



Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Educação a Distância da UFSM – EAD

Universidade Aberta do Brasil – UAB

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos**

Polo: Vila Flores

ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO PARA SISTEMA DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL

ZANOTTO, Gilso¹

MINUSSI, Prof. João Paulo²

RESUMO

A energia fotovoltaica é uma opção muito promissora, mesmo que ainda apresente um custo elevado para sua implementação e baixa eficiência energética dos atuais painéis fotovoltaicos comerciais (em torno de 17%), quando comparada a outras fontes de geração energética (GTES, 2004). Porém, oferece vantagens por ser uma fonte de energia limpa, e a sua instalação não causa danos ao meio ambiente como em instalações de usinas hidrelétricas ou termelétricas. Este trabalho tem o objetivo de propor uma pequena central de

¹ Tecnólogo em Automatização Industrial. Universidade de Caxias do Sul, Caxias do sul, RS.

² Ph.D. em Engenharia Elétrica. Professor Orientador. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria,RS.

geração fotovoltaica não isolada para ser instalada no telhado de uma residência com alimentação monofásica afim de estudar as exigências técnicas e de custos para sua implementação, e analisar a sua viabilidade segundo o critério de eficiência energética.

Serão abordados os equipamentos que compõe o sistema, os requisitos de instalação, baseados no consumo mensal de um residência com alimentação monofásica; o dimensionamento do sistema fotovoltaico segundo a área de telhado disponível para a instalação; os parâmetros para interligação com o sistema da concessionária de distribuição de energia local, e por fim a viabilidade financeira nos termos de eficiência energética, tomando como comparação os indicadores de consumo e gastos gerados pelo sistema tradicional de alimentação residencial.

Palavras-chave: sol, célula fotovoltaica, viabilidade financeira.

ABSTRACT:

Photovoltaics is a very promising option , although still present a high cost for its implementation and low energy efficiency of existing commercial photovoltaic (around 17 %) when compared to other sources of energy generation. However, offers advantages for being a clean energy source , and its installation does not damage the environment and in plants or hydroelectric power plants . This work aims to propose a small central PV generation uninsulated to be installed on the roof of a residence with a single phase supply in order to study the technical requirements and costs for implementation , and analyze its viability according to the criteria of energy efficiency.

The equipment that makes up the system, the installation requirements, based on monthly consumption of a residence with single phase supply will be addressed; sizing the PV system according to the roof area available for installation; parameters for interconnection with the utility system of local power distribution, and finally the financial viability in terms of energy efficiency, taking as compared indicators of consumption and expenses generated by the traditional system of residential power.

Keywords: Solar photovoltaic, sun, photovoltaic cell, financial viability, residences and dealership.

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica além de estar em toda a parte é a responsável por transformar o mundo, ela proporciona que tenhamos em nossos lares equipamentos modernos que auxiliam em tarefas como cozinhar ou lavar roupas, caminhar em uma esteira. No trabalho precisamos dela para nos comunicar, para carregar nossos aparelhos de telefone celular, para movimentar linhas de produção automatizadas, etc. Ou seja, ela está presente desde as atividades mais simples até as mais complexas.

Mesmo a energia elétrica sendo de extrema importância na vida das pessoas, atualmente segundo Agência Internacional da Energia (AIE) 1,3 bilhões de pessoas não têm acesso a eletricidade. Em uma previsão futura para 2040 onde a população vai se aproximar de 9 bilhões de pessoas será necessário um aumento de 35% na geração de energia elétrica. Como ponto positivo a tecnologia oferece uma diversificação de recursos energéticos que podem ser explorados para fornecer energia de forma segura e confiável (EXXONMOBIL, 2014).

Em um sistema de geração fotovoltaica, a energia em forma de luz, que é absorvida pelos painéis, do sol e transformada diretamente em eletricidade. Estes sistemas podem ser autônomos e funcionar independentemente da rede elétrica, utilizando acumuladores para atender o consumo de energia durante o período que não está sendo gerada energia. Uma segunda opção de sistema de geração fotovoltaica são os sistemas conectados a rede da concessionária onde o excedente gerado é colocado na rede de distribuição e disponibilizado para outros consumidores.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordadas características dos principais componentes dos sistemas de geração. Os sistemas de geração fotovoltaicos podem ser classificados de acordo com sua forma de construção e conforme o objetivo de sua aplicação.

2.1 SISTEMAS ISOLADOS DE GERAÇÃO

Os sistemas de geração isolada foram os primeiros a serem instalados em aplicações para fornecimento de energia em situações onde a interligação com o

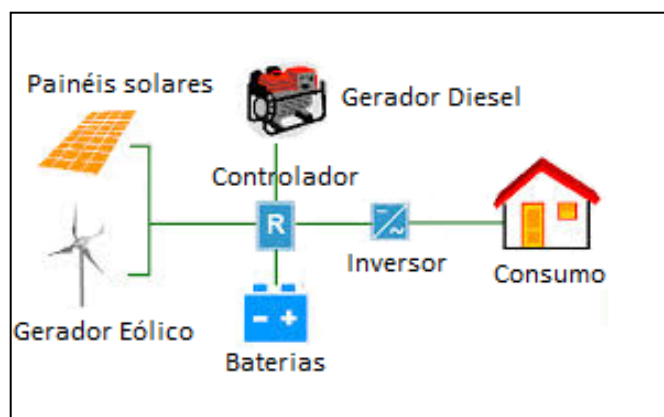
sistema de distribuição é muito difícil devido a distância, muito utilizados em estações meteorológicas, telecomunicações e de monitoramento. Nestes casos como o consumo geralmente é pequeno, os sistemas fotovoltaicos se tornam uma boa alternativa (IEA, 2010).

Os sistemas de geração isolada utilizam acumuladores para suprir o consumo durante o período em que os painéis não estão gerando energia. Eles são compostos pelos painéis de captação que recebem a luz do sol e a transformam e energia elétrica, um controlador de carga que recebe a energia elétrica dos painéis e entrega uma parte para o inversor e outra parte para as baterias para armazenamento, o controlador ainda monitora o estado das baterias para que o sistema sempre permaneça em operação, mesmo nos momentos quando não há geração. O Banco de baterias que é responsável pelo armazenamento da energia e deve ser dimensionado de forma a suprir o consumo durante o período sem geração. Finalmente temos o inversor, que converte a corrente contínua (CC) proveniente dos painéis ou das baterias em corrente alternada (CA) para alimentar as cargas ligadas ao sistemas (TORRES, 2012).

