MICROGERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM RESIDÊNCIAS E SUAS APLICAÇÕES

Leandro Faroni de Oliveira

Projeto de Graduação

MICROGERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM RESIDÊNCIAS E SUAS APLICAÇÕES

Aluno(s): Leandro Faroni de Oliveira

Orientador(es): Mauro Schwanke da Silva

Trabalho apresentado com requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Agradecimentos

A meus pais, que sem os esforços deles nada disso seria possível, aos meus avós, minha irmã e a toda minha família que sempre me deu apoio a minhas decisões.

A minha namorada Caroline, por estar sempre do meu lado me dando apoio sempre que precisei.

Agradeço também ao meu orientador Mauro Schwanke, sempre estando disponível para me ajudar e tirar dúvidas.

Também agradeço meus colegas e amigos por me ajudarem e incentivarem nas matérias e continuação do curso.

Resumo

O projeto tem como objetivo exemplificar as condições, os equipamentos e normas necessárias para a instalação de um microgerador de energia solar residencial, observando também seu retorno financeiro e verificando a viabilidade do projeto.

Palavras-chave: Microgerador; Energia solar; Pannel fotovoltaico; LIGHT

Solar Energy microgeneration at home and yours applications

Abstract

The project has the objective to explain the conditions, equipments and laws that is necessary to the installation of a solar energy micro-generator, watching the financial return and checking the availability of the project.

Keywords: Micro-generator; Solar energy; Photovoltaic panel; LIGHT

Sumário

1. Introdução	7
2. Desenvolvimento.....	8
a. Matriz energética no Brasil	8
b. Tipos de geração distribuída:	9
c. Resolução Normativa 482 (ANEEL).....	15
d. Paineis Fotovoltaicos	17
e. Projeto e instalação de um sistema fotovoltaico	18
f. Procedimentos de conexão com a concessionária	27
g. Critérios e padrões técnicos	28
h. Viabilidade econômica do projeto	33
i. Retorno financeiro da microgeração.....	37
3. Conclusão	40
4. Referências	41

Lista de figuras

Figura 1 – Matriz Energética do Brasil 2014 [1]	8
Figura 2 - Componentes de uma turbina eólica [2].....	9
Figura 3 - Roteiro de conversão da biomassa em energia [6].....	10
Figura 4 - Demonstração genérica de uma PCH [7]	11
Figura 5 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica [8]	12
Figura 6 - Conjunto de módulos fotovoltaicos[8].....	13
Figura 7 - Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica [8]	17
Figura 8 - Funcionamento do programa SunData [11].....	18
Figura 9 - Placa solar sempre colocada apontada pro norte [9]	18
Figura 10 – Ferramenta “solar pathfinder”	19
Figura 11 - Estrutura para colocação das placas fotovoltaicas [9].....	20
Figura 12 - Placas colocadas sobre a estrutura [9].....	20
Figura 13 - Placas fotovoltaicas com instalação fixa e com tracking [9]	21
Figura 14 - Como dimensionar o projeto [9]	22
Figura 15 - Gráfico corrente X tensão [9]	22
Figura 16 - micro-inversor [9].....	23
Figura 17 - Inversor string	23
Figura 18 - Ligação do inversor no sistema [9].....	24
Figura 19 - Inversor com monitoramento remoto [9].....	24
Figura 20 - Software de monitoramento do inversor [9]	25
Figura 21 - Medidor bidirecional [9].....	26
Figura 22 – Etapas do procedimento para conexão a concessionária [9].....	27
Figura 23 - Categoria de conexão em função da potência [13]	28
Figura 24 - Forma de conexão do acessante (através do inversor) à rede de BT da LIGHT SESA [13].....	29
Figura 25 - Requisitos de proteção [13]	30
Figura 26 - Respostas às condições anormais de tensão em geradores [13].....	30
Figura 27 - Curva de operação do sistema de geração em função da frequência da rede para a desconexão por sobre/subfrequência [13]	31
Figura 28 - Análise do projetista [9]	33
Figura 29 - Projetando no RetScreen [14].....	34
Figura 30 - Completando a planilha no RetScreen [14].....	35
Figura 31 - Completando os dados no RetScreen [14].....	35
Figura 32 - Inserindo dados técnicos e o valor do investimento do projeto [14]	35
Figura 33 - Inserindo o custo de manutenção e inflação esperada [14]	36
Figura 34 - Fluxo de caixa pelo tempo de vida útil do projeto [14]	36
Figura 35 - Cálculo pela normativa 482 [15]	37
Figura 36 - sistema de compensação de um microgerador [15].....	38
Figura 37 – Cálculo conforme o convênio de ICMS 6 [15]	38
Figura 38 - Retorno financeiro na prática [15]	39
Figura 39 - Retorno financeiro prático [15].....	39

1. Introdução

Este projeto consiste em viabilizar a microgeração residencial de energia solar com o objetivo de diminuir a conta de luz desta residência injetando a energia gerada na rede da distribuidora, isto é quando se gera energia durante o dia em sua residência, o excedente será injetado na rede da sua distribuidora, assim de certa forma compensando o consumo noturno da casa, visto que energia solar é gerada apenas a tarde.

Será abordado o que é necessário para fazer a instalação do sistema de geração de energia solar residencial, tais como equipamentos, localização para a colocação das placas fotovoltaicas, influencia da incidência solar para o planejamento do projeto.

