuição por meios de instalações de unidades consumidoras (RESOLUÇÃO 687/2015).

A Norma Técnica NTD 18 tem como objetivo impor os requisitos que devem ser atendidos para acesso e conexão em baixa tensão com potência instalada de até 75 kW que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa, na rede de distribuição da Energisa do Tocantins através de instalações de unidades consumidoras em edificações individuais.

Já a norma técnica NTD 19 tem o objetivo de apresentar os requisitos que devem ser atendidos pelos consumidores para acesso e conexão, em média tensão, de central geradora de energia elétrica superior a 75 kW e inferior ou igual a 5 MW, e que utilizem fontes com base de energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada.

Para melhorar a eficiência do sistema é necessário adotar medidas que visa melhorar uso das fontes de energia, buscando equipamentos mais eficientes, ou seja, aqueles que usam menos recursos para proporcionar a mesma quantidade de energia útil (EPE, 2019).

O plano nacional de eficiência energética descreve diversas ações que podem ser desenvolvidas para aumentar a conservação de energia nos setores industrial, transportes, edificações, iluminação pública, saneamento, educação, entre outros (MME, 2011).

No setor industrial destaca-se a importância de substituir equipamentos ineficientes e implantar sistemas de cogeração que é o reaproveitamento de gases de escape, aumentando o rendimento dos processos e diminuindo os custos financeiros. No setor de transporte substituir o motor tradicional por motor de alto desempenho desenvolvendo uma economia de até 30% de energia, diversificando o cenário rodoviário, ferroviário e hidroviário. No setor de edificações é necessário investir na capacitação técnica de profissionais da construção civil na área da eficiência energética. Na iluminação é necessário aplicar o Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes que tem como objetivo desenvolver sistemas eficientes para as áreas de iluminação pública. Na área do saneamento básico é importante estimular o desenvolvimento de métodos de diagnóstico e intervir nos sistemas de abastecimentos e tratamento focado na eficiência energética. E por fim, na educação são apresentados planos de ações interligando as escolas e comunidades sobre o combate ao desperdício de energia, de modo que a mensagem captada pelo aluno seja repassada a comunidade (ALTOÉ *et al.*, 2017).

Com o intuito de conscientizar o uso eficiente de energia elétrica, foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro, fornecendo as informações sobre a eficiência energética dos equipamentos. Especificamente para a eletricidade, existe o selo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética e existe também o selo CONPET que é

o programa para o uso eficiente de combustíveis, sendo concedidos em fogões, aquecedores de água a gás e carro, destacando sua eficiência energética. Portanto, ao comprar eletrodomésticos é importante verificar se os aparelhos possuem esses selos, garantindo assim o consumo menor de energia (EPE, 2019).

2.4 REGULAMENTAÇÃO TARIFÁRIA ANEEL

Segundo a ANEEL fatura é um documento comercial que apresenta a quantia monetária total que deve ser paga pelo consumidor à distribuidora, em função do fornecimento de energia elétrica, da conexão e uso do sistema ou da prestação de serviços, devendo especificar claramente os serviços fornecidos, a respectiva quantidade, tarifa e período de faturamento de modo a possibilitar ao consumidor o acompanhamento de seu consumo mensal.

A fatura pode ser apresentada impressa ou em meio eletrônico; (Redação dada pela RENA ANEEL 775 de 10.07.2017). Para a geração da fatura de uma unidade consumidora é levado em conta algumas definições para efeito de cálculo. Em relação ao período de consumo de energia, a ANEEL classifica em:

Horário de ponta: que é o período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão, com exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi, e os seguintes feriados descritos na tabela 11. (Redação dada pela REN ANEEL418, de 23.11.2010).

Figura 11: Tabela de feriados

Dia e mês	Feriados nacionais	Leis Federais
01 de janeiro	Confraternização Universal	10.607, de 19/12/2002
21 de abril	Tiradentes	10.607, de 19/12/2002
01 de maio	Da do Trabalho	10.607, de 19/12/2002
07 de setembro	Independência	10.607, de 19/12/2002
12 de outubro	Nossa Senhora Aparecida	6.802. de 30/06/1980
02 de novembro	Finados	10.607, de 19/12/2002
15 de novembro	Proclamação da República	10.607, de 19/12/2002
25 de dezembro	Natal	10.607, de 19/12/2002

Fonte 11: ANEEL

Horário fora de ponta: segundo a ANEEL é o período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta; (Redação dada pela RENANEEL 418, de 23.11.2010).

Período úmido: período de 5 (cinco) ciclos de faturamento consecutivos, referente aos meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte; (Redação dada pela REN ANEEL 418, de 23.11.2010).

Período seco: período de 7 (sete) ciclos de faturamentos consecutivos, referente aos meses de maio a novembro; (Redação dada pela REN ANEEL 418, de 23.11.2010).

2.5 CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil, apesar de sua importância para humanidade, é um grande causador de impactos ambientais adversos. Visando a melhoria das condições ambientais desse setor, surgiram as certificações ambientais de construção civil. No Brasil duas certificações se destacam, são a LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e AQUA (Alta Qualidade Ambiental).

A certificação LEED foi implantada nos Estados Unidos em 1991 pela USGBC (U. S. Green Building Council) organização sem fins lucrativos que conta com a presença de construtores, ambientalistas, professores e estudantes que compartilham da mesma visão de mudar o cenário construção civil com foco na sustentabilidade. No Brasil, a certificação LEED foi implantada pelo GBC Brasil, que tem como missão desenvolver a indústria da construção sustentável no país, utilizando as forças de mercado para conduzir a adoção de práticas de Green Building em um processo integrado de concepção, implantação, construção e operação de edificações e espaços construídos. A GBC Brasil define a certificação LEED como um sistema internacional de certificação e orientação ambiental para edificações (GBC BRASIL, 2015).