2.2 SISTEMAS HÍBRIDOS

Os sistemas híbridos são formados pela associação de outras fontes de geração ao sistema fotovoltaico para garantir a carga das baterias na ausência da luz solar. Estas fontes podem ser geradores eólicos ou geradores a combustível (TORRES, 2012).

Figura 1 - Sistema híbrido.



Fonte: (BARLOVENTORECURSOS, 2014).

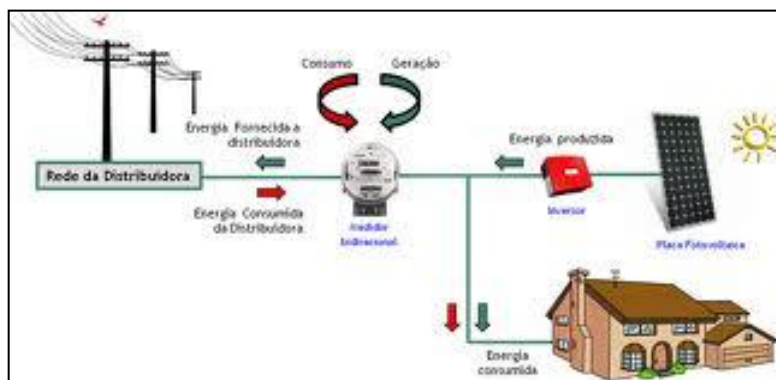
Estes sistemas geralmente são utilizados em sistemas de potência elevada, na faixa de dezenas e centenas de kWp. Devido a grande quantidade de opções e o complexidade das configurações estes sistemas devem ser projetados e estudados caso a caso (GUZZO, 2008).

2.3 SISTEMAS INTERLIGADOS À REDE

Estes sistemas utilizam uma quantidade maior de painéis e não possuem baterias, pois toda geração é entregue a rede de distribuição. Para a rede da concessionária estes sistemas de microgeração representam um complemento. Depois de gerada a energia passa pelos inversor que deve atender as exigências de qualidade e segurança para que a rede de distribuição não seja afetada (CRESESB, 2006).

A potência instalada nesse tipo de sistema é variável desde algumas centenas de kWp a pequenas centrais com cargas residenciais de alguns dezenas de kWp. Para pequenos sistemas residenciais onde a energia é colocada na rede de distribuição em baixa tensão o medidor de energia deve ser bidirecional, medindo a diferença entre a quantidade de energia gerada e consumida (GUZZO, 2008).

Figura 2 - Sistema de geração conectado a rede.



Fonte: (VIRIDIAN, 2014).

Os sistemas elétricos são compostos por etapas que são: Geração, transmissão e distribuição. Sendo que o fluxo de energia é unidirecional, ou seja, da geração até a distribuição para as unidades consumidoras. Como as unidades geradoras são de grande porte geralmente são instaladas distantes dos centros consumidores, desta maneira as linhas de transmissão fazem a ponte entre elas.

2.4 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

As células fotovoltaicas são as responsáveis por transformar a energia luminosa, em energia elétrica através do efeito fotovoltaico que foi descrito pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel. Este efeito se refere à criação de uma tensão elétrica pela exposição dessas células sensíveis à luz.

Segundo Torres, em 1839, o pesquisador Edmond Becquere observou pela primeira vez o efeito fotovoltaico em um estudo com células eletrolíticas, montadas com Cloreto de prata, uma solução acida e eletrodos de prata, que quando expostos a luz produzem uma diferença de potencial (TORRES, 2012).

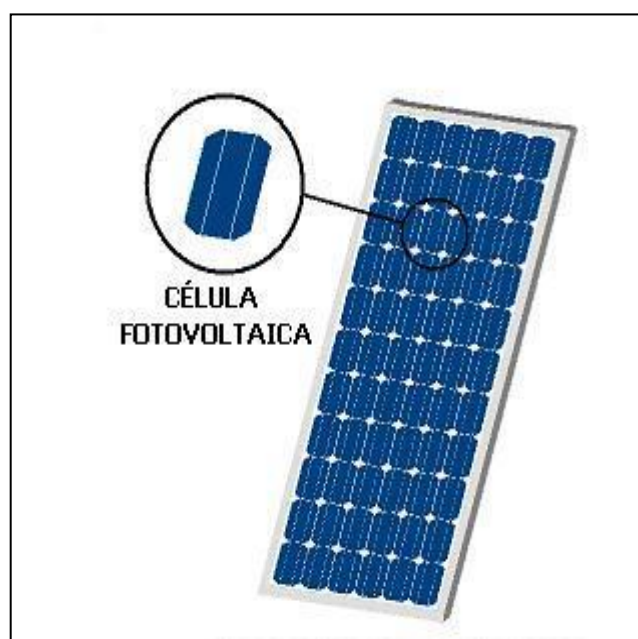
O principal material para fabricação das células de carga é o silício, cujo átomo tem 4 elétrons na última camada podendo se ligar com os átomos vizinhos. Se for adicionado um elemento cujo átomo contenha cinco elétrons na última camada ficará sobrando um elétron que com um pouco de energia térmica ele se desprenda da última camada e vai para camada de condução, estes são denominados de dopantes n ou impureza n. Se for adicionado uma impureza a um elemento com três elétrons de ligação, será ocasionada uma falta de elétrons, denominada de lacuna, sendo que com uma pequena quantidade de energia fornecida ao elétron do átomo vizinho pode se deslocar sendo interpretada como um movimento de lacuna do átomo com três elétrons na última camada para o átomo que perdeu o elétron. Esse componente adicional é denominado de dopante p.

Se for adicionado boro em uma parte de silício puro e fósforo na outra metade estaremos criando um junção pn. Nessa junção ocorre que os elétrons livres do lado n passam para o lado p para encontrar as lacunas, ficando o lado p negativamente carregado e o lado n positivamente carregado. esta situação só encontra o equilíbrio no momento em que o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres.

Se uma junção PN estiver exposta a fótons com energia maior que seu gap vai ocorrer o aparecimento de pares de elétrons-lacuna, e se isso acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero as cargas serão aceleradas gerando uma corrente através da junção e este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial que é conhecido como efeito fotovoltaico (GTES, 2004).

