

Proposta de Projeto e Estudo de Minigeração Distribuída de Energia Elétrica Fotovoltaica na Cidade de Manaus/AM - Brasil

LUIZ FELIPE DE OLIVEIRA ARAÚJO
MARCOS PAULO RODRIGUES SOARES

Engenheiros Eletricista pelo Centro Universitário do Norte – UNINORTE
Manaus, Estado do Amazonas. Brasil

ALINE DOS SANTOS PEDRAÇA

Doutoranda em Ciência da Educação pela UNIT Brasil &
Universidad del Sol – UNADES. Asunción, Paraguay
Mestra em Serviço Social e Sustentabilidade na Amazônia- PPGSS\UFAM
Bacharela em Engenharia Eletricista - UNINORTE-AM. & Serviço Social -

UNINILTON LINS-AM

Manaus, Estado do Amazonas. Brasil

CLAUDENOR DE SOUZA PIEDADE

Mestre em Biotecnologia pela Universidade do Estado do Amazonas- UEA
Licenciado em Química e Professor pela Secretaria de Estado de Educação e
desporto– SEDUC-AM

Manaus, Estado do Amazonas. Brasil

JOÃO ALMEIDA PEDRAÇA

Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em Controle e Automação

Universidade Federal do Amazonas / UFAM

Manaus, Estado do Amazonas – Brasil

Abstract:

This article proposes a viable, renewable and low environmental impact alternative to supply electricity to UNINORTE, unit 1, located in the city of Manaus AM. The available area on the roof of the building, of 633.8 m², was considered for the elaboration of a mini-generation of photovoltaic energy, of 10,841 kWh per month. Comparative values of the current average monthly consumption of the network are shown without the mini-generation (33,200.00 kWh / month) and with the photovoltaic mini-generation (21,159.00 kWh / month), the price per kilo peak Watt generated, the total generated by the mini-generation in

kWh / month and kWh / year, the estimated return on investment estimated at 6.7 years. The main objective is to design and propose the institution of higher education (UNINORTE), its own installation of a standardized photovoltaic electric power plant, with excellent financial return, to add scientific technical knowledge in its electrical engineering classes and / or courses in areas the like.

Keywords: Solar energy. Photovoltaic. Mini-generation. Generation.

Resumo:

Este artigo propõe uma alternativa viável, renovável e de baixo impacto ambiental, para fornecimento de energia elétrica para o UNINORTE, unidade 1, localizada na cidade de Manaus AM. Foi considerada a área disponível na cobertura do prédio, de 633,8 m², para elaboração de uma minigeração de energia fotovoltaica, de 10.841 kWh mês. São apresentados os valores comparativos de consumo médio mensal atual da rede sem a minigeração (33.200,00 kWh/mês) e com a minigeração fotovoltaica (21.159,00 kWh/mês), o preço por quilo Watt pico gerado, o total gerado pela minigeração em kWh/mês e kWh/ano, o prazo estimado de retorno do investimento calculado em 6,7 anos. O objetivo principal é projetar e propor a instituição de ensino superior (UNINORTE), uma instalação própria de uma usina de energia elétrica fotovoltaica padronizada, de ótimo retorno financeiro, para agregar conhecimento técnico científico em suas turmas de Engenharia elétrica e/ou cursos de áreas afins.

Palavras Chave: Energia solar. Fotovoltaica. Minigeração. Geração.

1 INTRODUÇÃO

O Doutor Carl Sagan, astrônomo, criou uma equação matemática, baseada na teoria do astrofísico russo Nikolai S. Kardashev, que classifica o nível de evolução humana em 0,7 na escala Kardashev. Esta escala criada em 1964 por Nikolai S. Kardashev aborda o nível evolutivo de uma civilização em relação a sua capacidade de geração e consumo energético.

De acordo com Kardashev (1997) com essa escala, uma civilização tipo 2 (dois) seria uma civilização, tecnologicamente avançada, a ponto de utilizar 100% da energia emitida por sua estrela mais próxima, fazendo uma analogia com a humanidade se menciona a utilização da energia emitida pelo Sol.

Com isso se pode destacar a importância dos sistemas de geração elétrica através da energia luminosa solar, que coloca a humanidade em caminho certo de evolução segundo a escala Kardashev. O sol é fonte de energia renovável, infinita, inesgotável e gratuita. A sua utilização como fonte de luz e de calor, é uma das alternativas para geração de energia elétrica mais promissora para as próximas gerações.

O crescente aumento populacional e a crescente demanda por políticas de preservação do meio ambiente impulsiona a busca por novos métodos de geração de energia elétrica, renováveis, para suprir a demanda de consumo global. Dentre os modelos de geração de energia renovável, a energia solar se destaca por não emitir poluentes e não agredir o meio ambiente.

Pereira (2006) pondera que o Brasil recebe uma boa taxa de irradiação solar anual, sendo esta taxa um valor elevado em todo o seu território. A média de irradiação solar global no Brasil é de 1500Wh/m² a 2500 Wh/m², este valor é superior aos da maioria de países europeus como Alemanha (900-1250 Wh/m²), França (900- 1650 Wh/m²) e Espanha (1200-1850 Wh/m²), países onde projetos de sistemas fotovoltaicos são considerados com retorno aceitável, isso faz do Brasil um país privilegiado para implantação de sistemas fotovoltaicos.

Este estudo traz a perspectiva de estudo e projeção de uma seção de minigeração distribuída de energia proveniente da luz solar (Sistema fotovoltaico), otimizando as dimensões de implantação do sistema, visando a economia que se promoverá com a utilização de fonte de energia renovável. O objetivo é projetar e propor na instituição de ensino superior (UNINORTE), uma instalação própria de uma usina de energia elétrica fotovoltaica padronizada, agregando conhecimentos técnicos científicos da área de Engenharia elétrica e/ou cursos de áreas afins. A metodologia aplica está com base nos processos de implantação de um sistema observando suas condições normativas de aplicação. Dessa maneira se configura um estudo exploratório e de engenharia,

onde se projeta, se modela e se aplica o sistema. A expectativa com a realização desse estudo é demonstrar a eficiência do sistema solar, como fonte de energia limpa para subsidiar economia.

Para a realização dos estudos foi necessário verificar todos os parâmetros que norteiam e subsidiam vantagens de utilização do sistema solar fotovoltaico em instituições de ensino, onde o consumo de energia elétrica é muito significativo e dispendioso para o sistema.