A certificação AQUA é aplicada no Brasil pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini. A fundação foi estabelecida pelo departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) em 1967. A AQUA é uma certificação internacional da construção sustentável desenvolvida a partir da certificação francesa HQE, que “visa garantir a qualidade ambiental de um empreendimento novo de construção ou reabilitação utilizando-se de auditorias independentes” (LEITE, 2011). A certificação AQUA traz uma série de benefícios no qual diz respeito ao empreendedor, o usuário, a sociedade e meio ambiente. Para o empreendedor, por exemplo: comprovar alta qualidade ambiental, diferencia seu portfólio no mercado, associar a imagem da empresa à alta qualidade ambiental e melhorar o relacionamento com órgãos ambientais e comunidades; para o usuário: economia direta no consumo de água e de energia elétrica, melhores condições de conforto e saúde, maior valor patrimonial ao longo do tempo e consciência de sua contribuição para o desenvolvimento sustentável e a sobrevivência no planeta; e, para a sociedade e meio ambiente: redução das emissões de gases do efeito estufa, redução da poluição, melhor gestão de resíduos sólidos e melhor qualidade de vida.

O processo AQUA é estruturado em dois padrões que, segundo Valente (2009), permitem avaliar o desempenho requisitado sobre o sistema de gestão do empreendimento (SGE) e a qualidade ambiental do edifício (QAE). Conforme Leite (2011) o SGE avalia o sistema de gestão apresentado e o QAE avalia o desempenho arquitetônico e técnico do edifício. Segundo a Vanzolini (2015) o Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) permite o planejamento, a operacionalização e o controle de todas as etapas de seu desenvolvimento, partindo do comprometimento com um padrão de desempenho definido e traduzido na forma de um perfil de Qualidade Ambiental do Edifício (QAE). Segundo a Fundação Vanzolini (2015), para obter a certificação AQUA, são hierarquizados 14 categorias e 4 temas, conforme segue: para edifícios comerciais, administrativos ou de serviços (energia, meio ambiente, saúde e conforto); para edifícios habitacionais (energia e economias, meio ambiente, saúde, segurança e conforto). O empreendedor deve se apoiar nas 14 categorias de QAE e em preocupações ambientais a elas relacionadas, levando em conta: sua estratégia ambiental global de: proteção do meio ambiente (preservar os recursos, reduzir a poluição, reduzir os resíduos); gestão patrimonial (durabilidade, adaptabilidade, conservação, manutenção, custos de uso e operação); conforto (dos usuários, da vizinhança, do pessoal de obra), e; saúde (dos usuários, da vizinhança, do pessoal de obra).

3 METODOLOGIA

Este tópico tem a finalidade de descrever como a pesquisa foi desenvolvida, indicando métodos e técnicas utilizados para alcançar o objetivo deste trabalho.

3.1 DESENHO DO ESTUDO

Para que os objetivos abordados neste projeto de pesquisa fossem alcançados, a metodologia teve como finalidade a realização uma pesquisa bibliográfica e documental relacionados à implantação do sistema de energia fotovoltaica. O método escolhido é um estudo descritivo.

O procedimento metodológico para esta pesquisa é um estudo de caso. De acordo com Ventura (2007) “o estudo de caso representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados”.

Segundo Gil (2002) o estudo de caso se caracteriza pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante os outros delineamentos considerados. O autor aponta algumas vantagens do estudo de caso:

- O estímulo a novas descobertas;
- Focalização do problema como um todo;
- Procedimento de coleta e análise de dados considerados simples;

No estudo de caso podem ser inclusos tanto estudos de caso único quanto múltiplos, assim como abordagens quantitativas e qualitativas de pesquisa (VENTURA, 2007).

Este projeto de pesquisa possui a natureza qualitativa com caráter exploratório. De acordo com Rodrigues (2007) pesquisa qualitativa é considerada como descritiva. As informações obtidas não podem ser quantificáveis, os dados obtidos são analisados indutivamente. O autor ressalta que a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são consideradas básicas no processo de pesquisa qualitativa.

A pesquisa exploratória possui a finalidade de proporcionar maior familiaridade com o problema através da realização de levantamentos bibliográficos ou entrevistas, assim como pesquisa bibliográfica ou estudo de caso.

3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada no município de Palmas-TO. A coleta de dados para análise de implantação projeto aconteceu nos meses de agosto a setembro de 2019, realizada junto ao setor administrativo do CEULP/ ULBRA localizado na Av. Joaquim Teotônio Segurado, 1.501 Sul Palmas.

Foi coletado os valores gastos com energia antes e após a instalação do sistema, a quantidade de energia que está sendo gerada pelo sistema em kWh e MWh, logo após, realizou-se um comparativo desses gastos através de planilha eletrônica utilizando o software Excel demonstrando toda a economia gerada para a instituição nos últimos doze meses após a implantação do sistema. Com isso conseguiu-se calcular se o retorno do investimento está dentro dos patamares estipulados pela empresa e por fim foi realizado um estudo para a ampliação do sistema, ou seja, aumento no percentual da produção de energia solar.

3.3 OBJETO DE ESTUDO OU POPULAÇÃO E AMOSTRA

O objeto de estudo que norteia este projeto de pesquisa é o CEULP/ULBRA, localizado no município de Palmas-TO com área total de 268.233,32 m². Setor foi escolhido por desempenhar funções e desenvolver projetos na qual a metodologia fotovoltaica poder ser utilizada.