Para obter a tensão adequada, as células fotovoltaicas são conectadas em série para formar os módulos fotovoltaicos, o arranjo formado pode ser visto na Figura 3. Geralmente os sistemas fotovoltaicos operam em tensões próximas ao valor de 12V. A potência dos módulos podem variar de pequenas potências até mais de 300W, já existem sistemas com megawatts de potencia. As potências mais típicas são de centenas de Watts e até Kilowatts(BITTENCOURT, 2011).

Figura 3 - Painel fotovoltaico.



Fonte: (PAINEISFOTOVOLTAICOS, 2014).

2.5 CONTROLADORES DE CARGA

O controlador de carga é um componente que está presente na grande maioria dos sistemas de geração fotovoltaica, pois através dele é que o sistema pode ter sua maior eficiência em transferência de energia. Os controladores também fazem o gerenciamento de carga e descarga das baterias para que estas não sejam descarregadas demais e nem submetidas a cargas excessivas e possibilitando uma vida útil maior a bateria. Eles também podem ser denominados de "Gerenciador de Carga", "Regulador de Carga" ou "Regulador de Tensão" dependendo do nível de sofisticação do equipamento. Os controladores de carga são componentes fundamentais em sistemas de geração fotovoltaicos isolados, pois seu mau funcionamento podem causar danos irreversíveis tanto para a bateria como para a Carga(BORTOLINI, 2013).

2.6 BATERIAS

Hoje em dia as baterias tem um vasto campo de aplicações, dentre elas a mais comum é na alimentação de sistemas veiculares, alimentação de sistemas por curtos períodos de tempo (Nobreak) e no armazenamento de energia em sistemas onde a geração é intermitente como nos sistemas fotovoltaicos (BITTENCOURT, 2011).

As baterias eletroquímicas são uma importante forma de armazenamento de energia pois são capazes de transformar diretamente a energia elétrica em energia química e no sentido reverso(SEGUEL, 2009).

Células primárias: Este grupo é composto pelas baterias que são utilizadas somente uma vez, não é possível recarrega-las, após terminar sua carga elas são descartadas convenientemente.

Células secundárias: São as baterias que possibilitam recargas aumentando muito sua vida útil. São recarregadas através de fontes de corrente ou tensão, são geralmente chamadas de Acumuladores ou Baterias de Armazenamento.

2.7 INVERSORES

Este componente do sistema faz a conversão de corrente contínua (CC) em Corrente Alternada (CA), são conhecidos comercialmente como inversores CC-CA. Os inversores fazem o chaveamento da corrente contínua de modo a alternar a direção da corrente através de componentes eletrônicos que podem ser transistores de potencia, retificadores controlados de silício SCRs, (*Silicon Controlled Rectifier*) ou IGBTs (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) que são mais utilizados.

Como estes componentes trabalham com chaveamento de potências altas, é uma característica importante dissipação do mínimo de potência para evitar grandes perdas, ele deve converter a tensão de modo a gerar um nível de harmônicos dentro de parâmetros aceitáveis, em alguns casos pode-se utilizar filtros para minimizar os harmônicos gerados, e deve haver sincronismo no caso do sistema de geração fotovoltaica de energia estar interligado com a rede de distribuição.(GTES, 2004).

2.8 MEDIDORES BIDIRECIONAIS

A medição de energia em consumidores que adotam o sistema de

compensação deve ser bidirecional, ou seja, deve ser medida a quantidade de energia ativa injetada na rede e a quantidade de energia ativa consumida. A medição deve ser em registradores independentes para controle da energia consumida e produzida (SANTA MARIA, 2014).

Para a troca do medidor convencional pelo medidor bidirecional, os custos são de responsabilidade do cliente. Após a instalação a concessionária é a responsável por manter, operar e substituir o medidor em caso de necessidade(SANTA MARIA, 2014).

Para instalações em baixa tensão, a medição bidirecional pode ser realizada também por meio de dois medidores unidirecionais: um para medir a energia ativa consumida e outro para a gerada. (ANEEL, 2012).

2.9 ANÁLISE DA INCIDÊNCIA SOLAR

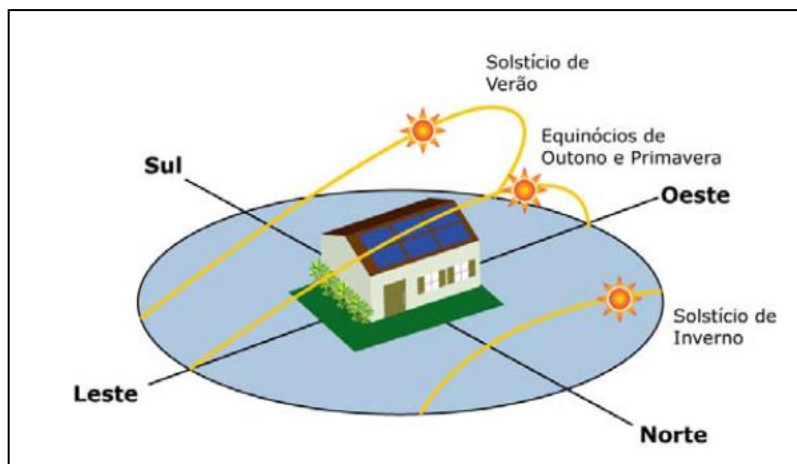
Durante o período de um ano o sol fornece aproximadamente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia, este valor corresponde a 10000 vezes o consumo mundial nesse período. Isso demonstra que além de manter a vida na terra a energia do sol é uma fonte energética inesgotável, portanto um excelente potencial para utilização em meios de conversão como térmico e elétrico(CRESESB, 2006).

O nosso planeta tem um movimento de trajetória elíptica em torno do sol durante o ano com uma inclinação de $23,5^\circ$ em relação ao plano equatorial. Essa inclinação é que dá origem as estações do ano e a uma variação na posição em que o sol nasce no horizonte por isso existe uma dificuldade de calcular a posição do sol em determinada data. A Figura 4 representa como ocorre os movimentos da terra(CRESESB, 2006).

A radiação solar que atinge a atmosfera vinda diretamente não é regular, devido a influência das camadas externas do sol, mas apesar disso é possível definir um valor médio de 1367 W/m^2 , segundo dados recentes da WMO (World Meteorological Organization) (CRESESB, 2006).