2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 Energia Solar Fotovoltaica

A palavra “fotovoltaica” é oriunda da junção de duas outras palavras, *fóton* que é a energia luminosa emitida por um elétron e *voltaico* que significa volt que é o mesmo que diferença de potencial elétrico. A energia fotovoltaica é o surgimento de uma diferença de potencial elétrico (ddp) entre a junção PN de uma célula solar, quando esta é exposta a luz visível. Existem vários tipos de células solares fabricadas usando tecnologia e materiais distintos para obter a melhor relação de aproveitamento de energia, durante a conversão de energia luminosa em energia elétrica.

Medeiros (2019) cita que o físico francês Alexandre Edmond Becquerel, em 1839, observou o efeito fotovoltaico durante um de seus experimentos físicos que consistia em duas placas metálicas de prata e platina mergulhadas em um eletrólito que quando exposto a luz solar gerava uma diferença de potencial entre seus terminais.

Essa observação foi fundamental para que os estudos relacionados à energia proveniente do sol passassem a ser vista com seu potencial promissor de geração de energia, sobretudo, no aspecto socio-ambiental que se torna uma opção sustentável.

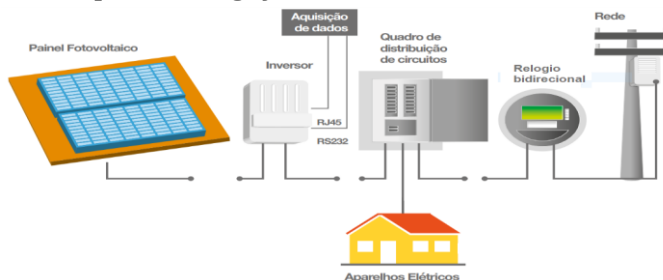
2.2. Esquema Básico Para uso de Energia Solar

A montagem do sistema de energia solar basicamente pode ser de duas formas:

On grid – Sistema de geração de energia elétrica própria e interligada com o fornecimento de energia elétrica da rede de distribuição local. Nesse sistema é possível ter o fornecimento de energia elétrica da concessionária local e mais um fornecimento de energia elétrica gerada

pelo sistema fotovoltaico. A instalação desse sistema permite que nos momentos onde a geração de energia elétrica é maior que o consumo, o excedente é enviado para a rede de distribuição local gerando créditos de energia elétrica, esses créditos são contabilizados em tempo real pelo relógio medidor de consumo instalado pela concessionária no estabelecimento que tem o sistema *on grid* implantado. Abaixo temos um esboço simples de ligação de um sistema fotovoltaico *on grid*. A figura 1 descreve o esquema de energia solar fotovoltaica do tipo *on grid*, de maneira esquemática.

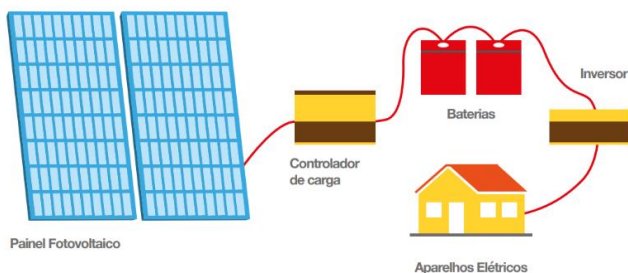
Figura 1: Esquema de ligação de um sistema fotovoltaico *on/grid*.



Fonte: Guia de energia solar fotovoltaica - www.sustentabilidade.sebrae.com.br

Off grid – Sistema de geração de energia elétrica próprio e isolado do fornecimento de energia elétrica da rede de distribuição local. Nesse caso a geração própria do estabelecimento é isolada e independente do fornecimento da rede local que pode ser inexistente para alguns estabelecimentos que usam o sistema *off grid*. Por ser isolado o sistema solar *off/grid* deve contar com baterias para armazenar o excedente de energia elétrica gerada durante o dia, permitindo o uso dessa energia armazenada durante a noite ou nos dias de pouca incidência de luz solar. Abaixo temos um esboço simples de ligação de um sistema fotovoltaico *off grid*. A figura 2 traz o esquema de ligações para o sistema fotovoltaico *off grid*, sendo suas partes detalhadas com a exposição e legenda dos painéis solares, controlador de carga, bancos de baterias, o inversor e o sistema de distribuição. Por se tratar de um sistema autônomo, os custos para esses sistema, para a instalação é mais alto, em contrapartida, seu retorno com o tempo é grandioso, uma vez que a residência, ou o sistema que fizer uso do dispositivo, terá autonomia de geração de energia.

Figura 2: Esquema de ligação de um sistema fotovoltaico *off grid*



Fonte: Guia de energia solar fotovoltaica www.sustentabilidade.sebrae.com.br

Com o sistema *off grid* é possível visualizar que os investimentos que são requeridos inicialmente são de extrema importância para uma perspectiva de futuro, uma vez que o usuário terá plena autonomia de custos com a concessionária em detrimento ao seu fornecimento de energia com autonomia.

2.3 Componentes do Sistema

O sistema fotovoltaico *on grid* ou *off grid*, é composto por componentes distintos que juntos tem como objetivo a geração de energia elétrica através da energia luminosa solar, no mercado existem diversas tecnologias que proporcionam a cada dia novos e melhores componentes, mas basicamente os sistemas solares são compostos pelos seguintes equipamentos:

Painéis Solares Fotovoltaicos – É o conjunto formado por vários módulos solares ligados em serie. De acordo com dimensionamento do sistema previsto no projeto, teremos a quantidade de módulos solares necessários e o conjunto desses módulos instalados forma o painel solar fotovoltaico. Pode acontecer de ter mais de um painel solar instalado em um determinado projeto, isso depende da corrente máxima alcançada quando os módulos são interligados, quando se atinge a corrente máxima de um painel de acordo com os dados do fabricante outro painel é necessário para concluir a instalação. A figura 3 destaca o painel solar, com a amostragem de um sistema instalado sobre o telhado de uma residência. Enfatizando que todos os parâmetros devem

ser ajustados para que a captação e a absorção da radiação solar possa gerar energia e ser disposta no circuito para maior rendimento.

Figura 3: Pannel solar (composto de vários módulos solares) instalado em um telhado inclinado.