Análise de condições e requisitos que a concessionária LIGHT impõe para a conexão do sistema de geração de energia na rede elétrica dela. Observando se é possível, além do tempo necessário para resolução da burocracia e conexão do seu sistema, também analisando a resolução normativa da ANEEL que permite a microgeração residencial.

2. Desenvolvimento

Inicialmente iremos abordar tópicos sobre a microgeração de energia solar residencial e sua viabilização, visto que este ano vivemos uma crise em relação a água, o que acarretou em um aumento das tarifas para o consumo, este projeto surge como uma alternativa para geração e assim uma possível economia no final do mês.

a. Matriz energética no Brasil

Antes de abordar o assunto de microgeração, um tópico importante de se entender é a matriz energética brasileira, pois assim podemos observar quais são as principais fontes de energia do país e assim identificar onde precisa ou pode ser melhorado, além de observar a dependência de determinada fonte de energia.

Figura 1 – Matriz Energética do Brasil 2014 [1]

Como podemos observar acima, cerca de 67% da potência elétrica instalada no Brasil vem de hidrelétricas e torna o país muito dependente da água das chuvas, por isso uma microgeração solar em residência seria uma boa alternativa para contribuição na rede da distribuidora, tanto para a utilização do morador, caso comecem a aderir o projeto.

b. Tipos de geração distribuída:

Geração pode ser através de qualquer tipo de fonte de energia ou tecnologia, porém como este projeto é em função da microgeração, apenas algumas fontes renováveis serão apresentadas abaixo.

1. Energia Eólica

Consiste na transformação da energia do vento em energia útil, neste caso em energia elétrica, a geração é feita através de turbinas que produzem um campo magnético de acordo com a rotação das hélices (pás), que através de um gerador produzem energia elétrica. A energia eólica pode ser considerada uma das mais promissoras fontes naturais de energia. A utilização dessa fonte para geração de eletricidade, em escala comercial, começou na década de 1970, quando se acentuou a crise internacional de petróleo. [3]

Essa energia há milhares de anos é utilizada em moinhos de vento para moagem de cereais, também para bombeamento de água. Nos últimos 10 anos a geração de energia eólica no mundo aumentou cerca de 1000%

Atualmente o Brasil possui 181 usinas instaladas com capacidade total de 4,6 GW o que equivale a 3% da capacidade de geração de energia do país. [1]

Figura 2 - Componentes de uma turbina eólica [2]

1-fundação 2- conector a rede elétrica, 3-torre, 4-escada, 5-controle de orientação (yaw control), 6-Nacelle, 7-gerador, 8-anemômetro, 9-freio elétrico ou mecânico, 10-caixa de velocidades, 11-lâmina, 12- controle de orientação (pitch control), 13-roda.

2. Biomassa

Atualmente vem sendo bastante utilizada na geração de energia elétrica, principalmente em sistemas de cogeração e no fornecimento de energia elétrica para demandas isoladas da rede elétrica. Pode ser considerada biomassa todo recurso que provém de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) tendo por objetivo principal a produção de energia.

No Brasil, existe ainda muito resíduo proveniente da atividade florestal sendo desperdiçado, podendo, se bem utilizado, significar um aumento na geração de energia principalmente para comunidades que não são beneficiadas pelo sistema de eletricidade nacional. [4]

Algumas vantagens da biomassa são o baixo custo, alta eficiência energética, sendo renovável permite o reaproveitamento de resíduos e é bem menos poluente que outras fontes de energia, como por exemplo, o carvão e o petróleo, também auxiliando na diminuição do CO₂ na atmosfera, tem facilidade no armazenamento e no transporte.

Porém seu uso sem o devido planejamento pode ocasionar a formação de grandes áreas desmatadas pelo corte incontrolado de árvores, perda dos nutrientes do solo, erosões e emissão excessiva de gases.

Trata-se da energia que é gerada por meio da decomposição de materiais orgânicos, alguns tipos de biomassa utilizados são o bagaço da cana-de-açúcar, sobras de serragem, vegetais e frutas, papelão, papéis.

A bioenergia pode ser convertida em três produtos: combustível, calor e eletricidade. [5]

Figura 3 - Roteiro de conversão da biomassa em energia [6]

3. Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)

De acordo com a resolução nº 394 – 04-12-2008 da ANEEL, PCH é toda usina hidrelétrica com uma área do reservatório de no máximo 3 km², cuja capacidade instalada seja superior a 1MW e inferior a 30 MW.

Uma PCH típica opera a fio d'água, o reservatório não permite a regularização do fluxo d'água, assim, em época de estiagem a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas.

Esse é um dos motivos que a energia gerada por uma PCH é mais cara que uma gerada por uma hidrelétrica de grande porte, onde o reservatório pode ser operado de forma a reduzir o desperdício de água.

Este tipo de hidrelétrica é utilizada principalmente em rios de pequenos e médios portes que possuam desníveis consideráveis durante seu percurso, tendo força suficiente para movimentar as turbinas.

Um dos benefícios da PCH para o meio ambiente é que recompõe e mantém a salvo a mata ciliar, podem contribuir e não apenas para evitar a erosão local, mas o transporte de sedimentos, detritos e agrotóxicos e assim o assoreamento de cada calha do rio.

As resoluções elaboradas pela ANEEL permitem que a energia gerada pelas PCH's entre no sistema de eletrificação sem que o empreendedor pague taxas pelo uso da rede de transmissão e distribuição, valendo apenas para quem entrou em operação até 2003. [7]

Figura 4 - Demonstração genérica de uma PCH [7]

4. Energia Solar Fotovoltaica

O cenário energético para demanda de energia mundial nos próximos 50 anos, conforme estudos realizados pelo United Nations Solar Energy Group for Environment and Development (Unseged), mostra que a participação das energias solar e eólica será superior a 30% na demanda global em 2050.