De toda energia que incide sobre as camadas superiores de atmosfera, Apenas uma fração atinge a superfície terrestre, o restante é refletido ou absorvido pela atmosfera. A parte que atinge a superfície terrestre é composta por uma fração direta que segue a direção do sol e produz sombras bem definidas e outra fração difusa que é proveniente da atmosfera(TORRES, 2012)

Figura 4 - Movimento de rotação e translação da terra.



Fonte:(TORRES, 2012).

2.10 INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO NOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A variação da intensidade luminosa que incide nos módulos fotovoltaicos causa uma variação proporcional a corrente gerada por este módulo, quanto a tensão de circuito aberto ela não é afetada, desde que ela não atinja níveis muito baixos (SEGUER, 2009).

2.11 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA

A temperatura tem grande influência no rendimento de módulos fotovoltaicos, pois a medida que a temperatura cresce a potência gerada decresce linearmente. A queda gerada é de 0,37% para cada grau centígrado de aumento de temperatura.

3. Exigências da concessionária para interligação no sistema de distribuição

Segundo RGE, desde abril de 2012 a Agencia Nacional de Energia Elétrica - ANEEL divulgou a resolução número 482, que estabelece as condições gerais para o acesso da microgeração e minigeração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica e criando o sistema de compensação de energia elétrica.

a) - Microgeração distribuída: Central geradora com potência instalada até 100KW, com sistema de geração utilizando recursos como energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração conectadas na rede de distribuição através das unidades consumidoras.

b) - Sistema de compensação de energia elétrica: No sistema de compensação a energia gerada por microgeração em unidades consumidoras é cedida por meio de empréstimo gratuito a distribuidora local, para posterior compensação por consumo na mesma unidade consumidora, ou em outra que possua mesmo cadastro de pessoa física ou pessoa jurídica.

c) - Solicitação de acesso: É um requerimento que deve ser elaborado pelo cliente e deve ser entregue a RGE e será atendido conforme ordem de protocolo.

d) - Parecer de acesso: É o documento formal apresentado pela RGE que informa as condições de acesso, que compreende a conexão, uso e os requisitos técnicos para interligação no sistema de distribuição.

Para conexão da microgeração no sistema de distribuição da RGE, o cliente precisa ter uma demanda cadastrada na RGE. A potência para microgeração interligada na rede de distribuição é limitada pela carga instalada nos casos de consumidores do grupo B³ ou pela demanda contratada nos casos de consumidores do grupo A⁴ (Alta Tensão).

Para um sistema de microgeração distribuída com potencia superior a carga instalada o cliente deverá solicitar um aumento de carga. A legislação determina que os custos gerados pela obras devido ao aumento de demanda, poderá haver

³ Grupo B: São unidades consumidoras atendidas por tensões inferiores a 2,3 KV (ANEEL, 2005);

⁴ Grupo A: São consumidores Atendidos pela rede de alta tensão, de 2,3 a 230 KV (ANEEL, 2005);

participação financeira do consumidor.

3.1 VIABILIZAÇÃO DO ACESSO

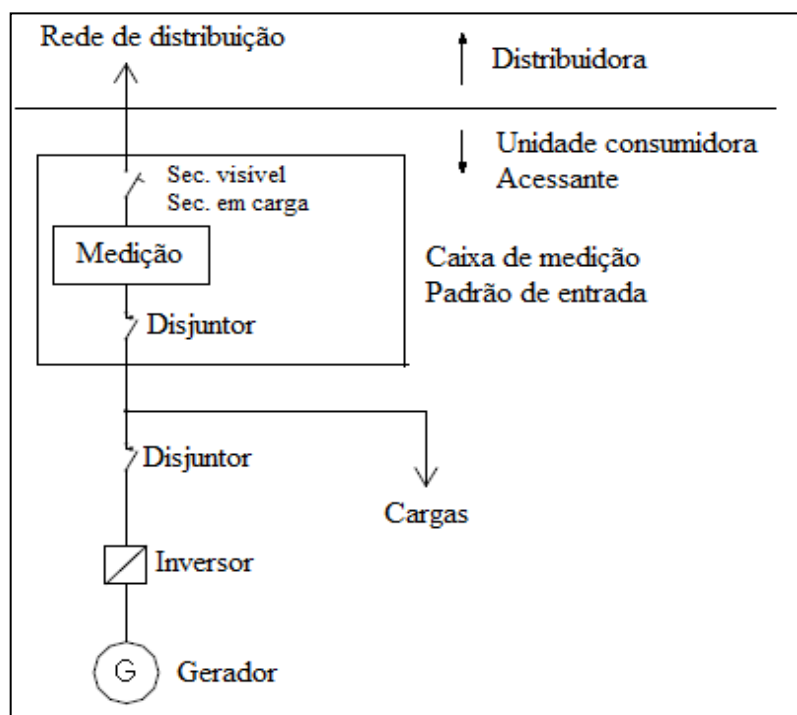
Para a viabilização do acesso de microgeração é necessária a formalização da solicitação de acesso como anteriormente indicado, e deverá ser apresentado à RGE.

O projeto das instalações de conexão deve incluir memorial descritivo, localização, arranjo físico, diagramas e ART. Esta documentação deve ser apresentada por um profissional credenciado e habilitado no CREA e cadastrado na RGE, pois ele será o responsável pelas informações prestadas que devem ser encaminhadas para a ANEEL.

Conforme norma técnica GED 15303, os requisitos técnicos para microgeração distribuída exigidos pela RGE são os seguintes:

Diagrama unifilar da central microgeradora que deve conter as funcionalidades mínimas como supervisão, controle, proteção e medição. A Figura 5 mostra um exemplo de um diagrama unifilar para uma unidade geradora.

Figura 5 - Diagrama unifilar funcional.



Fonte: (GED15303, 2013).

Para unidades geradoras conectadas a concessionária RGE em redes de

baixa tensão , deve ser fornecido as características nominais e dimensionais, fabricante, modelo certificado de ensaios normalizados, que pode ser de órgão nacional e internacional, dos seguintes dispositivos e equipamentos utilizados:

- Retificador;
- Inversor eletrônico;
- Dispositivo de seccionamento visível (DSV);
- Elemento de interrupção;

Após a entrega das informações solicitadas na norma GED 15303, conforme citadas anteriormente a concessionária irá emitir um parecer no prazo de 30 dias para os casos em que não seja necessários obras no sistema de distribuição e 90 dias para os casos onde é necessário. Objetivos

Com o desenvolvimento deste artigo, é esperado alcançar alguns objetivos que estão descritos nos itens seguintes, no que diz respeito a projeto e análise de implantação de um sistema de micro geração fotovoltaica.