Fonte: www.borealsolar.com.br

Controlador/Regulador De Carga – São utilizados para garantir o perfeito ciclo de cargas e descargas das baterias, protegendo contra sobrecargas e descargas profundas que causam uma diminuição na vida útil das baterias. A figura 4 traz a interface de um controlador de carga, dispositivo importante no sistema.

Figura 4: Controlador de Carga MPPT 40A 12/24V - Epever Triron 4210N



Fonte: www.neosolar.com.br

Cabos e Conexões – Em um sistema fotovoltaico os cabos e conexões estão expostos diretamente as mais diversas variações climáticas como dias chuvosos e dias muito ensolarados, por isso é importante que tenham proteção adequada. Quanto aos conectores podemos destacar o MC4 que se destacou por ser de fácil instalação, resistente ao tempo, proteção UV, travamento automático, e bom acabamento. A figura 5 e 6 destacam a espessura e bitola dos cabos e os conectores.

Figura 5: Cabo Fotovoltaico Solarmax 6mm



Fonte: www.dgtec.com.br

Figura 6: Conector MC4



Fonte: www.neosolar.com.br

Inversor Off Grid – Ele é construído para fornecer energia diretamente para as cargas. Ele gera a energia elétrica em corrente elétrica (AC) drenando a energia contínua (DC) armazenada em um banco de baterias, ou diretamente dos módulos solares. A figura 7 mostra um modelo de inversor que é utilizado em sistema de energia solar fotovoltaica.

Figura 7: Inversor solar Off/Grid Victron 15.000VA



Fonte: www.aldo.com.br

Inversor *On Grid* – Ele é construído para permitir a interação da energia elétrica alternada da rede de distribuição juntamente com a energia elétrica alternada gerada pelo sistema de geração fotovoltaico. Ele age de forma automática “misturando” a energia gerada com a energia vinda da rede de distribuição e fornecendo para a carga.

Como o inversor fica permanentemente ligado é necessário que ele seja capaz de perceber as mais diversas flutuações, picos e falta de energia na rede elétrica para que ele possa se desligar imediatamente, nos casos de falta de energia, evitando assim problemas durante a manutenção da rede elétrica.

Esta função é conhecida como “anti-ilhamento”; a ilha seria um estabelecimento com um sistema *On grid* que permanece ligado durante falta de energia elétrica na rede local, isso acarretaria sérios problemas para a equipe de manutenção que irá trabalhar na rede local para restabelecer o fornecimento da concessionária local. A figura 8 mostra um inversor do tipo *on grid*.

Figura 8: Inversor *On Grid* Fronius Symo 10kW max 600V



Fonte: www.fronius.com

Suportes para Instalação de Painéis Solares – Os suportes são estruturas metálicas instaladas para garantir a perfeita acomodação dos módulos solares na superfície escolhida, para implantação do arranjo de painéis solares. Uma boa instalação de suportes é essencial para o perfeito funcionamento de todo o sistema, e os requisitos do suporte são observados nos projetos para atender os mais diversos e tipos de superfície sendo ela inclinada ou não. A figura 9 destaca a parte de suporte de sustentação dos painéis a estrutura metálica. Note que a

estrutura é montada obedecendo a uma lógica de inclinação e respeitando as descrições sugeridas no diagrama unifilar.

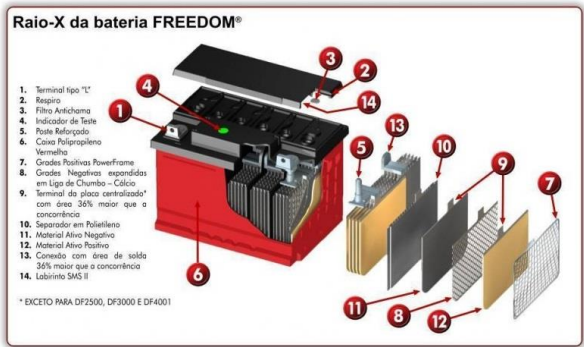
Figura 9: Suporte metálico para acomodação dos módulos solares.



Fonte: <https://jornal.usp.br/universidade>

Baterias ou Módulo de Baterias – As baterias para uso em sistemas fotovoltaicos podem ser fabricadas de chumbo-ácido, níquel=cádmio ou íons de lítio, sendo esta última opção a mais cara e inviabilizando o seu uso. A relação custo-benefício faz com que as baterias de chumbo-ácido se tornem as mais adequadas para uso em sistemas fotovoltaicos isolados. A figura 10 destaca a estrutura de uma bateria.

Figura 10: Raio X Bateria Estacionária Heliar Freedom de Chumbo-ácido.



Fonte: www.neosolar.com.br

2.4. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

A energia fotovoltaica, a cada dia ganha mais importância como alternativa para solucionar graves problemas que são consequência da utilização e dependência de combustíveis fósseis, evitando a emissão de gases poluentes na atmosfera. Dentre os principais estão tirar ou reduzir a dependência energética dos combustíveis que geram gases poluentes, como carvão, petróleo e gás natural assim reduzindo a emissão de gases do efeito estufa que contribuem com a poluição do planeta.

Com isso, a energia fotovoltaica ganha espaço ao melhorar cada vez mais a relação entre humanidade e natureza, facilitando ainda mais a vida das populações isoladas e atendidas por energia fotovoltaica.

Sendo assim, a conscientização e as mudanças culturais que essa tecnologia promove podem trazer importante contribuição no atendimento das necessidades atuais sem comprometer o futuro das próximas gerações.

No Brasil, podemos contar com altas taxas de irradiação solar durante o ano inteiro e por quase toda a totalidade do território nacional. Por isso o conhecimento de como este recurso natural e renovável se distribui em todo território nacional ao longo do ano, é importante para aplicação e elaboração de estudos de viabilidade.

2.5 CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Podem ser classificados em indiretos ou diretos ou ativos e passivos:

Indireto. Os métodos indiretos precisam de mais de uma etapa no processo de conversão da energia solar em energia utilizável. Por exemplo, podemos citar o processo de concentração de feixes de luz solar por meio de espelhos direcionados a um tubo com pressão negativa por onde a circulação de água é ativada com a elevação da temperatura ocasionada pela concentração da luz solar, esta circulação de água alimenta uma turbina que por sua vez gera energia elétrica. Este processo é chamado de heliotérmico.