O incremento da geração de energia solar sem armazenamento deverá ser facilitado pela aplicação de sistemas avançados de geração com turbina a gás. Esses sistemas serão caracterizados por baixo custo, alta eficiência termodinâmica e flexibilidade na variação da energia de saída.

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida com a conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico), onde a célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão.

Figura 5 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica [8]

Painel solar é o conjunto de células fotovoltaicas interligadas e dispostas em uma estrutura de sustentação que utiliza materiais comuns, devendo possibilitar o agrupamento e interligação dos elementos de forma simples. O arranjo pode dispor de equipamento para orientação do painel conforme o movimento do Sol.

Figura 6 - Conjunto de módulos fotovoltaicos[8]

Apesar de sua simplicidade de instalação e baixo custo de manutenção, as células fotovoltaicas têm uma baixa eficiência, embora venha aumentando com o passar do tempo, com inovações. Pode-se também utilizar de algumas estratégias para aumentar a eficiência.

Estratégias para solucionar problemas de limitação na eficiência:

- luz que é refletida, ou perdida, pela superfície da célula pode ser minimizada por meio de tratamento da superfície;
- a perda de luz que é refletida por contatos elétricos na parte frontal da célula pode ser minimizada com a utilização de contatos elétricos transparentes;
- a resistência elétrica no interior do semicondutor pode ser minimizada durante a etapa de projeto. [8]

100%	Radiação solar na célula
-2,5%	Reflexão e sombreamento por contatos
-20%	Energia insuficiente de fótons (ondas longas)
-30%	Energia excessiva (ondas curtas)
-15%	Recombinação (aumenta com temperatura!)
-10%	Gradiente do potencial elétrico
-6%	Curva característica
-0,5%	Perda resistiva (calor na condução)

16% Energia útil

aprox. 80% vira calor

Porém ainda não é visível um forte investimento em energia solar no Brasil, embora esteja aumentando o interesse neste tipo geração, com essa crise de falta de água no país, está longe de ser a principal fonte de geração no Brasil. Ainda tem um custo final de energia muito alto, deve-se ao fato de termos Sol apenas na metade do dia, e equipamentos que convertem energia solar em eletricidade e armazenam a energia produzida terem preços muito elevados. O que faz com que parte da população opte por meios de eficiência energética ao invés de investir na geração de energia elétrica solar.

Embora com a criação da resolução normativa 482 da ANEEL, o interesse pela geração de energia solar aumentou, devido aos aumentos na conta de luz do cidadão brasileiro, devido escassez de água, lembrando que hidrelétricas são as maiores fontes de energia elétrica no país.

Tal resolução despertou o interesse na microgeração residencial de energia, e a energia solar é uma fonte viável para todos, pois os raios solares chegam a qualquer residência, e placas fotovoltaicas são de fácil instalação.

c. Resolução Normativa 482 (ANEEL)

No dia 17 de abril de 2012, a agência nacional de energia elétrica criou esta resolução que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e das outras providências, ou seja, consumidores de energia puderam a partir desta data também serem geradores de energia.

1. Disposição preliminar:

De acordo com esta resolução pode ser considerada microgeração distribuída a central geradora de energia elétrica, cuja utilize fonte com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, com potência instalada de até 100 kW.

Minigeração é considerada acima de 100 kW até 1 MW, também conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Estabelecendo as condições de acesso a rede de distribuição, assim como pela compensação da energia gerada injetada na rede, como seria medida e responsabilidade por danos no sistema elétrico.

2. Condição de acesso ao sistema de distribuição:

As distribuidoras ganharam um prazo de 240 dias para adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar de microgeração e minigeração distribuída, utilizando como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), as normas brasileiras e publicar em seu endereço eletrônico.

Para o microgerador ou minigerador distribuído que aderir ao sistema de compensação de energia elétrica da distribuidora não é necessária assinatura dos contratos de conexão e uso. Sendo suficiente a celebração de Acordo Operativo para os minigeradores ou do Relacionamento Operacional para os microgeradores com objetivo de formalizar os procedimentos para a conexão na rede elétrica da distribuidora.

A potência máxima será limitada pela carga instalada, ou pela demanda contratada. Caso deseje instalar a microgeração ou minigeração distribuída com potência maior que a permitida, deverá ser realizada uma solicitação de aumento de carga instalada ou aumento na demanda contratada.

A distribuidora deverá arcar com todos os gastos para uma eventual ampliação ou reforço no sistema de distribuição em função exclusivamente desta conexão participante do sistema de compensação.

3. O sistema compensação de energia elétrica:

Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema pelo consumidor será cedida como um empréstimo gratuito a distribuidora, deste modo o consumidor terá um crédito em quantidade de energia ativa para ser consumida em um prazo de até 36 meses.

Este sistema de compensação aumenta a eficiência e diminui o custo do sistema de geração residencial, visto que o consumidor pode injetar o excedente na rede da distribuidora, não é necessário o uso de baterias para utilizar a energia quando o gerador não está funcionando, por exemplo, no gerador solar quando está sem sol, o mesmo pode ser utilizado, pois a energia injetada na rede vem posteriormente como crédito na conta de luz.