4. OBJETIVO

4.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como principal objetivo realizar o projeto de uma mini usina para geração fotovoltaica para instalação residencial ligada ao sistema local de distribuição da concessionária de energia elétrica, buscando a minimização de gastos com energia elétrica pelos seus moradores.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

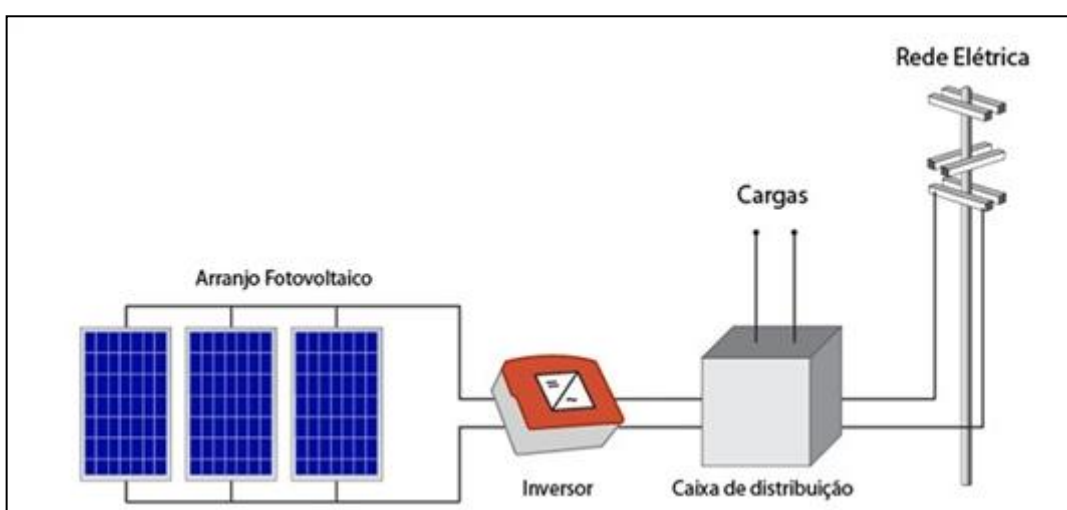
- a) Levantar os conceitos relativos ao tema energia fotovoltaica;
- b) Fornecer a fundamentação teórica sobre sistemas de captação de energia solar;
- c) Identificar os componentes utilizados para compor um sistema de geração proposto;
- d) Verificar o retorno do investimento do sistema instalado;

5. METODOLOGIA

5.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS PARA PROJETO

A proposta deste trabalho se destina a atender a demanda de uma residência de 4 pessoas com um sistema de geração fotovoltaica conectado a rede elétrica e utilizando o sistema de compensação de créditos conforme normas da ANEEL.

Figura 6 - Sistema interligado a rede elétrica.



Fonte: www.blue-sol.com

O sistema deve ser composto, conforme mostra a Figura 6, dos painéis solares instalados na cobertura da residência, interligados com um inversor de frequência para que a potência em corrente contínua gerada pelos painéis seja transformada em corrente alternada que através de um sistema de proteção estará ligada na rede da concessionária, desta maneira o excedente de geração no momento de pico dessa geração, são colocadas na rede para serem consumidas durante o período da noite.

Como parâmetros de projeto será usado o valor médio mensal de geração de 250 kWh para atender o consumo da residência. A Tabela 1 mostra o consumo durante os meses do ano de uma residência para 4 pessoas. Estes dados representam um caso real e foram retirados da conta de energia elétrica.

Tabela 1 - Tabela de consumo durante os meses do ano

| Consumo da residência durante os meses do ano (kWh) | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|----------|----------|
| Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Maior | Junho | Julho | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
| 279 | 375 | 319 | 260 | 257 | 217 | 199 | 195 | 154 | 192 | 205 | 292 |

Pela análise da Tabela 1 podemos perceber que em alguns meses do ano o consumo é muito maior que os 250 kWh, média mensal de geração escolhida, inicialmente como base. Para o trabalho passaremos a utilizar a potência média dos meses.

O dimensionamento do sistema será feito a partir dos dados mencionados acima e ainda será feito um levantamento para minimizar o consumo com o objetivo de obter um sistema auto suficiente para atender a residência.

5.2 CARACTERÍSTICAS DA RESIDÊNCIA A SER ATENDIDA

Como mencionado no objetivo geral e nos objetivos específicos a proposta do trabalho é o dimensionamento, para estudo de viabilidade financeira de implementação, de uma unidade micro geradora fotovoltaica, conectada diretamente à rede distribuída. O motivo dessa escolha é evitar a utilização de acumuladores de energia no sistema, uma vez que a experiência de aplicação de sistemas fotovoltaicos vem mostrando que os maiores custos de manutenção do sistema, se localizam exatamente na parte que envolve as baterias. Segundo Copetti (2007), muitos sistemas apresentam falhas e inclusive deixam de funcionar, sendo que grande parte deles pelo fato de que as baterias não alcançam o tempo de vida previsto de 4 anos. Alguns sistemas não funcionam após dois anos depois de sua instalação devido a perda de capacidade das baterias.

Para que um projeto de microgeração seja bem sucedido é necessário a observação criteriosa das várias configurações, o correto posicionamento dos módulos para que estes não estejam em pontos sombreados, verificar a área que estes podem ser instalados a fim de obter o melhor rendimento do sistema e proporcionando o viabilidade financeira do sistema.

Ao final, para validação do trabalho, almeja-se comparar os resultados obtidos com os parâmetros de um caso de implementação de geração fotovoltaica real, e com parâmetros aproximados com o caso aqui proposto.

5.2.1 Avaliação da irradiação solar

Para determinação da irradiação solar média mensal iremos utilizar o programa SUNDATA disponível na página do CRESESB, que além dos dados de irradiação também pode auxiliar a determinar o ângulo de instalação dos painéis (CRESESB,2006).

Para o programa determinar a localização de onde serão instalados os painéis é necessário indicar as coordenadas do local que neste caso segundo dados obtido pelo Google Maps são:

Latitude: 28,787865° S

Longitude: 51,607142° O

Em alguns casos a cidade de interesse pode não estar listada na base de dados do sistema, então é sugerido utilizar a cidade mais próxima que tenha características semelhantes ao local de interesse (CRESESB, 2014).