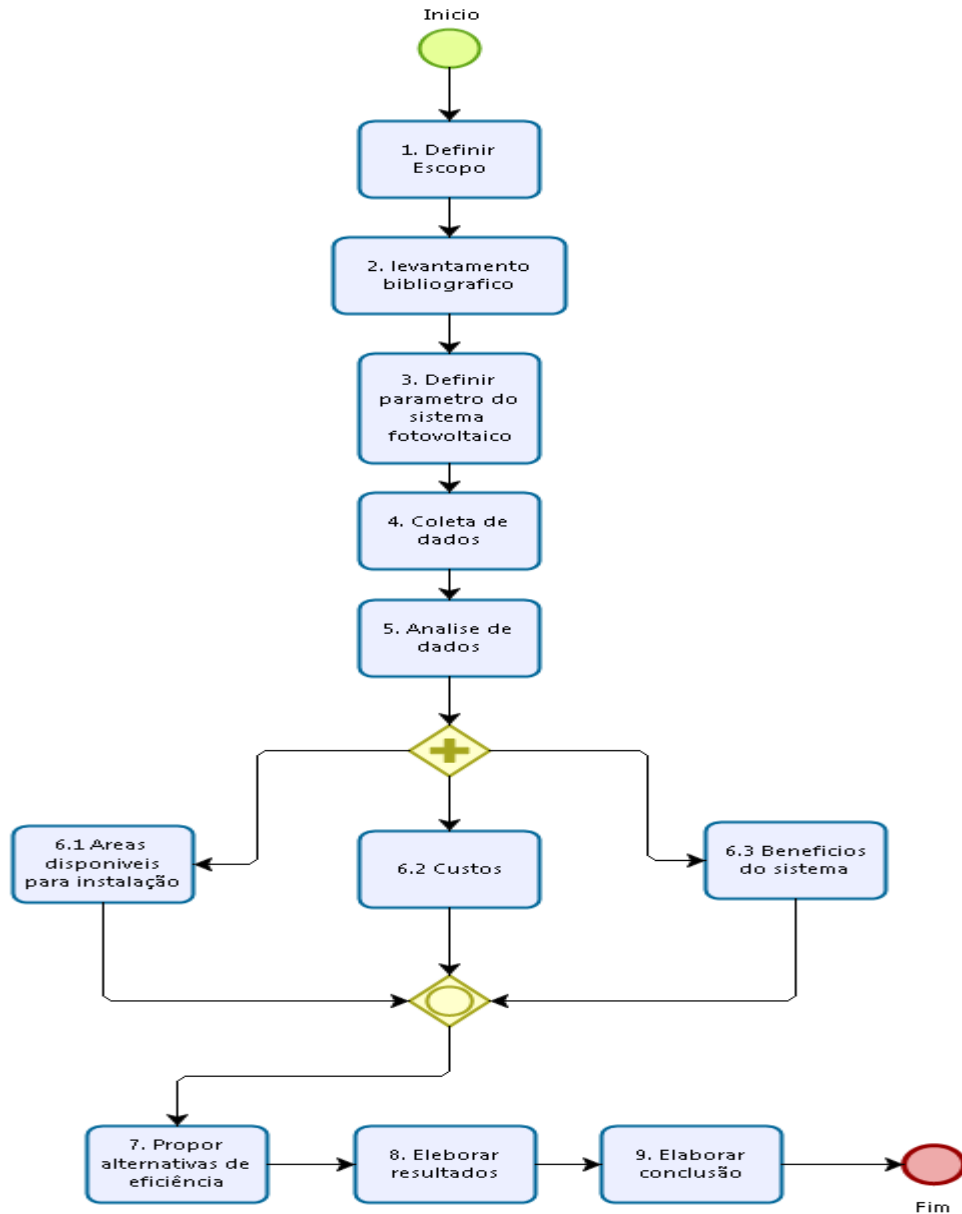
Figura 12: Local de estudo



Fonte 12: Google maps

3.4 INSTRUMENTOS DE COLETAS DE DADOS E ANÁLISE

Figura 13: Fluxograma para o desenvolvimento do projeto



Fonte 13: Autor (2019)

O fluxograma abaixo define e descreve os caminhos realizados para alcançar o objetivo dessa pesquisa sendo:

1. Definição do escopo do problema: definição do tema, os objetivos gerais e específicos;
2. Levantamento bibliográfico: compreende a pesquisa do referencial bibliográfico que deu fundamentação para as ações que serão realizadas;
3. Definição dos parâmetros do sistema fotovoltaico: baseado no plano nacional de eficiência energética no qual descreve parâmetros para aumentar a conservação da energia em diversos setores;
4. Coleta de dados: foi feita uma coleta da energia gerada antes e após a instalação do sistema;
5. Análise de dados: analisamos a energia produzida pelas placas e a economia que está sendo gerada.
6. Áreas disponíveis para a instalação: foi feito um estudo dos locais disponíveis para ampliação do sistema de acordo com as maiores taxas de irradiação solar;
- 6.2 Custos: basearam-se na resolução 687:2015 juntamente com as normas técnicas da concessionária local (Energisa) NTD 19, devido o sistema ter potência instalada de superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW, calculamos o custo e retorno de investimento do sistema conforme as equações descritas no referencial teórico;
- 6.3 Benefícios do sistema: nesta etapa mostramos a importância da ampliação desse sistema solar para a instituição;
7. Propostas de alternativas de eficiência: integrar de forma arquitetônica a instalação de novas placas solares e propor políticas de conscientização de economia de energia;
8. Elaborar resultados: foram esboçados os cálculos utilizados para chegar a conclusão final;
9. Elaborar conclusão: nessa fase os resultados obtidos foram apresentados e justificados analisando a viabilidade ou não da ampliação do sistema para a instituição.

O protocolo de pesquisa representado abaixo possui o objetivo de conduzir a pesquisa, evitando perda de foco do trabalho e ocasionando a eficácia na coleta e análise dos dados.

Quadro 1: Protocolo de Pesquisa

Visão Geral do Projeto
<p>Objetivo: O objetivo geral deste trabalho é propor diretrizes para aumentar a eficiência da matriz energética atual do CEULP/ ULBRA.</p> <p>Assuntos do Estudo: eficiência no sistema fotovoltaico em uma instituição de ensino superior.</p>
Procedimentos de Coleta de Dados em Campo
<p>Apresentação das Credenciais: A investigadora integra o quadro de funcionários onde o sistema foi instalado.</p> <p>Acesso aos Locais: Permissão para ter acesso aos locais e documentos.</p> <p>Fonte de Dados: Primárias (observações de campo) e secundárias (material disponível em meios públicos e eletrônicos).</p> <p style="text-align: center;">Advertências de Procedimento: Não se aplica.</p>
Questões Investigadas no Estudo
<ol style="list-style-type: none"> a. Consumo médio mensal de energia elétrica anteriores e posteriores a instalação das placas solares. b. Áreas disponíveis para novas instalações. c. Quantidade de energia a ser produzida. d. Custo de implantação do sistema.
Esboço para o Relatório Final:
<p>Apresentar a relação entre:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Olhar sistêmico da eficiência energética integrando a arquitetura, engenharia civil, elétrica e administração. • Explicitar alternativas de eficiência energética. • Meios para evitar patologias.