Direto. O método direto é caracterizado por utilizar apenas uma etapa na conversão de energia, a exemplo disso podemos citar a energia fotovoltaica onde placas solares captam a energia luminosa e por meio de semicondutores sensíveis a luz geram um fluxo de elétrons

causando uma diferença de potencial, ou seja apenas a captação de energia luminosa é suficiente para geração de energia elétrica.

Sistemas Isolados (*Off grid*). São sistemas fotovoltaicos isolados, muito usados em locais remotos onde não existe a rede elétrica convencional e o custo de se conectar a rede elétrica de distribuição mais próxima é alto.

Sistemas Conectados à Rede (*Grid-tie*). São chamados de sistemas conectados à rede elétrica convencional, compostos de equipamentos que permitem o balanceamento do consumo em tempo real e enviam o excedente gerado para a rede de distribuição. Por isso se caracteriza como geração de energia elétrica distribuída.

2.6. REGULAMENTAÇÃO

As principais normas que regulamentam a instalação de sistema solares fotovoltaicos no Brasil são as seguintes:

- ABNT NBR IEC 62116:2012 - Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.
- ABNT NBR 16149:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16150:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade.
- ABNT NBR 16274:2014 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho.
- ABNT NBR 5410:2004 - Instalações elétricas de baixa tensão I - Proteção e segurança
- A Resolução Normativa N° 414, de 9 setembro de 2017.
- A Resolução Normativa N° 482 da ANEEL, aprovada em abril de 2012.
- A Resolução Normativa N° 687, de novembro de 2015.

2.7. AGENCIAS REGULAMENTADORAS

As principais entidades que atuam na regulamentação de fontes de energia elétrica sustentável no Brasil são:

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, responsável em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, foi criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997. A ANEEL começou suas atividades em dezembro do ano de 1997, e suas principais atribuições são: Regular, Fiscalizar, Estabelecer Tarifas, dirimir divergência e promover as atividades de outorgas de concessão.

ABGD – Associação Brasileira de Geração Distribuída, entidade jurídica de direito privado sem fins lucrativos, fundada em 2015 por empresas que investem e atuam na Geração Distribuída com fontes de energias renováveis. CNPJ: 24.303.264/0001-82. Reúne pessoas jurídicas e físicas, além de profissionais e acadêmicos que têm interesse em comum a atuação na geração distribuída de energia elétrica vinda de fontes renováveis.

ABRADEE – A Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos. Reúne concessionárias de distribuição de energia elétrica – estatais e privadas que atuam em todas as regiões do Brasil.

ABSOLAR – Pessoa jurídica de direito privado sem fins lucrativos que reúne empresas do setor fotovoltaico (FV) no Brasil. A ABSOLAR coordena, representa e defende os interesses de seus associados quanto ao desenvolvimento do setor e do mercado de energia fotovoltaica no Brasil.

2.8. VANTAGENS E DESTAVANTAGENS

As principais vantagens da energia solar:

- É de fonte renovável, e pode ser considerada infinita.
- Possui baixo impacto ao meio ambiente.
- Não necessita de um alto custo para a manutenção.
- É uma boa fonte de energia para locais isolados onde não existe a rede elétrica convencional.

As principais desvantagens da energia solar:

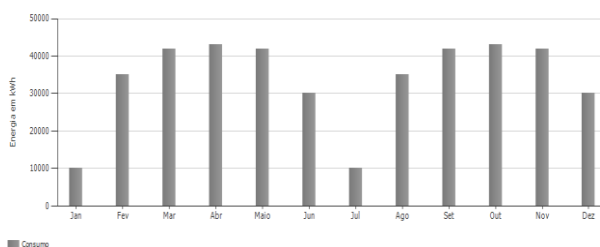
- Baixa geração de energia elétrica em dias nublados e/ou chuvosos. No período da noite não ocorre a produção de energia.
- Alto custo para aquisição dos equipamentos que compõe o sistema fotovoltaico.

- Possível inclusão de taxação sobre o excedente gerado no sistema on-grid.

3 METODOLOGIA

A presente proposta tem como objetivo apresentar uma alternativa viável de economia de energia elétrica para Unidade 1 da Universidade UNINORTE, para isso a média dos valores mensais de consumo foram estimados em 33.200,00 kWh, considerando um ciclo de 12 meses de consumo conforme a imagem a seguir. A figura 11 indica a evolução de um sistema de consumo de energia num intervalo de 12 meses.

Figura 11: Evolução de consumo de energia elétrica em um ciclo de 12 meses.



Fonte: PV*SOL 2019 v.R12

3.1 Localização Geográfica e Dados de Irradiação Solar

Para chegar aos valores de irradiação solar é preciso saber a posição geográfica de onde será instalado o sistema fotovoltaico. Pelo site (<https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-manaus.html>, ano 2019) “Situated a 39 metros de altitude, de Manaus tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 3° 6' 26" Sul, Longitude: 60° 1' 34" Oeste”. Sabendo a localização os dados de irradiação solar podem ser obtidos através do sistema CRESESB SUNDATA 3.0 em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. A figura 12 descreve dados do sistema de irradiação solar para a cidade de Manaus.

Figura 12: Evolução de horas de sol pleno (HSP) para cidade de Manaus AM durante o ano.

Estação: Manaus
Município: Manaus, AM - BRASIL
Latitude: 3,101° S
Longitude: 60,049° O
Distância do ponto de ref.: (3,107222° S; 60,029111° O): 2,6 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☑	Plano Horizontal	0° N	3,95	4,02	4,04	3,83	3,88	4,38	4,43	4,93	4,98	4,78	4,83	4,12	4,32	1,18
☑	Ângulo igual a latitude	3° N	3,89	3,98	4,04	3,86	3,94	4,46	4,52	5,00	4,90	4,74	4,56	4,05	4,33	1,14
☑	Maior média anual	4° N	3,87	3,97	4,03	3,87	3,96	4,52	4,55	5,02	4,90	4,73	4,53	4,02	4,33	1,16
☑	Maior mínimo mensal	4° N	3,87	3,97	4,03	3,87	3,96	4,52	4,55	5,02	4,90	4,73	4,53	4,02	4,33	1,16

Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/>

Para realização de cálculos e dimensionamento de todo o sistema será adotado o valor de 4,33 que é a média anual de horas de sol pleno (HSP) na cidade de Manaus.