Como a cidade de Nova Prata não consta na lista de cidades do programa, então como sugestão é indicado as cidades mais próximas que são Bento Gonçalves, Caxias do Sul e Lagoa vermelha. Será utilizado como referencia os dados da cidade de Bento Gonçalves, pois é a cidade mais próxima dentre as cidades sugeridas. Os dados de Bento Gonçalves são:

Estação: Bento Gonçalves

Município: Bento Gonçalves, RS - BR

Latitude: 29,1° S

Longitude: 51,519166° O

Distância do ponto de ref.(28,787865° S; 51,607142° O):35,8 km

A Tabela 2 mostra os valores médios de irradiação para a cidade de Bento Gonçalves e serão utilizados para o dimensionamento do sistema .

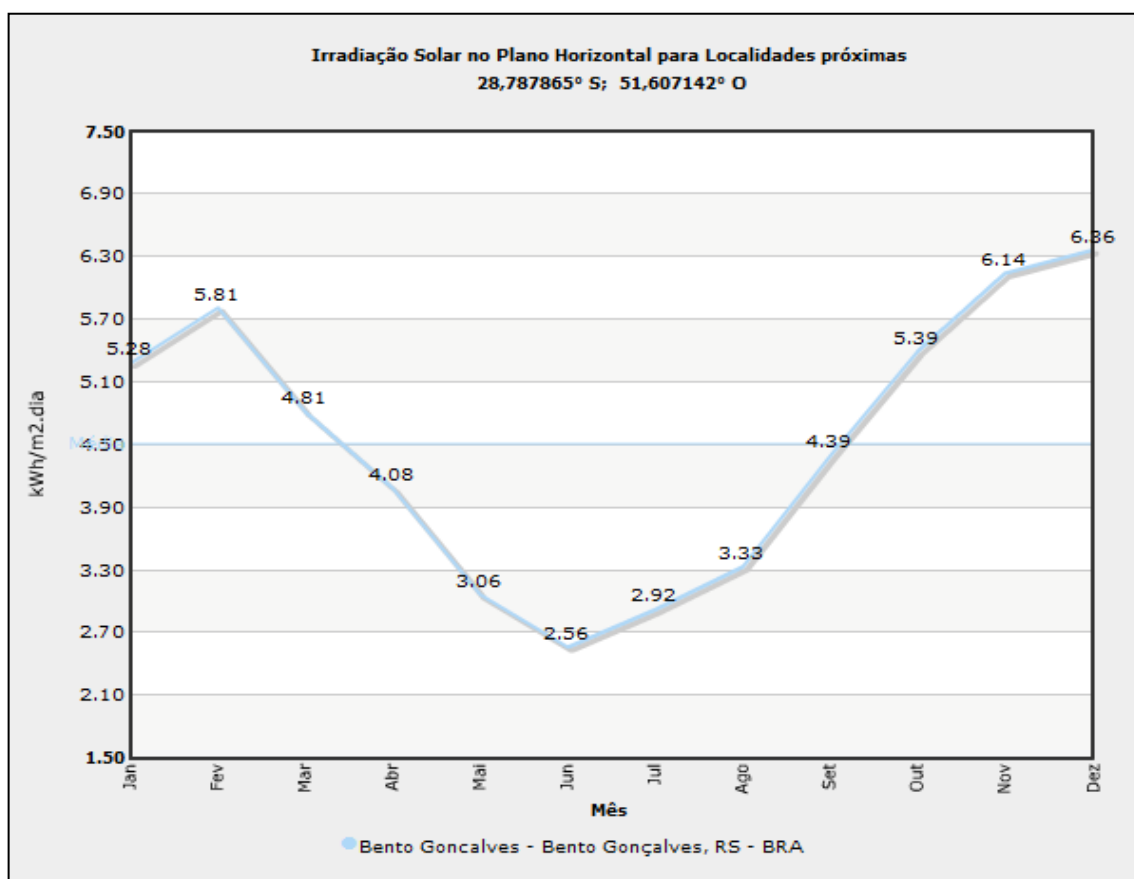
Tabela 2 - Dados de irradiação solar media de Bento Gonçalves

| Irradiação solar diária média [kWh/m2.dia] | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|------|------|-------|-------|
| Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média | Delta |
| 5,3 | 5,81 | 4,81 | 4,1 | 3,1 | 2,6 | 2,9 | 3,33 | 4,4 | 5,39 | 6,14 | 6,36 | 4,51 | 3,8 |

Fonte: www.cresesb.cepel.br/sundata

O gráfico da Figura 7 representa os dados da Tabela 2 e dá uma ideia da variação da irradiação solar durante os meses, ocasionado pelas estações do ano, para a cidade de Bento Gonçalves.

Figura 7 - Gráfico de irradiação durante o ano.



Fonte: www.cresesb.cepel.br/sundata

Estas informações são levadas em consideração para o dimensionamento do projeto. Devem ser cuidadosamente analisadas, pois se ele for dimensionado

para a maior radiação em alguns meses do ano poderão ocorrer faltas de energia já que a radiação estará muito abaixo do máximo (BORTOLINI, 2013).

O ângulo de inclinação também é um fator muito importante. A Tabela 3 apresenta dados gerados pelo programa SUNDATA para alguns valores de inclinação e os níveis de radiação nos meses do ano, assim se pode comparar a melhor opção para a escolha do arranjo fotovoltaico (BORTOLINI, 2013).