Fonte:1. Adaptado de YIN (2010)

4 RESULTADOS SOBRE A CAPACIDADE INSTALADA

Para obter as informações da unidade consumidora em estudo, foi necessário solicitar as faturas de energia da universidade. Entrou-se em contato com a direção administrativa do CEULP solicitando os valores das faturas antes e após a instalação do sistema para análise.

Por meio das faturas de energia elétrica predial podem-se obter diversas informações da unidade consumidora, tais como valores contratados, consumo e tensão de fornecimento, sendo possível constatar que a unidade consumidora do CEULP pertence ao grupo A, grupamento este composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 KV, segundo a Energisa, empresa responsável pela distribuição de energia do Tocantins.

Também foram coletados os dados da geração do sistema em kWh e MWh para avaliar como está a produção das usinas e então poder calcular a economia que está sendo gerada e se o retorno de investimento está nos patamares estipulados.

Posteriormente realizou-se uma visita na cobertura de alguns prédios do CEULP/ULBRA para verificar a disponibilidade quanto às condições estruturais e inclinação do telhado, para receber as instalações de novas placas solares sem comprometer a estrutura do mesmo. Além de analisar outras áreas disponíveis para instalação, como no térreo e faixadas dos prédios.

Logo após a visita aos locais de estudo, fez-se o dimensionamento de projeto de captação de energia solar a ser ampliado na instituição de ensino. Calculou-se a quantidade de placas fotovoltaicas e os materiais necessários para instalação do sistema. Diante do levantamento de todos os dados de dimensionamento realizou-se o orçamento com três empresas distintas para avaliarmos qual apresentaria o custo mais viável.

E por fim, com o orçamento em mãos, calculamos o retorno de investimento e realizamos uma análise de quanto o CEULP/ULBRA iria aumentar na produção de energia fotovoltaica.

4.1 CONSUMO ANTERIOR

Para dar a ponta pé inicial quantificamos os valores gastos, em reais, de energia antes da instalação do sistema num período de 12 meses como mostra a tabela 1 a seguir:

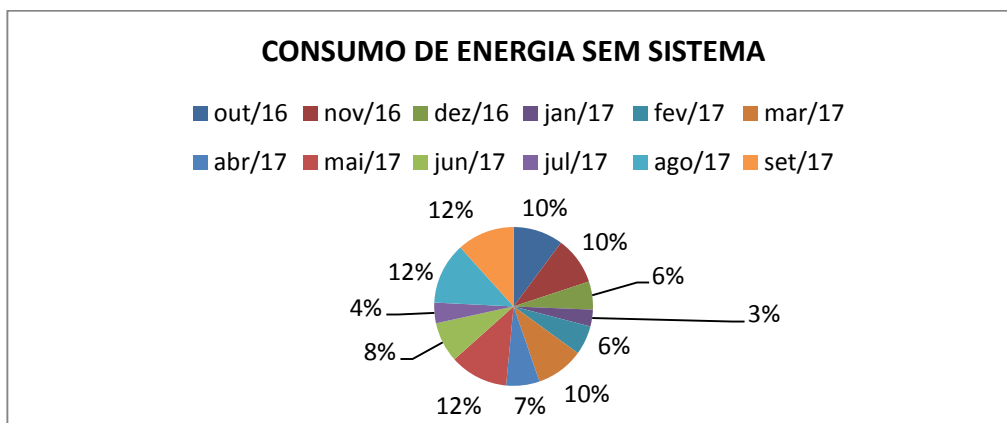
Tabela 1: Valores em reais

SEM SISTEMA	
MESES	VALORES (R\$)
out/16	208.038,98
nov/16	198.776,06
dez/16	116.947,09
jan/17	69.856,40
fev/17	120.848,08
mar/17	198.536,85
abr/17	138.858,41
mai/17	242.841,72
jun/17	167.497,55
jul/17	85.420,89
ago/17	256.142,59
set/17	238.542,56
Anual	2.042.307,18

Fonte: 1. Próprio autor

Observa-se que o valor pago anual é muito alto, ou seja, unidade de grande consumo energético. De acordo com o gráfico a seguir nota-se que 12% desse valor correspondem aos meses de maio, agosto e setembro, períodos estes considerados secos, relativamente com poucas chuvas o que conseqüentemente acaba elevando o consumo e aumentando os valores das tarifas de energia elétrica.

Gráfico 1: Consumo de energia



Fonte: Próprio autor

Os meses de menor consumo energético são dezembro, janeiro e julho, períodos esses em que os alunos estão de férias.

4.2 ANÁLISE DA CAPACIDADE INSTALADA

Foi possível analisar as possíveis vantagens, investimentos e viabilidades da implantação da energia solar fotovoltaica.

Em outubro de 2017 foi inaugurada no CEULP/ULBRA a implantação do primeiro sistema de geração de energia solar fotovoltaica, localizada no prédio 2 composto por 195 módulos de energia. No ano de 2018 houve um complemento da primeira fase instalada do sistema com um aumento de 300 módulos.

Na tabela a seguir, quantificamos a média anual do consumo de ponta, fora ponta e da energia produzida pelas placas em kWh, consumos esses extraídos das faturas desconsiderando as multas, demandas ultrapassadas e os demais componentes de uma fatura.

Tabela 2: Consumo em kWh

CONSUMO MENSAL DE ENERGIA					
Nº	ANO	MESES	CONSUMO (kWh)		
			PONTA	FORA PONTA	PRODUZIDA
1	2018	SETEMBRO	27872	104386	11750,1
2	2018	OUTUBRO	34692	118418	11700,02
3	2018	NOVEMBRO	29757	112412	11420,1
4	2018	DEZEMBRO	12765	64785	11260,13
5	2019	JANEIRO	4194	41785	11094,9
6	2019	FEVEREIRO	25075	87963	9325,12
7	2019	MARÇO	21573	77947	10955,09
8	2019	ABRIL	27459	94260	10605
9	2019	MAIO	32402	125656	12040,09
10	2019	JUNHO	27522	103349	12630
11	2019	JULHO	5525	52933	14100,04
12	2019	AGOSTO	36206	116473	14189,94
MÉDIA			23753,5	91697,25	11755,88

Fonte:2. Próprio autor

Conforme verificado anteriormente, baseando-se na média anual, a maior demanda da instituição é no horário de pico, no qual se paga o valor mais caro na tarifa, neste caso representado na tabela pelo consumo fora ponta, que corresponde a aproximadamente 4x a mais que o consumo de ponta no qual é o horário em que o valor da tarifa está oito vezes menor em relação ao consumo de ponta. Já o valor pago na energia produzida é o mesmo do valor fora ponta, ou seja, também é 8x menor que a tarifa paga no consumo de ponta.