Ressaltando que se o montante de energia ativa não for compensado na própria unidade consumidora, poderá ser compensada em alguma outra unidade previamente cadastrada para esse fim e atendida pela mesma distribuidora cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação, possuindo mesmo CPF ou CNPJ.

Na fatura deverá vir o saldo positivo da energia ativa e também o total de créditos que se expirarão no próximo ciclo. A energia consumida tem valor monetário maior que a energia ativa injetada, pois a energia consumida tem a incidência do ICMS e a injetada é livre do imposto creditada na tarifa.

4. Medição da energia elétrica:

O gasto necessário para adequar o sistema de medição necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica é de responsabilidade do consumidor, que seria o valor da diferença entre o medidor convencional utilizado em unidades consumidoras de mesmo nível de tensão e o custo dos componentes do sistema de medição requerido para o sistema de compensação.

O sistema padrão é unidirecional, e o sistema para compensação é o bidirecional, responsável por medir tanto a energia elétrica injetada na rede pelo consumidor, quanto a energia que entra na unidade consumidora.

Após a instalação do sistema, fica em responsabilidade da distribuidora, a manutenção e uma eventual troca do mesmo, sendo a distribuidora a arcar com os custos necessários.

A distribuidora terá prazos para a adequação do sistema conforme já fora definido antes desta norma, e iniciar o sistema de compensação assim que for aprovado o ponto de conexão. [10]

d. Paineis Fotovoltaicos

Antes de apresentar um projeto e instalação do sistema fotovoltaico, uma análise do que é o painel fotovoltaico e seus tipos serão analisados.

Um painel (módulo) é um conjunto de células fotovoltaicas conectadas em série ou em paralelo para produzir as tensões e correntes desejadas. Um módulo pode converter cerca de 10% da radiação disponível em energia elétrica utilizável. Conforme maior a incidência solar sobre o painel terá mais eletricidade gerada.

Os Módulos fotovoltaicos de filme fino e cristalino degradam ao longo do tempo, a maioria dos módulos é garantida pelo fabricante para produção 90% de sua potência de pico mínima em 10 anos e 80% de 20 a 25 anos, onde a tolerância deve ser considerada na garantia de potência.

A respeito de configurações, os sistemas podem ser: isolado (autônomo), híbrido e conectado a rede elétrica.

Como o objetivo deste projeto é analisar a microgeração residencial e sua injeção na rede elétrica, veremos apenas a configuração do sistema conectado a rede elétrica.

Como visto anteriormente com a normativa 482 que permite a injeção da energia gerada na rede elétrica, essa configuração utiliza um número de painéis fotovoltaicos e não precisa de armazenamento da energia, onde todo o arranjo é ligado em inversores e em seguida, guiado diretamente na rede. Se houver interrupção de energia na rede, o sistema fotovoltaico é desligado por medidas de segurança, evitando uma energização de uma rede em manutenção. [8]

Figura 7 - Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica [8]

e. Projeto e instalação de um sistema fotovoltaico

Além das condições atmosféricas, a disponibilidade de radiação solar, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). O programa SunData destina-se ao cálculo da radiação diária média mensal em qualquer ponto do território nacional, e é uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaico, este programa tem sua disponibilidade na internet. [11]

Figura 8 - Funcionamento do programa SunData [11]

No entanto, a colocação da placa fotovoltaica no telhado da residência é aconselhável que seja sempre apontada para o norte, conforme a figura abaixo:

Figura 9 - Placa solar sempre colocada apontada pro norte [9]

Para a instalação do sistema é necessária uma verificação inicial, onde temos que observar obstáculos á luz solar incidente sobre o local de instalação dos módulos. Também a disposição do arranjo fotovoltaico, pois alguns centímetros de diferença na localização causam uma significativa mudança na incidência anual de radiação solar, assim faz com que a energia gerada pelo sistema possa não ser o que de fato era esperado. A ferramenta utilizada para determinar a localização de maior insolação possível é o avaliador solar (solar pathfinder), determinando o quanto o arranjo pode receber de radiação solar durante o ano, naquela localização.

Figura 10 – Ferramenta "solar pathfinder"

Os painéis devem ser montados em estruturas, onde o material para a confecção pode ser aço inox, alumínio ou ferro galvanizado. A estrutura pode ser montada no telhado da residência, deixando um afastamento mínimo de oito centímetros em relação à cobertura. [8]

Figura 11 - Estrutura para colocação das placas fotovoltaicas [9]

Figura 12 - Placas colocadas sobre a estrutura [9]

Em qualquer tipo de estrutura as placas podem ser fixas ou terem o sistema de tracking, este sistema é o responsável pela placa fotovoltaica acompanhar o movimento do Sol, a placa segue automaticamente sem precisar de um ajuste manual, assim garantindo a máxima incidência solar sobre ela o tempo inteiro.

Figura 13 - Placas fotovoltaicas com instalação fixa e com tracking [9]

Em relação ao custo do sistema fotovoltaico pode-se afirmar que comparado com outras fontes de energia, este sistema tem um custo de investimento maior que os demais, porém um custo de manutenção baixo.

Para se ter o cálculo real do custo de instalação do sistema fotovoltaico depende de alguns fatores, como a quantidade de energia necessária, complexidade do sistema, a incidência solar no local da instalação e dificuldades de instalação.

Ao longo dos últimos anos o custo para produção de energia solar diminuiu, devido a queda do custo dos painéis fotovoltaicos.

Outro fator importante para a instalação do projeto é a inspeção e o levantamento do local, onde para uma residência é normalmente na área do telhado, formato e características da estrutura também devem ser levados em consideração.