Tabela 3 - Nível de radiação pelo angulo de inclinação

| Ângulo | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia] | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|----------------------------------------------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|------|------|-------|-------|
| | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média | Delta |
| Plano Horizontal | 0° N | 5,3 | 5,81 | 4,81 | 4,1 | 3,1 | 2,6 | 2,9 | 3,33 | 4,4 | 5,39 | 6,14 | 6,36 | 4,51 | 3,8 |
| Ângulo igual a latitude | 29° N | 4,7 | 5,55 | 5,06 | 4,9 | 4,1 | 3,6 | 4,1 | 4,13 | 4,8 | 5,31 | 5,55 | 5,54 | 4,78 | 1,95 |
| Maior média anual | 24° N | 4,9 | 5,66 | 5,09 | 4,8 | 4 | 3,5 | 3,9 | 4,04 | 4,8 | 5,39 | 5,72 | 5,75 | 4,79 | 2,28 |
| Maior mínimo mensal | 49° N | 3,9 | 4,8 | 4,69 | 4,9 | 4,3 | 3,9 | 4,4 | 4,22 | 4,6 | 4,7 | 4,62 | 4,49 | 4,47 | 1 |

Fonte: www.cresesb.cepel.br/sundata

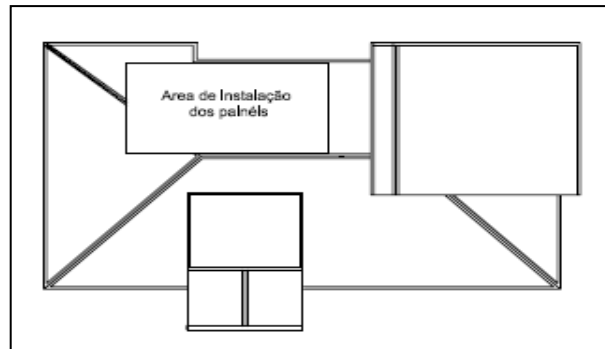
5.2.2 Área de instalação

A eficiência do sistema depende de fatores como o bom posicionamento dos painéis quanto a orientação e inclinação, e a ocorrência de sombreamentos na área onde estão instalados os coletores (TORRES, 2012).

Este trabalho considera o dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaica para uma residência de 4 pessoas com área construída de 160m² e com um consumo médio mensal de 250kWh/mês. A escolha desse valor ocorreu a partir do valor médio obtido em pesquisa informal do autor com consumidores conhecidos e cujo status da área da residência, bem como do número de moradores, se aproxima da proposta do trabalho.

Conforme mostrado nas Tabela 3 a orientação dos painéis coletores deve ser na direção norte, então devem ser posicionados conforme Figura 8 e sobre o telhado da residência em questão, evitando sombreamento.

Figura 8 - Layout do telhado e área de instalação.



A instalação dos módulos pode ser feita de duas maneiras. Uma delas é a forma aditiva onde os módulos são fixados sobre o telhado utilizando uma estrutura metálica para este fim. A outra maneira é a integrada onde os componentes do telhado que são substituídos pelos painéis solares e estes fazem o papel de isolamento térmico e proteção (TORRES,2012).

Para o projeto em questão vamos considerar que a residência já está construída e já possui a cobertura com telhas então os painéis serão instalados sobre a cobertura através de uma estrutura metálica.

5.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

5.3.1 Dimensionamento dos painéis

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos, é necessário uma análise dos dados do item 6.2.1, onde eles apresentam as características da insolação e a partir disso é possível a escolha dos painéis de acordo com fatores como vida útil, confiabilidade e custo. Apenas é necessário o cálculo do número de painéis que precisam ser utilizados (GTES, 2004).

Para a determinação do ângulo de inclinação do arranjo de painéis, é necessário a análise da Tabela 3 no item 6.2.1, para escolher o maior rendimento a sol pleno. Deve-se levar em conta que o ângulo geralmente não deve ser inferior a 10°, para favorecer a auto limpeza dos módulos. Quando os painéis forem instalados em locais com muita poeira, uma limpeza deve ser programada regularmente, pois

ela pode influenciar na captação da luz solar e no rendimento dos painéis (GTES, 2004).

Como a área disponível para instalação dos painéis, no lado norte e sem obstrução, é bastante limitada então faremos o dimensionamento a partir da área disponível que conforme Figura 8. As dimensões disponíveis são:

Largura: 7,15 m

Profundidade: 3,78 m

Com essas medidas temos uma área útil de 27m² para instalação dos painéis.

Analisando as características dos painéis disponíveis no mercado, foram selecionados os de modelo KD205 GX-LP da marca Kyocera conforme Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Especificação dos painéis.

| | | |
|-----------------------------|---------------|------|
| Marca | Kyocera | |
| Modelo | KD205 GX-LP | |
| Máxima potência | 205 | W |
| Tolerância | +5/-5 | % |
| Máxima tensão do sistema | 600 | V |
| Tensão de máxima potencia | 26.6 | V |
| Corrente de máxima potência | 7,71 | A |
| Tensão de circuito aberto | 33.2 | V |
| Corrente de curto circuito | 8,36 | A |
| Altura | 1500 | mm |
| Largura | 990 | mm |
| Espessura | 36 | mm |
| Peso | 18,5 KG | kg |
| Garantia | 20 | Anos |
| Cor da moldura | Bronze | |
| Tipo de Conexão | Cabo conector | |

Fonte: www.kyocera.com.br

Conforme mostrado, a área dos painéis é de aproximadamente 1,5 m², então podemos posicionar estes em duas fileiras de 7 painéis, totalizando 14 painéis ligados em paralelo. Conforme visto anteriormente vamos considerar uma eficiência de 18% e com os dados de irradiação solar para Nova Prata temos uma simulação de geração conforme Tabela 5, abaixo.

Tabela 5 - Estimativa de geração fotovoltaica.

| Mês | Irradiação Global kWh/m ² /dia | Área instalada m ² | Pot. gerada kWh/mês |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Janeiro | 6,78 | 18 | 659,01 |
| Fevereiro | 5,91 | 18 | 574,45 |
| Março | 5,26 | 18 | 511,27 |
| Abril | 4,07 | 18 | 395,60 |
| Mai | 3,21 | 18 | 312,01 |
| Junho | 2,98 | 18 | 289,65 |
| Julho | 3,02 | 18 | 293,54 |
| Agosto | 3,87 | 18 | 376,16 |
| Setembro | 4,44 | 18 | 431,56 |
| Outubro | 5,44 | 18 | 528,76 |
| Novembro | 6,56 | 18 | 637,63 |
| Dezembro | 6,7 | 18 | 651,24 |
| Média de potência mensal gerada (kWh/mês) | | | 471,74 |

Conforme simulação o sistema poderia produzir energia suficiente para atender a residência, porem foi considerado que teríamos sol nos 30 dias do mês, para compensar este fato vamos reduzir a potencia simulada para 60%. Teríamos uma valor de 282 kW/h, que, mesmo assim, atenderia a necessidade da residência.