Com as faturas em mãos, quantificamos os valores cobrados na tarifa de energia por kWh nos horários de ponta, fora ponta e injetada para obtermos em reais o valor pago por cada consumo, conforme a tabela 3. A energia injetada significa que as placas mais produziram mais energia do que consumiram e por esse motivo essa parcela a mais é injetada na rede para obter desconto na fatura.

Tabela 3: Tarifa de cobrança no período estudado

VALOR TARIFÁRIO					
Nº	ANO	MESES	TARIFAS COM TRIBUTOS R\$		
			PONTA	FORA PONTA	INJETADA
1	2018	SETEMBRO	3,23974	0,43727	0,42026
2	2018	OUTUBRO	3,17929	0,42911	0,41264
3	2018	NOVEMBRO	3,23253	0,4363	0,41935
4	2018	DEZEMBRO	3,28723	0,44368	0,42623
5	2019	JANEIRO	3,23748	0,43697	0,41997
6	2019	FEVEREIRO	3,19025	0,43059	0,41402
7	2019	MARÇO	3,21433	0,43384	0,41705
8	2019	ABRIL	3,19474	0,43119	0,41459
9	2019	MAIO	3,22878	0,43578	0,41887
10	2019	JUNHO	3,23714	0,43692	0,41993
11	2019	JULHO	3,3879	0,41188	0,39244
12	2019	AGOSTO	3,43732	0,40733	0,38717
MÉDIA			3,255561	0,430905	0,413543333

Fonte:3. Próprio autor

Conforme citado anteriormente, pode-se comprovar que através da relação média da tarifa de ponta pela fora ponta obtém o valor de R\$ 7,55 que aproximadamente pode-se comprovar que o consumo de ponta é 8x maior que o fora ponta. Já o valor pago na energia que é injetada na rede é o mais barato entre os três, e o valor pago pela energia produzida é considerada a mesma tarifa da energia do consumo fora ponta.

A energia produzida pelas placas já é consumida instantaneamente durante a própria geração, devido ao grande consumo de energia ela não passa no medidor, sendo medida somente pelo inversor. A energia que vai para o medidor é a energia injetada, significa que, foi à hora em que o sistema produziu mais do que consumiu e a sobra foi injetada na rede para abater no valor pago total da conta de energia.

Através do contato com a SAGE, empresa responsável pela instalação e controle do sistema instalado no CEUL/ULBRA, foi solicitada à quantidade de energia que as placas produziram nos últimos doze meses, como mostra a tabela 4.

Tabela 4: Produção de energia do sistema

GERAÇÃO			
MESES	DIAS	MÉDIA	MENSAL
		DIÁRIA	
		kWh	kWh
set/18	30	391,67	11.750,1
out/18	31	377,42	11.700,02
nov/18	30	380,67	11.420,1
dez/18	31	363,23	11.260,13
jan/19	31	357,9	11.094,9
fev/19	28	333,04	9.325,12
mar/19	31	353,39	10.955,09
abr/19	30	353,5	10.605,00
mai/19	31	388,39	12.040,09
jun/19	30	421	12.630,00
jul/19	31	454,84	14.100,04
ago/19	31	457,74	14.189,94
ANUAL			141.070,53

Fonte: 4. Empresa SAGE

Anualmente os sistemas produziram a quantidade total de 141.070,53 kWh, dados esses informados pelos medidores, porém apenas uma pequena parcela desse valor foi injetada na rede como mostra a tabela 5, e a outra é consumida instantaneamente no ato da geração, visto que o consumo é ainda maior que a produção, por esse motivo os valores da tabela 4 não passam pelo medidor.

Então, sabendo que o valor pago na tarifa de energia produzida é R\$ 0,43 e o valor pago na energia injetada na rede é R\$ 0,41 foi necessário coletar nas faturas referente ao período de doze meses os consumos injetados, diminuir da quantidade total de energia produzida (tabela 4) e multiplicar pelas respectivas tarifas para obter em reais o valor economizado anual após a instalação do sistema conforme demonstrado na tabela a seguir:

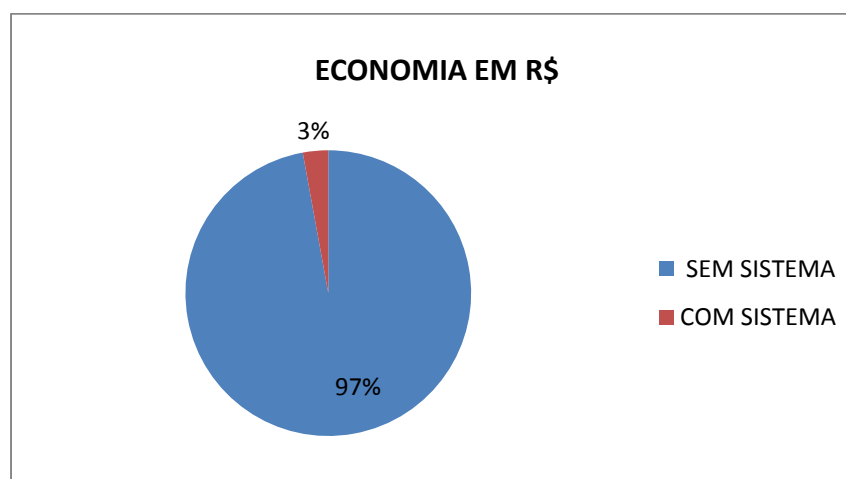
Tabela 5: Economia gerada pelo sistema

ECONOMIA						
MESES	INJETADA NA REDE	CONSUMIDA INSTANTANEAMENTE	TARIFAS R\$		VALOR PAGO R\$	
			INJETADA	FORA PONTA	INJETADA	FORA PONTA
set/18	1344	9750,9	0,42026	0,43727	564,83	4263,78
out/18	769	10931,02	0,41264	0,42911	317,32	4690,61
nov/18	825	10595,1	0,41935	0,4363	345,96	4622,64
dez/18	1870	9390,13	0,42623	0,44368	797,05	4166,21
jan/19	1610	9484,9	0,41997	0,43697	676,15	4144,62
fev/19	521	8804,12	0,41402	0,43059	215,7	3790,97
mar/19	1112	9843,09	0,41705	0,43384	463,76	4270,33
abr/19	1229	9376	0,41459	0,43119	509,53	4042,84
mai/19	857	11183,09	0,41887	0,43578	358,97	4873,37
jun/19	741	11889	0,41993	0,43692	311,17	5194,54
jul/19	1248	12852,04	0,39244	0,41188	489,77	5293,5
ago/19	564	13625,94	0,38717	0,40733	218,36	5550,25
MÉDIA	1057,5	10643,78	0,413543	0,430905	437,32	4586,46
ECONOMIA MENSAL					5.247,86	55.037,48
ECONOMIA ANUAL					60.285,35	

Fonte: 5. Próprio autor

De acordo com os dados disponibilizados, foram realizados os cálculos e conseguimos chegar ao valor economizado anualmente de R\$ 60.285,35. Comparando esse valor com o valor total pago anualmente, incluindo multas, taxas consumo de ponta, demanda ultrapassada, entre outras conforme a tabela 1, identificou-se através do gráfico 2, que o valor economizado representa apenas 3% do total pago anual.

Gráfico 2: Economia do valor total

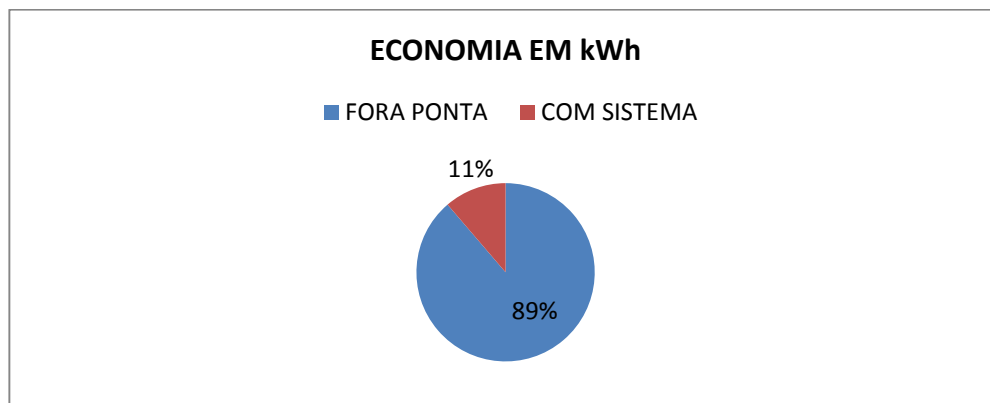


Fonte: Próprio autor

Porém não é tão viável comparar essa economia com o valor pago total, pois a energia produzida pelas placas compensa apenas o consumo fora ponta e não abatem em relação ao consumo de ponta, às multas, demandas excedentes que são cobrados nos valores totais das tarifas de cada mês.

Realizou-se então a comparação entre o consumo produzido com o consumo fora ponta já que um compensa o outro. Para isso, utilizamos o valor médio do consumo fora ponta da tabela 2 multiplicou por 12 meses para encontrar o valor consumido fora ponta anualmente chegando ao consumo de 1.100.367 kWh.

Gráfico 3: Economia comparada ao consumo fora ponta



Fonte: Próprio autor

Comparando com o valor gerado pelas placas obtive o percentual de 11% ao ano, ou seja, a eficiência do sistema em relação à demanda da universidade ainda é baixa em relação à demanda utilizada por isso a necessário ampliar o sistema.

4.3 RETORNO DE INVESTIMENTO

O retorno financeiro é um fator de grande importância, quando se pensa em implantar um projeto de energia fotovoltaica. Para analisar o retorno de investimento o primeiro passo foi descobrir o valor investido no projeto como mostra a tabela 6.

Tabela 6: Orçamento do projeto implantado

ITEM	GARANTIA	QTD	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
Painel Fotovoltaico Canadian Solar	10 anos	495	R\$ 1.001,53	R\$ 495.757,35
Inversor de corrente ABB	5 anos	5	R\$ 21.400,03	R\$ 107.000,15
Suporte e Acessórios	1 ano	2	R\$ 90.000,00	R\$ 180.000,00
Mão de obra				R\$ 75.000,00
TOTAL				R\$ 857.757,50

Fonte: 6. Empresa SAGE

Como já conhecemos o valor economizado anualmente e o valor pago no sistema é só fazer a relação do valor total investido pelo economizado e então teremos a quantidade de tempo que o sistema se pagará, conforme mostra a tabela 7.

Tabela 7: Retorno de investimento

TEMPO DE RETORNO	
ECONOMIA ANUAL	R\$ 60.285,35
VALOR INVESTIDO	R\$ 857.757,50
RETORNO DE INVESTIMENTO (anual)	15

Fonte: 7. Próprio autor

Conforme verificado o sistema instalado ficou entre a média de maior tempo de retorno de investimento, devido à proporcionalidade da demanda ser muito superior ao sistema que foi instalado.