O comprimento dos cabos, rede de fiação e método de implantação da canalização elétrica, deve ser planejado, assim como o acesso de equipamentos necessários para a instalação.

Outra consideração a fazer é a quantidade de produção de energia desejada e a potência fotovoltaica a instalar.

Em relação a cabagem é imprescindível utilizar cabos de qualidade comprovada e dentro das normas para não comprometer o rendimento do sistema, provocando perda de energia, aquecimento ou mau contato, a bitola dos condutores deverá ser escolhida de forma a limitar ao máximo as perdas. [8]

Abaixo segue os cálculos para dimensionamento do projeto:

Ficha técnica:

- Corrente curto circuito I_{sc}
- Potência nominal P_{MPP}
- Tensão MPP nominal (25°C) U_{MPP}
- Tensão circuito aberto nominal U_{oc}
- Tensão máxima do sistema
- Coeficiente de temperatura da tensão $Coef_U$ (valor negativo!)
- Coeficiente de temperatura da potência $Coef_p$ (valor negativo!)

Fórmulas para coeficientes em %. Alguns fabricantes informam coeficientes em mV, mA etc.

Cálculos:

- Tensão máxima: $U_{OC\ max} = U_{OC} \times (1 + (T_{min} - 25) \times Coef_U)$
- Tensão máxima de MPP: $U_{MPP\ max} = U_{MPP} \times (1 + (T_{min} - 25) \times Coef_U)$
- Tensão mínima de MPP: $U_{MPP\ min} = U_{MPP} \times (1 + (T_{max} - 25) \times Coef_U)$
- Potência máxima: $P_{MPP\ max} = U_{MPP} \times (1 + (T_{min} - 25) \times Coef_p)$
- Corrente máxima: $I_{SC\ max} = 1,25 \times I_{SC}$

Figura 14 - Como dimensionar o projeto [9]

Figura 15 - Gráfico corrente X tensão [9]

O efeito da sombra sobre a célula fotovoltaica é visível, transformando o módulo em uma resistência, pois inverte a polaridade do mesmo, a energia gerada pelos outros módulos aquece o módulo sombreado podendo danificá-lo, por isso cada módulo é equipado com um ou mais diodos de by-pass que protegem a fileira de células.

Sobre os inversores, tem-se o micro-inversor, que é conectado a um ou dois módulos, facilitam o investimento progressivo, o monitoramento é feito por controladores separados, pelo fato de não haver cabeamento tem-se uma segurança maior. A ligação é tecnicamente simples, porém exige cuidados em relação à instalação existente do local.

Figura 16 - micro-inversor [9]

Outro tipo de inversor é o denominado string, que permite a conexão de um único string ou vários em paralelo, oferecendo um único MMPT, onde todos devem possuir a mesmas características tanto elétricas quanto de inclinação, orientação e sombreamento, sendo o padrão para instalações de pequeno e médio porte.

Figura 17 - Inversor string

Esquema de ligação do inversor string no sistema:

Figura 18 - Ligação do inversor no sistema [9]

Tem como objetivo proteger contra surtos DPS, instalado onde os cabos externos adentram a residência, onde os cabos de string são ligados em paralelo ao cabo principal C.C.

O DPS pode ser junto ao inversor ou dentro dele, desde que a distância entre o arranjo fotovoltaico e o inversor seja inferior a dez metros ou o cabo C.C não correr dentro da residência.

Em relação à chave isoladora C.C, pode estar localizada na caixa de conexão C.C ou dentro do próprio inversor, preferencialmente acessível e compreensível para bombeiros e leigos, lembrando que para desconectar, sempre o lado A.C primeiro.

O inversor é utilizado para manter a energia gerada pelo sistema fotovoltaico em conformidade com a energia da rede elétrica, também desconecta os módulos da rede caso haja uma interrupção na rede, evitando que funcionários da concessionária corram risco ao fazer manutenção na rede elétrica.

O inversor pode ser monitorado remotamente através de softwares.

Figura 19 - Inversor com monitoramento remoto [9]

Figura 20 - Software de monitoramento do inversor [9]

Em relação ao medidor, o consumidor deverá trocar para um bidirecional, onde é instalado pela concessionária e o cliente paga a diferença desse medidor para um medidor simples, ou de acordo com a concessionária, varia em cada lugar, podem ser instalados dois medidores unidirecionais, no caso da LIGHT deverá ser instalado um medidor bidirecional, permitindo a medição da injeção e consumo.

Figura 21 - Medidor bidirecional [9]

f. Procedimentos de conexão com a concessionária

Com a criação da normativa 482, as concessionárias tiveram que adequar seus sistemas comerciais e revisar normas técnicas, com isso foram criados documentos, visto que minha residência está no rio de janeiro, o exemplo da concessionária será a LIGHT, o documento foi nomeado de "Informação Técnica DTE/DTP-01/12" [13]. Este documento possui todos padrões de projeto, critérios técnicos e operacionais, procedimentos de acesso e o relacionamento operacional, que utilizem fontes alternativas.