5.3.2 Dimensionamento do inversor

Segundo GTES, os parâmetros básicos que devem ser levados em conta para o dimensionamento do inversor, são:

- Tensão de entrada;
- Potencia nominal;
- Eficiência;
- Fator de potência;
- Taxa de utilização;
- Frequência de saída;
- Distorção;
- Proteções;
- Modularidade.

Para atender as necessidades foi selecionado um inversor da marca SMA com as características mostradas na Tabela 6, abaixo

Tabela 6 - Especificação do inversor.

| Especificações do inversor escolhido | |
|---------------------------------------------|-----------------|
| Faixa de Potência Inversor Grid-Tie | de 2,0 a 5,0 kW |
| Potência Máxima CA (VA) | 3000 |
| Voltagem Mínima CC (V) | 125 |
| Voltagem de Inicialização CC (V) | 150 |
| Voltagem Máxima CC (V) | 750 |
| Corrente Máxima CC (A) | 12 |
| Voltagem Nominal de saída (CA) | 180 - 280 V |
| Frequência (Hz) | 60 |
| Eficiência Máxima (%) | 96 |

Fonte: www.neosolar.com.br

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para um sistema de geração fotovoltaico, conectado a rede e obedecendo as orientações técnicas e de simulações apresentadas no trabalho são suficientes para tornar a residência proposta auto sustentável com relação a energia elétrica demandada e a disponibilidade da área requerida para os painéis.

Tabela 7 - custos de implantação.

| Custos para instalação do sistema | | | |
|-----------------------------------------|-------|---------------|---------------|
| Descrição | Quant | Valor Unit | Valor Total |
| Painel Solar Fotovoltaico KD205 GX-LP | 18 | R\$ 899,00 | R\$ 16.182,00 |
| Inversor SMA Sunny Boy SB 3000TL-21 | 1 | R\$ 10.490,00 | R\$ 10.490,00 |
| Materiais e mão de obra para instalação | 1 | R\$ 8.000,00 | R\$ 8.000,00 |
| Valor total de implantação | | | R\$ 34.672,00 |

Para um cálculo de retorno de investimento vamos considerar uma economia de R\$ 115,00, esse valor é o da conta de energia da residência em questão. Então pelo método de payback simples temos:

$$Tempo = \frac{R\$34672,00}{R\$115,00} = 301,5 \text{ Meses} \quad (1)$$

Porem devido ao alto custo dos componentes o valor para implantação ainda é grande e se levarmos em conta somente o benefício financeiro o retorno deste investimento conforme equação 1 fica em torno de 25 anos o que inviabiliza o projeto. Porém os sistemas de geração distribuídos tem benefícios ao meio ambiente muito maiores.

7. CONCLUSÃO: OBSERVAÇÕES FINAIS

1 - O tema de geração de energia fotovoltaica está com bastante foco atualmente em virtude da necessidade de se obter uma fonte de geração alternativa e que minimize os impactos ambientais, desta maneira a energia fotovoltaica é uma excelente alternativa pois não gera nenhum impacto ambiental.

2 - A conexão do sistema de micro geração na rede da concessionária ficou demonstrado ser uma alternativa atraente, uma vez que no nosso estudo não seriam utilizados acumuladores, que são os componentes com maior necessidade de manutenção.

3 - Durante o período de geração a energia que não é consumida é colocada na rede de distribuição da concessionária, e no período em que o sistema não estiver gerando a concessionária irá fornecer a energia para a residência, desta maneira pelo sistema de compensação de créditos, a rede de distribuição da concessionária será funcionar como um acumulador para o sistema.

4 - Devido ao alto custo de implantação do sistema fotovoltaico ele ainda não é financeiramente viável, mas ele é uma excelente alternativa para geração de energia limpa.

8. REFERÊNCIAS

CRESESB Tutorial. **Energia Solar – Princípios e Aplicações**. CEPEL - CRESESB, 2006.

EXXONMOBIL . **Panorama Energético: Perspectivas para 2040**. 2014

TORRES, Regina Célia. **Energia solar como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica. São Paulo, SP: [s.n.], 2012.

GUZZO, Rodrigo Costa. **Projeto básico de um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica**. Projeto de graduação -Universidade do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Elétrica. Vitória, ES: [s.n.], 2008.

GTES (Grupo de Trabalho de Energia Solar). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2004.

BITTENCOURT, Felipe Tozzi. **Estudo comparativo do aproveitamento da energia solar fotovoltaica em relação à rede de distribuição na eletrificação rural do estado de Tocantins**. Projeto Pós-Graduação, Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG: 2011.

SEGUEL, Julio Igor Lópes. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle Digital**. Projeto Pós-Graduação, Universidade Federal de Minas Gerais, MG: 2009.

BORTOLINI, Júlio .**Análise de viabilidade técnica \Financeira de um sistema fotovoltaico alimentando um sistema de iluminação**. Projeto de graduação - Universidade de Caxias do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica. Bento Gonçalves, RS: [s.n.], 2013.

ANNEE. **Tarifas de Fornecimento de Energia Elétrica**. Cadernos Temáticos ANEEL. Brasília, DF: Aneel, 2005.

CRESESB. Disponível em:<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php#sundata>, acesso em novembro 2014.

NEOSOLAR. Disponível em:<http://www.neosolar.com.br>, acesso em novembro 2014.

KYOCERA. Disponível em:<http://www.kyocera.com.br>, acesso em novembro 2014.

COPETTI, Jaqueline Biacon; MACAGNAN, Mario Henrique. **Baterias em sistemas solares fotovoltaicos**. I CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza, 2007.

GED15303. **Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Norma Técnica.CPFL 2013.

SANTA MARIA. Procedimentos para conexão de microgeração e minigeração distribuída ao sistema elétrico da Santa Maria. Disponível em: http://www.elfsm.com.br/wp-content/uploads/2012/12/norma_mini_microgeracao_distribuida_ELFSM.pdf Acesso em Novembro de 2014.

ANEEL. Retificação da Seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição. Brasília, DF: Aneel, 2012.

PAINESFOTOVOLTAICOS. Disponível em:<http://www.painisfotovoltaicos.com>, acesso em novembro 2014.

<http://www.iea.org/>

IEA. Disponível em: <http://www.iea.org/>, acesso em novembro 2014.

VIRIDIAN. Disponível em:<http://www.viridian.com.br>, acesso em novembro 2014.

BARLOVENTORECURSOS. Disponível em:<http://www.barloventorecursos.com>, acesso em novembro 2014.