5 DIRETRIZES PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA

Pensando em ampliar o sistema, o primeiro passo foi realizar uma análise de viabilidade em termo de área disponível para desenvolver um projeto de ampliação. Foi feita a verificação da disponibilidade de áreas no telhado dos prédios que segundo o projeto de cobertura possui inclinação de 17% o que acaba favorecendo bastante a implantação das placas solares. Foram disponibilizadas pela direção administrativa as áreas de alguns locais no qual podemos realizar a implantação, conforme mostra a figura 14:

Quadro 2. Áreas das plantas de coberturas

LOCAIS	ÁREA (m ²)
PRÉDIO 1 – ADMINISTRATIVO	3.452,16
PRÉDIO 4 - SALAS DE AULA	2.342,04
PRÉDIO 6 - SALA DE AULA	3.633,52
COMPLEXO LABORATORIAL	6.038,08
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO	1.848,32
CENTRAL DE ATENDIMENTO	300,16
MACENARIA GARAGEM	857,59
LABORATÓRIO DE CONSTRUÇÃO CIVIL	138,77
MEDICINA VETERINÁRIA	255,26
TOTAL	18.865,90

Fonte: Ceulp/Ulbra

Com o intuito de aumentar a eficiência das placas em 100%, estimou-se para o projeto de ampliação uma quantidade de energia a ser produzida baseando no consumo fora ponta de 91.697,25 kWh/mês, já que é nesse consumo que a energia solar é compensada. Foi solicitado um orçamento para três empresas distintas em Palmas com a base nessa estimativa de geração e obtivemos os seguintes resultados:

Quadro 3: Orçamento para ampliação

ORÇAMENTO	
EMPRESAS	VALOR DO SISTEMA (R\$)
IPPER	3.688.932,00
UNITÁ	1.900.000,00
WATTS SOLAR	2.154.960,00

Fonte 14: Empresas

Todas essas empresas garantem:

- Gerenciamento do projeto;
- Engenharia;

- Fornecimento dos equipamentos;
- Instalação completa;
- Teste de funcionalidade;
- Aprovação e homologação do sistema junto à distribuidora;
- Monitoramento da operação no primeiro ano.

Pensando no menor custo de implantação foi escolhida a empresa UNITÁ para embasar o cálculo do retorno de investimento, conforme a tabela 8:

Tabela 8: Cálculo do retorno de investimento

RETORNO DE INVESTIMENTO	
SISTEMA (R\$)	1.900.000,00
ENERGIA FORA PONTA R\$ (anual)	474.153,64
ENERGIA FORA PONTA R\$ (mensal)	39.512,80
RETORNO DE INVESTIMENTO R\$ (anual)	4
RETORNO DE INVESTIMENTO R\$ (mensal)	48

Fonte: 8. Próprio autor

Nesse caso o retorno de investimento está dentro dos patamares mais rápidos entre os estimados nacionalmente que são menor que cinco e maior que oito anos. Percebe que esse orçamento para ampliação chega a ser 4 vezes menor que o retorno do sistema já instalado, e como citado no referencial teórico, os sistemas são projetados para ter um funcionamento de 25 anos, portanto o sistema se pagará nos quatro primeiros anos e ainda terão um bônus de 21 anos de utilização de energia gratuita com a eficiência dos painéis de 80%.

Por isso a importância de investir em energias renováveis além de uma fonte de economia e geração de energia limpa apresenta tais benefícios que favorece o meio ambiente e a sociedade como descreve o processo de alta qualidade ambiental (AQUA) como:

- Menor demanda de recursos hídricos;
- Redução das emissões de gases de efeito estufa;
- Redução da poluição;
- Baixa necessidade de manutenção;
- Ocupa menor espaço em relação às hidrelétricas;
- Menor impacto a vizinhança;
- Melhor qualidade de vida.

O processo AQUA é um modelo referencial de sustentabilidade de edificações verdes que garante em todas as etapas construtivas de uma obra a preservação do meio ambiente. O CEULP/ULBRA por ser um espaço que atende a comunidade é importante ter esse perfil de

alta qualidade ambiental, pois, demonstra a preocupação com o próximo e por isso vem promovendo ações sustentáveis, exemplo disso a implantação do sistema fotovoltaico.

Diversas ações de eficiência energética pode tornar o sistema ainda mais eficaz tais como mudanças nas áreas de iluminação, ar condicionado, sistemas motrizes, sistemas de refrigeração ente outras, no qual é necessário realizar algumas mudanças como:

- Substituição de equipamentos: lâmpadas, reatores e luminárias por instalação de dispositivos de controle (interruptores, sensores de presença, dimmers);
- Substituição de equipamentos individuais (splits, janela ou self) chillers;
- Substituição de motores elétricos por unidades de mais alto rendimento;
- Substituição de equipamentos individuais de refrigeração (geladeiras, freezers), câmaras frigoríficas ou sistema de refrigeração de grande porte.

Pensando na melhoria da eficiência do sistema, o CEULP/ULBRA adotou algumas dessas medidas como a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED, substituição de lâmpadas do banheiro por sensores de presença e troca de ar condicionado modelo Split por aparelhos novos e com mesma capacidade térmica.

Além dessas medidas ainda é possível reduzir o custo final pago na tarifa através de ações educacionais quanto ao uso correto de energia.

Outro ponto observado para redução de energia é diminuir ainda mais o consumo de ponta nos meses em que os alunos estão férias. Como analisado nas faturas é nesse período que a instituição consegue diminuir um pouco o consumo de ponta pelo fato de não um consumo muito alto de energia após as 18h. Porém esse custo pode custar um valor ainda menor se a instituição fechar no período antes de iniciar o horário de ponta, ou seja, ao invés dos funcionários deixarem o local de trabalho após as 18h deixar uma hora a menos para quando iniciar o período de ponta os locais internos já estarão desocupados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo de caso, verificou-se que para atender toda demanda energética do local há necessidade de um sistema fotovoltaico que produza em média cerca de 115.450,075 kWh/mês e de acordo com as áreas disponíveis é possível instalar um sistema que atenda toda essa demanda ou pelo menos parte dela que corresponde ao consumo de fora ponta como foi proposto.

Os resultados apresentados por meio das análises demonstraram que o retorno de investimento do sistema já instalado se pagará em 15 anos com economia anual de R\$ 60.285,35. Enquanto o novo sistema se pagará em média de quatro anos e trará um retorno financeiro anual de aproximadamente R\$ 473.150,00. Essa diferença de anos se dá por conta do tamanho do projeto, ou seja, quanto maior o projeto instalado menor é o tempo de retorno de investimento e maior é a economia gerada. Lembrando que não se trata somente de economia financeira, mas sim como uma forma de intervir pelo meio ambiente sem esgotar os recursos naturais para garantir a geração futura.