3.2 Orientação dos Módulos

No hemisfério sul, normalmente, se utiliza a inclinação da latitude como padrão para inclinação dos módulos solares em direção ao norte, mas como se trata de uma cidade localizada muito próximo a linha do equador e com uma latitude muito pequena (3 graus) será utilizado a inclinação de 10 graus para evitar o acúmulo de gotas de água e sujeira por cima dos módulos.

3.3 Perdas e Rendimento.

O rendimento do sistema fotovoltaico é inversamente proporcional a quantidade de perdas no sistema, quanto maior a perda menor o rendimento, ou seja, quanto maior o aproveitamento de conversão da energia luminosa solar em energia elétrica alternada maior será o rendimento e menor será a perda, a tabela 1 descreve a relação de perdas e estudo. Sabendo disso podemos considerar valores observados em testes em laboratórios do próprio fabricante e demais estudos de controle como o do Eng. Demétrius que em um de seus artigos define os seguintes índices de perdas:

Tabela 1 - Perdas de energia (η rendimento)

Perdas por temperatura	7% a 18%	11,5%
Incompatibilidade elétrica	1% a 2%	1,5%
Acúmulo de sujeira	1% a 8%	2,0%
Cabeamento CC	0,5% a 1%	1%
Cabeamento CA	0,5% a 1%	1%
Inversor	2,5% a 5%	4%
Total de Perdas		21%

Fonte: Artigo Científico (Análise de dimensionamento do sistema de energia solar – Demétrius, Miquéias e Kleber – II ETCEECAU 2018)

Com os valores acima mencionados se encontrou um total de perdas por volta de 21% perfazendo um rendimento de 79%. Esse resultado se considerar o valor estimado de 80% para o rendimento.

$$\text{Rendimento} = 0,8 \text{ (I)}$$

Esses dados destacam que o rendimento é considerável, uma vez que produz certa eficiência de rendimento.

3.4 Dimensionamento dos Módulos

De acordo com imagens aéreas tiradas via satélite, a área disponível no telhado da Unidade 1 da UNINORTE é de 633,8 metros quadrados, o que permitiu a acomodação de 326 módulos solares da fabricante Canadian Solar Inc. modelo CS6U-320p com potência nominal de 320W. Com esses dados foram realizados os demais cálculos:

Potência de pico ao dia = (potência nominal do módulo) * (quantidade de módulos) * (rendimento) **(II)**

$$\text{Potência de pico ao dia} = (320 \text{ W}) * (326) * (0,8) \quad \textbf{(III)}$$

$$\text{Potência de pico ao dia} = 83.456,00 \text{ Wp} \textbf{ (83,5 Kilo-watt-pico)} \quad \textbf{(IV)}$$

Sabendo que o valor de *83,5 kW* é a Potência de pico ao dia, pode-se calcular a Energia de geração ao dia e a Energia de geração ao mês:

$$\text{Energia de geração ao dia} = (\text{Potência de pico ao dia}) * (\text{Tempo de exposição}) \quad \textbf{(V)}$$

$$\text{Energia de geração ao dia} = (83.456,00) * (4,33) \quad \textbf{(VI)}$$

$$\text{Energia de geração ao dia} = 361.364,48 \text{ Wh} \textbf{ (361,5 kWh ao dia)} \quad \textbf{(VII)}$$

$$\text{Energia de geração ao mês} = (361.364,48 \text{ Wh}) * (30 \text{ dias}) \quad \textbf{(VIII)}$$

$$\text{Energia de geração ao mês} = 10.840.934,4 \text{ Wh} \textbf{ (10.841 kWh ao mês)} \quad \textbf{(IX)}$$

$$\text{Energia de geração ao ano} = 130.091.212,8 \text{ Wh} \textbf{ (130.091,00 kWh ao ano)} \quad \textbf{(X)}$$

Conforme mencionado anteriormente no item 5.2.1 a variável *Tempo de exposição* será de 4,33 para um cálculo de resultados conservadores, mas é sabido que a quantidade de incidência solar pode alcançar valores muito maiores na cidade Manaus, o que implica em uma geração de energia muito maior.

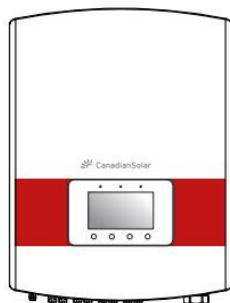
3.5 Dimensionamento dos Inversores

Foram dimensionados 3 (três) inversores da mesma fabricante dos módulos solares para facilitar a compatibilidade elétrica dos componentes. Modelo *Canadian 30 KTL-GI-FL*, com as seguintes características principais que atendem ao sistema proposto:

- ✓ Potência: 30 kW
- ✓ Potência máxima: 34kW
- ✓ Potência máxima de saída: 33kW
- ✓ Entrada de módulos: 8 pares de entrada DC de conexão MC4
- ✓ Voltagem máxima: 1000V
- ✓ Voltagem saída: 400 V

Os inversores atenderão um arranjo de 326 módulos totalizando um total de 83,5 Kilo-watt-pico conforme a equação (III) no item (5.2.4). A figura 13 descreve um conversor Canadian 30 KTL-GI_FL.

Figura 13: Inversor Canadian 30 KTL-GI-FL.



▲ Figure 1.1 Front view



▲ Figure 1.2 Bottom view

Fonte: <https://www.canadiansolar.com/>

Equipamento ideal para redes trifásicas 220V. Não requer o uso de transformadores, fazendo com que perdas sejam reduzidas.

3.6 Eficiência Energética

A viabilidade desse projeto salta aos olhos de forma muito positiva mesmo os cálculos de desempenho sendo bem conservadores, foi considerado durante os cálculos, para a variável de incidência solar máxima, apenas 4,33 horas, sendo que este valor é a média de toda a variação de um ano onde a mesma variável atingiu um máximo de 5,02. Além disso, não foi incluído a taxa de irradiação solar mínimas, as taxas de irradiação solar mínimas não geram o máximo de energia que o sistema se propõe a gerar mas o seu somatório trará um ganho de 25% a 35% a mais de energia gerada no total.

Também foi utilizada uma taxa de perdas de 20%, mas como estamos utilizando conectores adequados e o mesmo fabricante para os módulos e inversores isso diminui os problemas de incompatibilidade elétrica. É provável que as taxas de perdas sejam menores.