Os passos que o cliente deve seguir são os seguintes:

Cliente	Prazo	Concessionária	Prazo
Elaborar projeto			
Solicitar acesso			
		Informar pendências	?
Resolver pendências	60 d		
		Emitir parecer	30 d
Instalar sistema			
Assinar contrato	(90 d)	Assinar contrato	(90 d)
Solicitar comissionamento	livre		
		Realizar comissionamento	30 d
		Relatório de comissionamento	15 d
Adequação conforme relatório	livre		
		Aprovação	7 d
Total			máx. 82 d

Figura 22 – Etapas do procedimento para conexão a concessionária [9]

1. Solicitar acesso

Trata-se da entrega da carta para solicitação de serviço, do formulário de solicitação para energia alternativa, e os documentos do projeto necessários. Assim é conferido para saber se estão sendo atendidas todas as especificações requeridas.

Onde os documentos do projeto requeridos são:

- Planta de situação/ localização;
- Cópia autenticada da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), devidamente numerada, do(s) responsável (veis) pelo projeto, execução, operação e manutenção da Microgeração/Minigeração
- Carta de credenciamento assinada pelo proprietário ou seu representante legal, apresentando profissional (Eng.º eletricista) ou empresa de engenharia, habilitados pelo CREA-RJ, contratados como responsáveis técnicos e autorizados para tratar das questões técnicas e comerciais atinentes ao processo de solicitação de fornecimento de energia elétrica;
- Diagrama unifilar completo;

- Diagramas esquemáticos e funcionais;
- Cópia dos manuais técnicos dos reles e inversores;
- Certificação INMETRO do Inversor e/ou aprovação de tipo por laboratórios nacionais e internacionais acreditados pelo INMETRO desde que cumpram os requisitos estabelecidos nesta norma.

2. Emitir parecer

Se não ficar em alguma pendência, a concessionária emite este documento formal em um prazo de até trinta dias, neste documento está descrito condições de acesso, e os requisitos técnicos necessários para a conexão das instalações do cliente com os seus respectivos prazos.

3. Assinar contrato

Após a emissão do parecer, contrato deve ser firmado em até noventa dias.

4. Solicitação de vistoria

Depois de concluir as obras necessárias para o início da operação, a pedido do cliente nas Agências Comerciais, a concessionária tem uma prazo de trinta dias para realizar a vistoria, se não houver nenhuma irregularidade na vistoria, em sete dias o acesso a rede é liberado.

5. Solicitação de comissionamento

O Cliente deverá informar à Light SESA, nas agências ou postos de atendimento, a conclusão das obras necessárias para início da operação do sistema. A Light SESA terá o prazo de até trinta dias para realização do comissionamento.

g. Critérios e padrões técnicos

Os acessantes de microgeração distribuída deverão ser interligados ao sistema elétrico de baixa tensão no mesmo ponto de conexão da unidade consumidora, conforme a tabela abaixo:

Potência de Geração Instalada	Forma de conexão
< 10 kW	Monofásico, bifásico ou trifásico
10 a 100 kW	Trifásico
<15 kW (em Rede Rural monofásica com transformador exclusivo)	Monofásico

Figura 23 - Categoria de conexão em função da potência [13]

É necessário que o gerador instalado tenha a potência de acordo com a tabela, caso, por exemplo, em zona urbana um gerador monofásico acima de 10kW, terá que antes fazer uma solicitação de aumento de carga, antes de fazer uma solicitação de acesso.

Figura 24 - Forma de conexão do acessante (através do inversor) à rede de BT da LIGHT SESA [13]

Esquema simplificado acima é apenas para os clientes que usem inversores como interface de conexão, sendo somente aceitos os inversores certificados em laboratórios acreditados pelo INMETRO.

Para a conexão do sistema, existem alguns requisitos de proteção para que a solicitação de acesso seja aceita, os requisitos variam de acordo com a potência instalada:

Requisitos de Proteção	Potência Instalada		
	Até 100 kW	101 a 500 kW	501 kW a 1 MW
Elemento de desconexão	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim	Sim	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim	Sim	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Não	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Proteção de sobrecorrente	Sim	Sim	Sim
Relé de sincronismo	Sim	Sim	Sim
Anti-ilhamento	Sim	Sim	Sim

Figura 25 - Requisitos de proteção [13]

O sistema de geração deve possuir também alguns requisitos de qualidade, quando a tensão de rede sai da faixa de operação especificada na tabela abaixo, o sistema de geração deve ter seu fornecimento à rede elétrica interrompido, seja ele monofásico, bifásico ou trifásico.

Tensão no ponto comum de conexão (% em relação à V_{nominal})				Tempo máximo de desligamento ⁽¹⁾
$V < 80\%$				0,4 s ⁽²⁾
80 %	$\leq$	$V \leq 110\%$	Regime normal de operação	
110 %	$<$	V	0,2 s ⁽²⁾	

Figura 26 - Respostas às condições anormais de tensão em geradores [13]

Também deve operar com sincronismo com a rede elétrica e respeitando os limites de variação de frequência definidos.

Quando a frequência da rede assumir valores menores que 57,5 Hz, o sistema deve cessar o fornecimento de energia em até 0,2 segundos, o mesmo somente pode voltar quando a frequência voltar a 59,9 Hz.

Quando os valores assumidos da frequência forem maiores que 62 Hz também deve ser cessado o fornecimento em até 0,2 segundos, só podendo fornecer energia de novo quando voltar ao valor de 60,1 Hz.

Para frequências entre 57,5 Hz e 62 Hz, a potência ativa injetada na rede deverá seguir o gráfico abaixo:

Figura 27 - Curva de operação do sistema de geração em função da frequência da rede para a desconexão por sobre/subfrequência [13]

O sistema de geração deve ser capaz de operar dentro das seguintes faixas de fator de potência quando a potência injetada na rede for superior a 20% da potência nominal do gerador.