É viável o aumento do sistema visto que o mesmo se paga com a própria economia gerada no valor pago da tarifa de energia, além dos módulos possuírem garantia de acordo com cada fabricante garantindo assim a possibilidade de troca caso os módulos apresentem falhas nos primeiros anos de funcionamento e baixo custo na manutenção.

Por se tratar de uma edificação antiga o projeto elétrico pode não está de acordo com a NBR 14039 no qual trata sobre instalações elétricas de alta tensão de modo a garantir a segurança e continuidade de serviço. Por isso, sabemos que mesmo com a instalação da energia fotovoltaica não minimiza a importância de retro documentar a parte elétrica para evitar as fugas e perda de corrente, podendo reverter as principais causas desses problemas e assim evitar o desperdício de energia garantindo o aumento da economia.

REFERÊNCIAS

ABSLAR. **FONTE SOLAR FOTOVOLTAIXA ASSUME 7ª POSIÇÃO NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E ULTRAPASSA NUCLEARES**. 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/fonte-solar-fotovoltaica-assume-7a-posicao-na-matriz-eletrica-brasileira-e-ultrapassa-nucleares.html>>. Acesso em: 21 mar. 2019

ALTOÉ, Leandro *et al.* (2017). **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética**. *Estudos Avançados*, 31(89), 285–297. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890022>

ANEEL (Brasil). **Associação Nacional de Energia Elétrica. Informações Gerenciais: Tipos e características importante**. 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/15192287/DD_IG_7_1.pdf/5fe1a371-c230-bb92-2dda-b0a5b3219847>. Acesso em: 22 abr. 2019.

_____. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687**. Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015. Nov. 2015.

_____. **Tarifas Consumidores. 2016**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800/2008: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mista de aço e concreto de edifício**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 9575/2010: Impermeabilização – Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Lei 9.991 de 24 de julho de 2000. **Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências**. Brasília – DF: Presidência da República, 2000.

CEPEL - CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Rio de Janeiro, 2014.

CHIVELET, N. M. **Técnicas de Vedação Fotovoltaica na Arquitetura: Bookman**. Porto Alegre, 2010.

COELHO, Guilherme Aguiar; OLIVEIRA, Ricardo Cardoso de. Viabilidade econômica do uso de painéis solares no condomínio horizontal bela vista: Estudo de caso. **Revista Uningá Review**, Maringá, v. 28, n. 3, p.101-107, 09 nov. 2016.

EPE (Brasil). **Empresa de Pesquisa Energética. Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBIETO VANZOLINI. **Processo AQUA Construção Sustentável**. Disponível em: <<http://vanzolini.org.br/aqua>>. Acesso: 03 nov. 2019.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, p. 61, 2002.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL - GBC Brasil. Disponível em <http://gbcbrasil.org.br/anuario-gbc-brasil-2015>>. Acesso: 03 nov. 2019.

LAU, Lucas. **Estruturas para sistemas fotovoltaicos: Tipos e características importante**. 2017. Disponível em: <<http://shareenergy.com.br/estruturas-para-sistemas-fotovoltaicos-tipos-e-caracteristicas-importantes/>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

MICHAEL, A.; BOUGIATIOTI, F.; OIKONOMOU, A. **Less could be more: Architectural integration of active solar systems in existing urban centres**. In: **7th Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion**, 2010. Anais. Agia Napa, Cyprus, 2010.v.p.

MOLINA, W. F.; Romanelli, T. L. **Recursos energéticos e ambiente**. 1. Ed. Curitiba: Editora Intersaberes, 2015.

NORMA TÉCNICA DE DISTRIBUIÇÃO. **18**: Requisitos para acesso e conexão de geração distribuída ao sistema de distribuição da energia. 1 ed. Palmas, 2012. 47 p.

NORMA TÉCNICA DE DISTRIBUIÇÃO. **19**: Requisitos para acesso e conexão de geração distribuída ao sistema de distribuição da energia. 1 ed. Palmas, 2012. 52 p.

OLIVEIRA, Daniel Ferreira. **Levantamento de causas de patologias na construção civil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007893.pdf>. Acesso em: 25 abril 2019.

OLIVEIRA, Alexandre Magno. **Fissuras e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 96f. Monografia (Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

RODRIGUES, William Costa et al. **Metodologia científica**. Faetec/IST. Paracambi, 2007.

RÜTHER, R. 2004. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC.

KELLER, Carolyne Rubim; CARVELLI, Edenir. Análise de um sistema fotovoltaico instalado em uma edificação comercial, em Goioerê-PR. **Revista UningÁ Review**, Goioerê, v. 28, n. 3, p.43-50, 09 nov. 2016.

LEITE, V. F. **Certificação ambiental na construção civil: sistemas LEED e AQUA**. Monografia (Graduação). Escola de engenharia de UFMG. Belo Horizonte, 2011.

SA, Vinicius de Souza. **Estudo de viabilidade de utilização de sistema de geração fotovoltaica conectado à rede no Brasil**. 2016. 37 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

SOUZA, Acilon Batista. **Projetos de Investimentos de Capital**: elaboração, análise e tomada de decisão. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

URBANETZ, J.; ZOMER, C. D.; RÜTHER, R. **Compromises between form and function in grid-connected, building-integrated photovoltaics (BIPV) at low-latitudes sites**. Energy & Buildings. Florianópolis. 2010.

VALENTE, J. P. **Certificações na Construção Civil: Comparativo entre LEED e HQE**. Monografia (Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

VENTURA, Magda Maria. **O estudo de caso como modalidade de pesquisa.** Revista SoCERJ, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.

VILLALVA, M.G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2. ed. São Paulo: Editora Érica, 2015.

VILLALVA, M.G. ; GAZOLLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2012.

ZOMER, C. D.; URBANETZ, J.; RUTHER, R. **On the compromises between form and function in grid-connected building-integrated photovoltaics (BIPV) at low-latitudes.** In: **ISES Solar World Congress**, 2011. Anais. Kassel - Alemanha: Proceedings of the International Solar Energy Society's Solar World Congress 2011, 2011.v.1. p. 776-786.

ZOMER, Clarissa Debiazi. **Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações.** 2014. 258 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.