A simulação de todo o projeto pelo software PV*SOL R12 2019, podemos chegar ao valor de 77,284 toneladas de emissão de CO₂ evitadas com a implementação desse sistema.

3.7 Valor de Investimento

O valor de investimento para a instalação do sistema fotovoltaico para a cobertura da unidade 1 da UNINORTE é de R\$ 8300,00 por cada kWp (8300,00 R\$/kWp). Para a potência de 104,32 kWp será de R\$ 865.856,00 (OITOCENTOS E SESSENTA E CINCO MIL OITOCENTOS E CINQUENTA E SEIS REAIS). É importante salientar que o investimento de R\$ 865.856,00 será amortizado em 6,7 anos e o sistema tem um prazo de vida útil de mais de 25 anos.

3.8 Financiamento

Apesar do valor elevado para o investimento, é importante considerar a possibilidade de financiamento para implantação do sistema fotovoltaico, o Governo Federal possui linhas de crédito para incentivo ao desenvolvimento de projetos que contribuem para a redução de emissão de gases do efeito estufa. O BNDES (Banco Nacional do desenvolvimento) possui linhas de crédito para atender projetos de instalação de sistemas fotovoltaicos, dentre eles podemos citar o: “Financiamento à aquisição e à produção de máquinas e equipamentos com maiores índices de eficiência energética ou que contribuam para a

redução de emissão de gases do efeito estufa” com os seguintes valores de taxas. A figura 14 traz um demonstrativo de taxas relacionadas a investimentos em energia solar.

Figura 14: Taxas de financiamento BNDES.

Pessoas físicas e empresas		
Custo financeiro	Taxa do BNDES	Taxa do Agente Financeiro
0,1% ao ano	0,9% ou 1,4% ao ano*	até 3% ao ano

* Beneficiários com Receita Operacional Bruta de até R\$ 90 milhões: 0,9% ao ano;
Beneficiários com Receita Operacional Bruta acima de R\$ 90 milhões: 1,4% ao ano.

Fonte: <https://www.bndes.gov.br/>

Além disso, existem outras instituições financeiras que se destacam por oferecer créditos para aquisição de equipamentos para instalação de sistemas fotovoltaicos. Com isso o prazo de retorno do investimento pode se estender por mais tempo, mas mesmo assim é uma excelente alternativa de investimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A forma de adequação no fornecimento de energia requer que todos os fundamentos sejam devidamente analisados para que as implementações possam surtir efeito favorável ao investimento que se aplica. A proposta de um projeto da implantação de um sistema de minigeração distribuída de energia elétrica fotovoltaica na cidade de Manaus, mais especificamente em uma unidade de ensino superior no centro de Manaus.

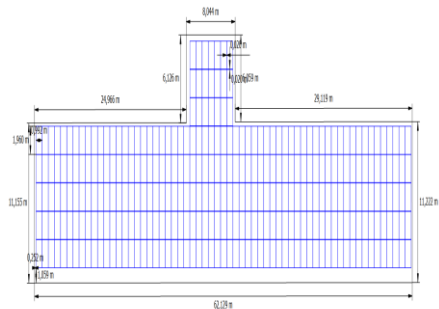
De acordo com Rodrigues (2018), De Alencar (2018), Martins (2017), Neto (2016), Marques (2016) e outros autores a minigeração distribuída de energia trata-se de inovações que podem aliar a economia financeira, consciência socioambiental e autossustentável, baseada na resolução Normativa de 17 de abril de 2012, cujo número é 482/2012- ANEEL.

Essa resolução se estabeleceu para justificar os benefícios no setor elétrico, assim, Com o objetivo de reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração; compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de

Fornecimento (Resolução Normativa nº 414/2010); aumentar o público alvo; e melhorar as informações na fatura, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015 revisando a Resolução Normativa nº 482/2012 (ANEEL, 2017. Pag. 3).

A figura 15 destaca um layout do projeto de minigeração da Unidade I, uma tomada aérea que destaca as dimensões calculadas.

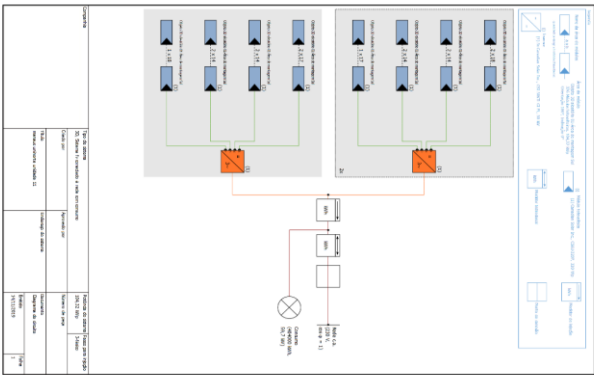
Figura 15: Projeto Minigeração Unidade 1 – Vista Aérea.



Fonte: Software PV*SOL R12 2019.

O projeto se mostra viável devido as condições que se apresentam com destaque nas características do local de aplicação e na possibilidade de adequação de instalação. A figura 16 descreve o diagrama unifilar que discrimina as condições de viabilidade técnica da aplicação do sistema na unidade de ensino.

Figura 16: Projeto Minigeração Unidade 1 – Diagrama Unifilar.



Fonte: Software PV*SOL R12 2019.

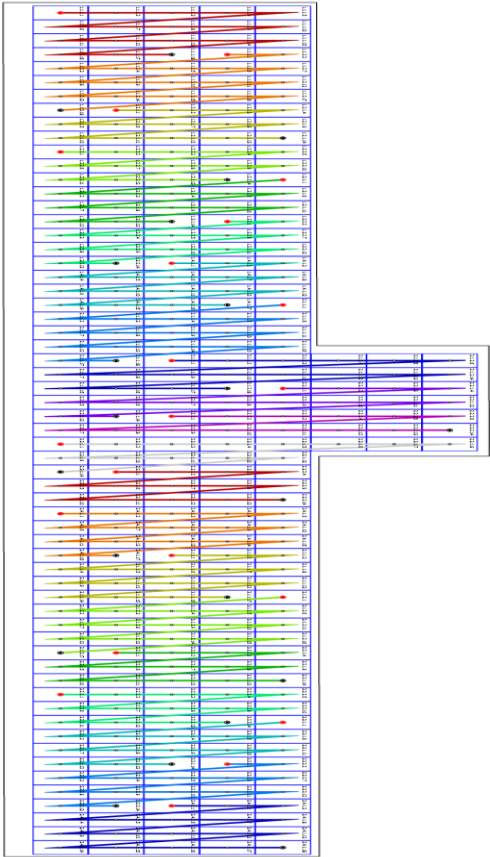
De acordo com Souza (2017) os diagramas unifilares são formas de mapeamento do Sistema ou seja, é o esquema elétrico no formato de desenho que tem a função de representar graficamente circuitos elétricos e eletrônicos com simbologia específica sob a forma de planta baixa.