Fator de potência deverá ser igual a 1 para o gerador com potência nominal menor ou igual a 3 kW, com tolerância para 0,98 indutivo até 0,98 capacitivo.

Para geradores com potência nominal de 3 kW até 6 kW fator de potência ajustável de 0,95 indutivo até 0,95 capacitivo.

Para geradores com potência nominal superior a 6 kW, fator de potência ajustável de 0,92 indutivo para 0,92 capacitivo.

Em relação a segurança, há algumas informações e considerações que devem ser informadas para uma operação correta e segura dos sistemas de geração de energia conectados a rede da LIGHT.

Sempre que houver desligamento da rede da LIGHT, o sistema de geração deverá se desacoplar da rede através da proteção anti-ilhamento em até dois segundos.

Caso haja uma desconexão devido a uma anomalia da rede, o sistema de geração não pode se reconectar a rede logo após a retomada das condições normais de tensão e frequência da mesma, o tempo mínimo para a reconexão do sistema é de cento e oitenta segundos.

O aterramento deverá ser de responsabilidade do responsável técnico pelo projeto.

O sistema deverá possuir dispositivo de proteção contra sobrecorrente, afim de proporcionar proteção à rede da LIGHT contra eventuais defeitos no sistema de geração.

O sistema deve ser capaz de suportar um religamento automático fora de fase na pior condição possível (oposição de fase), onde o tempo varia de acordo com o sistema de proteção adotado e o tipo de rede de distribuição (urbana ou rural), variando entre 500 ms até 20 segundos. [13]

Como visto anteriormente na figura do medidor bidirecional, a sinalização de segurança também é obrigatória.

h. Viabilidade econômica do projeto

Antes de começar um projeto de geração de energia solar, uma medida que deve ser tomada antes, é em relação a eficiência energética, pois mesmo com o sistema de geração de energia solar funcionando, evitar desperdícios no consumo de energia elétrica é essencial para a economia da residência.

Visto que o projeto de geração de energia visa uma redução na conta de luz, seria uma contradição realizar a instalação do sistema e não tomar medidas de eficiência energética para reduzir o consumo mensal de energia da residência.

Por exemplo, uma medida de eficiência energética muito considerável é a troca das lâmpadas incandescentes e fluorescentes pelas lâmpadas de LED, visto que estão cada vez mais baratas, as lâmpadas de LED tem uma durabilidade maior que as outras além do fato de seu consumo de energia ser bem menor, sendo assim mais econômicas que as outras lâmpadas.

Outra medida de eficiência energética é o aquecimento de água solar, fácil instalação no telhado e substitui o chuveiro elétrico que consome bastante energia, não adianta a residência ter um sistema de geração fotovoltaico para ser usado num chuveiro elétrico, quando há possibilidade de usar a energia solar diretamente para esquentar a água da residência, deste modo reduz drasticamente o consumo de energia por conta do chuveiro elétrico.

Com as medidas de eficiência energéticas devidamente tomadas, pode-se agora começar o projeto de geração de energia solar residencial, para isso deverá analisar seu investimento disponível, consumo atual, área disponível para instalação e sombra, sendo assim o projetista deve se atentar aos módulos e inversores para se adequar as análises feitas.

Figura 28 - Análise do projetista [9]

Na hora de instalação do sistema, se atentar ao fato das placas serem apontadas para o norte, caso não faça isso, ocorrerá queda da eficiência, ou seja o sistema não estará no seu melhor rendimento, o que acarreta perda de dinheiro por parte do residente, que poderia estar aproveitando seu sistema de geração de energia ao máximo e tendo o maior retorno possível do seu sistema.

Depois de encontrado o sistema ideal para a residência, tem que começar uma análise para ver a rentabilidade do sistema de geração.

Esta análise pode ser feita através do programa denominado RetScreen, cujo programa permite observar a simulação da rentabilidade do projeto de geração.

Informação sobre o projeto		Veja banco de Dados do projeto
Nome do Projeto	projeto de final de curso	
Localização do Projeto	Rua professor andrade muricy	
Preparado para	residencia do projetista	
Preparado por	projetista	
Tipo de projeto	Produção de eletricidade	
Tecnologia	Fotovoltaica	
Tipo de grid	Rede Central	
Tipo de análise	Método 1	
Poder calorífico de referência	Poder calorífico superior (PCS)	
Ver parâmetros	☒	
Idioma	Portuguese - Português	
Manual do usuário	English - Anglais	
Moeda	Rs	
Unidades	Unidades métricas	

Condições de Referência do site		Selecionar local de dados climáticos
Localização dos dados climáticos	Rio De Janeiro	
Mostrar dado	☐	

Figura 29 - Projetando no RetScreen [14]

para analisar o projeto em questão , as informações devem ser:

1. Tipo de projeto – produção de eletricidade
2. Tecnologia – fotovoltaica
3. Tipo de grid-rede central
4. Tipo de análise – método 2
5. Clicar em selecionar local de dados climáticos

Condições de Referência do site
[Selecionar local de dados climáticos](#)

Localização dos dados climáticos:

Mostrar dado: ☐

[Completar a planilha de Modelo Energético](#)

RETScreen4 2013-08-27

© Minister of Natural Resources Canada 1997-2013.

NRCan/CanmetENERGY

Figura 30 - Completando a planilha no RetScreen [14]
Depois de preencher os dados acima, clicar em "completar planilha de modelo energético".