A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 se aplica-se ao acesso de microgeração e minigeração distribuída ao sistema de distribuição da Energia compreendidos pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, sendo que o sistema elétrico é acessado por meio de unidades consumidoras e que arranjam o ajuntamento ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica, com potência instalada de geração até 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, nos termos da Resolução ANEEL Nº 235/2006, ou demais fontes renováveis (ENERGISA, 2016. Pág. 1).

O projeto de implantação de uma minigeração tem que contemplar todos os requisitos que a norma especifica e requer que todos os cuidados sejam acionados para garantir que todo o investimento alocado para a implantação tenha uma perspectiva de vantagens, caso contrário tudo fica fadado ao fracasso.

Como todo o projeto exige uma definição dos pontos que garantem seus resultados, a norma acima destacada foi elaborada observando critérios técnicos de projeto, proteção, medição, controle, segurança e operação de unidades geradoras, os procedimentos definidos no PRODIST e a regulamentação vigente. Isso sustenta que o projeto passa a ser validado, com as devidas simulações necessárias, como se pode perceber na figura 17, o projeto de minigeração, como seu diagrama de blocos.

Figura 17: Projeto Minigeração Unidade 1 – Diagrama de conexão dos módulos.

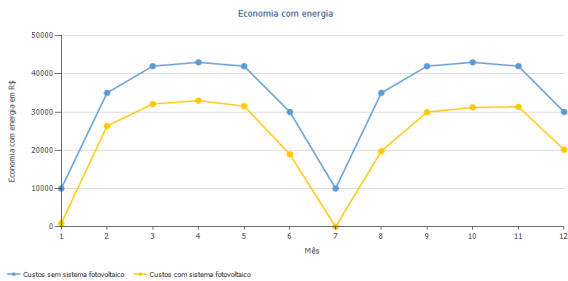


Fonte: Software PV*SOL R12 2019.

A energia solar fotovoltaica é hoje no mercado das fontes de energia renovável mais proeminentes na atualidade que está em ascensão, os avanços na área vão desde os estudos para aumentar o grau de eficiência como a condição de redução de custo de instalação e obtenção. As formas de construção das células solares são classificadas pela ordem de geração, atualmente as pesquisas estão no nível da quarta geração, isso espelha que as perspectivas são favoráveis para sugerir implementação das novas possibilidades de aprimoramento.

Os resultados foram observados em software simulados em computador, foi considerada uma inflação de 5% ao ano. Sem o sistema fotovoltaico temos um custo mensal que alcança até R\$ 43.000,00 mensal e com o sistema fotovoltaico instalado o custo não ultrapassa R\$ 33.000,00. O valor de economia é de R\$ 128.801,80 ao ano. A figura 18 traça um perfil de um comparativo anual de consumo fazendo uso de dois sistemas.

Figura 18: Comparativo anual de consumo. Com sistema FV X Sem o sistema FV.



Fonte: Software PV*SOL R12 2019.

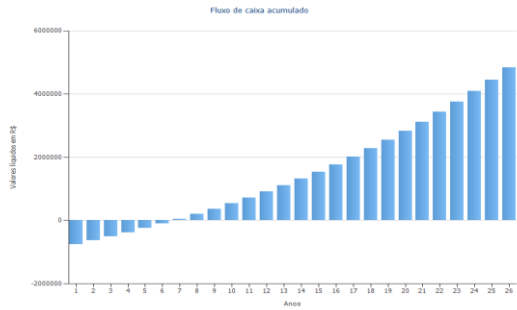
O sistema é amortizado em 6,7 anos, com isso no final do ano sete (7) teremos um fluxo de caixa acumulado de R\$ 41.549,60 (Quarenta e um Mil Quinhentos e Quarenta e Nove Reais e Sessenta Centavos) e no final do ano vinte e cinco (25) teremos um fluxo de caixa acumulado de R\$ 4.832.208,90 (Quatro Milhões Oitocentos e Trinta e Dois Mil Duzentos e Oito Reais e Noventa Centavos).

Pelos dados expressos e observando a curva que trata o sistema com e outro sem o sistema fotovoltaico fica muito evidente que o sistema solar fotovoltaico é uma alternativa promissora e que traz expectativa de sucesso para o usuário que busca adequar seu consumo a possibilidade de, paulatinamente, ir diminuindo seus gastos e validando a autonomia de escolher uma forma de energia que tende a se difundir de forma consistente, em países que buscam adequar sua matriz energética para meios mais diversificados e equilibrados com o meio ambiente.

A figura 19 descreve o fluxo de caixa de um usuário que adquiriu o sistema que a tendência é sempre um crescimento

ascendente que mostra a característica da energia solar fotovoltaica ser promissora e na roda dos aos se concretiza como sistema viável, mas para se ter esse sistema é necessário investir e esse investimento, dependendo do empreendimento, pode ser muito alto.

Figura 19: Fluxo de caixa acumulado em 25 anos.



Fonte: Software PV*SOL R12 2019.

Acerca do fluxo de caixa que, no projeto de instalação de um sistema solar, vem discriminado, as possibilidades referentes à economia, a forma de impacto social e pela capacidade de adaptação dos sistemas que tem certo rendimento e que podem ser aperfeiçoados.

Segundo Santos (2016) a preocupação com o ambiente e a preservação das fontes de geração de energia que pode influenciar no meio trazendo fortes impactos.

A perspectiva é na maneira de conciliação, pois promover estudos que permitam testar as invenções, que possam subsidiar melhor condição econômica para o usuário e se a concessionária que se posiciona, mas falta o comprometimento com o ente público, que faz da utilização do sistema para manter a coerência de dados faz com que se manifeste mostrando as realidades vivenciadas nas comunidades que os governos e demais profissionais.

5 CONCLUSÃO

A instalação do sistema fotovoltaico é de grande relevância para a UNINORTE, universidade consagrada na sociedade Amazonense, o estudo de viabilidade comprova que a cobertura da unidade 1 é perfeita

para a acomodação desse sistema solar, pois não há sombreamento de prédios próximos. Podemos ressaltar que um sistema fotovoltaico também agregaria um ganho acadêmico a Escola de Arquitetura, Engenharia e TI pertencente a UNINORTE, propiciando a todos os alunos de engenharia e principalmente aos alunos de Engenharia Elétrica a vivência e acompanhamento do funcionamento de uma minigeração própria da instituição.

É necessária a realização de um estudo técnico com elaboração de projetos com medidas exatas do prédio em AUTOCAD, além da elaboração de planilha com descrição e quantitativo de material para se alcançar o valor exato de implantação do sistema fotovoltaico, pois o valor de 8300,00 R\$/kWp é uma estimativa do mercado, esse valor pode ser menor para a realidade da UNINORTE.

REFERÊNCIAS

- ANELL (2017). Unidades Consumidoras com Geração Distribuída. Disponível em < <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> acesso em 20. 10.2020.
- BRITO, Giovanna De Oliveira De; PEREIRA, Josei Fernandes; ROSA, Sandra Janice Nunes; ROSA, Juliana Aozane Da. *Homo Deus: Um Ensaio Sobre O Futuro Energético Da Humanidade*. 2017. Disponível em: <https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/moeducitec/article/view/8439>> Acesso em: 20 de Novembro de 2019.
- DE ALENCAR, M. P., de Almeida Neto, J. L., Maranhão, T. L. G., & Tavares, C. V. C. C. Políticas Públicas para micro e minigeração de energia solar no estado do Ceará: um estudo levando-se em consideração o contexto nacional e municípios no semiárido cearense. *Id on Line Revista de Psicologia*, 12(39), 192-223. 2018.
- ENERGISA. Norma Técnica Critérios para a Conexão de Acessantes Mini Geração Distribuída (2016). Disponível em < <https://www.energisa.com.br/Documents/NTD-013%20Crit%C3%A9rios%20para%20Conex%C3%A3o%20de%20Acessantes%20de%20Micro%20e%20Mini%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa.pdf>> acesso em 12.07.2020.
- FILHO, Carlos Alberto Dias; FREITAS, Elton Vales; SANTANA, Kleber. **Projeto de minigeração distribuída de energia solar fotovoltaica de potência nominal de 599 kW para unidade consumidora situada em Manaus/AM**. 2018. Disponível em: <https://www.etceccau.com/anais-i-etceccau> > Acesso em: 20 de novembro de 2019.
- GONÇALVES, Guilherme Guimarães. PROJETO DE UMA MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO PRÉDIO DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFRJ. 2018. Tese de Doutorado. CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFRJ Guilherme Guimarães Gonçalves Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola

Luiz Felipe de Oliveira Araújo, Marcos Paulo Rodrigues Soares, Aline dos Santos Pedraça, Claudenor de Souza Piedade, João Almeida Pedraça- **Proposta de Projeto e Estudo de Minigeração Distribuída de Energia Elétrica Fotovoltaica na Cidade de Manaus/AM - Brasil**

Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. KARDASHEV, Nikolai S. Cosmology and civilizations. Astrophysics and Space Science, v. 252, n. 1-2, p. 25-40, 1997.

MARQUES, Izabel Cristina. MICRO E MINI GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA. **Anais dos Ateliers Técnico-Científicos Doctum 2015**, v. 3, n. 1, 2016.

MARTINS, Caio Geanderson Maciel; PEREIRA, Adriano Holanda. A Conexão de Micro e Minigeração de Energia Solar Fotovoltaica Distribuída ao Sistema Elétrico da ENEL. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 5, p. 7-13, 2017.

MEDEIROS FILHOS, Álvaro Dantas de. Influência de fatores de perda na eficiência de módulos fotovoltaicos em indústrias cerâmicas. 2019.

NETO, Recieri Scarduelli; Madruga, Kátia Cilene Rodrigues; Geremias, Reginaldo. A Micro E Minigeração De Energia Fotovoltaica Distribuída Como Política Pública Para Sustentabilidade. 2016.

PEREIRA, E. B; MARTINS, F.R.; ABREU, S. L. de; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

RAMOS, Camila; RUIZ, Eduardo Tobias Neme Fernandes; BICALHO, Fábio Weikert; BARBOSA, Juliana Moraes; BARROS, Luísa Valentim; RABASSA, Marília Martins Múffalo. **Cadeia de Valor da Energia Fotovoltaica no Brasil - Sebrae**. Disponível em:

<
<http://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/estudo%20energia%20fotovolt%C3%A1tica%20-%20baixa.pdf>> Acesso em: 20 de Novembro de 2019.

RIBEIRO, José Guilherme Barbosa. **Guia de Energia solar Fotovoltaica Aplicação nas Micro e Pequenas Empresas**. 2016. Disponível em: <http://sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade_pdf> Acesso em: 20 de novembro de 2019.

RODRIGUES, Fabio Nomachi. Microgeração e minigeração de energia fotovoltaica distribuída na cidade de São Paulo: oportunidades e desafios. 2018.

SANTOS, Fabrício Almeida; SOUZA, C. A.; DALFIOR, Vanda Aparecida Oliveira. ENERGIA SOLAR: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG. Simpósio de excelência em Gestão e Tecnologia, XIII, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

ATO, Demetrius Mitsuto; LIMA, Miquéias de Souza; SANTANA, Kleber. **ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR**. 2018. Disponível em: <https://www.etcecau.com/anais-i-etcecau-2018/.pdf>> Acesso em: 20 de Novembro de 2019.

SOUZA, Ronison. **Célula Fotovoltaica – O Guia Técnico Absolutamente Completo**. 2019. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/célula-fotovoltaica-guia-completo/>> Acesso em: 20 de Novembro de 2019.

SOUZA, Ronison. **Inversor Solar Fotovoltaico: O Que É, Como Funciona e Tipos**. 2019. Disponível em: < <https://blog.bluesol.com.br/inversor-fotovoltaico-o-que-e-com-o-funciona/>> Acesso em: 20 de Novembro de 2019.