Modelo Energético RETScreen - Projeto produção de Eletricidade

Mostrar outras unidades

Sistema de eletricidade do caso proposto

Custo inicial incremental

Tipo de análise:

☐ Método 1
☒ Método 2

Avaliação de recursos

Sistema de posicionamento solar: Fixo
Inclinação: 26,0
Azimut: 190,0

☒ Mostrar dado

Mês	Radiação solar diária - horizontal kWh/m ² /d	Radiação solar diária - inclinada kWh/m ² /d	Preço eletricidade exportada Rs/MWh	Eletricidade exportada p/ rede MWh
Janeiro	5,21	4,75	500,0	0,492
Fevereiro	5,41	5,15	500,0	0,474
Março	4,76	4,84	500,0	0,493
Abril	4,31	4,79	500,0	0,472
Maio	3,66	4,39	500,0	0,451
Junho	3,65	4,73	500,0	0,470
Julho	3,66	4,61	500,0	0,475
Agosto	4,32	5,03	500,0	0,515
Setembro	4,18	4,36	500,0	0,441
Outubro	4,74	4,60	500,0	0,482
Novembro	4,97	4,59	500,0	0,466
Dezembro	5,02	4,53	500,0	0,475
Anual	4,49	4,70	500,00	5,707

Figura 31 - Completando os dados no RetScreen [14]

Radição Solar anual - horizontal: MWh/m² 1,64
Radição Solar anual - inclinado: MWh/m² 1,71

Fotovoltaica

Tipo: Outro
Potência elétrica: kW 4,00
Fabricante:
Modelo:
Eficiência: % 16,0%
Temperatura de operação normal da célula: °C 65
Coeficiente de Temperatura: % / °C 0,43%
Área do coletor solar: m² 25

Perdas diversas: %

Inversor

Eficiência: % 97,0%
Capacidade: kW 4,0
Perdas diversas: %

Resumo

Fator de Utilização: % 16,3%
Eletricidade exportada p/ rede: MWh 5,707

Rs 33.000

Figura 32 - Inserindo dados técnicos e o valor do investimento do projeto [14]

Parâmetros financeiros

Taxa de inflação	%	6,0%
Vida do projeto	ano	20
Razão da dívida	%	

Custos iniciais

Sistema de produção de eletricidade	Rs	33.000	100,0%
Outro	Rs		0,0%
Total de custos de investimento	Rs	33.000	100,0%

Incentivos e subsídios

Rs		0,0%
----	--	------

Pagamento anual de custos e empréstimos

Custo (economia) de O&M	Rs	660
Custo combustível - caso proposto	Rs	0
Total de custos anuais	Rs	660

Economia anual e receita

Custo combustível - caso de referência	Rs	0
Receita com eletricidade exportada	Rs	2.853
Total de economia e receita anual	Rs	2.853

Viabil. Financeira

TIR antes impostos - ativos	%	9,1%
Retorno simples	ano	15,0
Retorno do capital próprio	ano	10,6

Figura 33 - Inserindo o custo de manutenção e inflação esperada [14]

A manutenção é calculada mais ou menos 2% do preço do investimento (R\$ 33.000,00)

Gráfico de fluxo de caixa cumulativo

Figura 34 - Fluxo de caixa pelo tempo de vida útil do projeto [14]

Após o fluxo do caixa podemos observar que é rentável, pois tem uma taxa interna de retorno anual de 9,1%, sendo maior que alguns investimentos em banco, como por exemplo, o retorno da conta poupança, observa-se também que há uma demora de dez anos e meio para o investimento ser ressarcido.

i. Retorno financeiro da microgeração

O cálculo do retorno financeiro fica complexo, dado que há fatores desconhecidos e que oscilam de em cada mês, como por exemplo, o consumo direto.

Porém há um cálculo mensal simplificado pra ver o retorno financeiro:

Energia cobrada = energia consumida – energia injetada

Se o resultado for menor que o custo de disponibilidade, cobra-se uma taxa de 100 kWh para geração trifásica, 50 kWh para bifásica e 30 kWh para monofásica, como visto anteriormente se a energia injetada for maior que a consumida, o crédito para o cliente gerador é válido por trinta e seis meses, podendo utilizar em outras unidades que sejam do mesmo CPF ou CNPJ.

Sempre que o consumo líquido for menor que o custo de disponibilidade, o consumidor fornece energia e ainda paga o custo de disponibilidade, e dependendo dos meses seguintes o crédito é aproveitado ou perdido pelas mesmas razões anteriores.

Geração < Consumo total
Consumo líquido > CDD

Geração > Consumo total

Figura 35 - Cálculo pela normativa 482 [15]

A tributação será da seguinte forma, o ICMS incide sobre totalidade da energia elétrica que o consumidor recebe da rede, a energia injetada é contabilizada como dedução do valor de consumo, aplicando a tarifa de energia sem ICMS.

Figura 36 - sistema de compensação de um microgerador [15]

A energia injetada, quando é devolvida ao microgerador, ela é tributada. O valor dela é reduzido, não afetando o consumo direto pois não vai passar pelo medidor.

Dependendo de vários fatores a perda causada pelo cálculo do custo de disponibilidade é substituído pela perda por tributação, o crédito é preservado.

Figura 37 - Cálculo conforme o convênio de ICMS 6 [15]

O consumo energético varia com o mês, sendo possível ficar acima da tarifa da distribuidora.

Figura 38 - Retorno financeiro na prática [15]

Os estados brasileiros têm alíquotas diferentes para as faixas de consumo mensal, no Rio de Janeiro o ICMS sobre o consumo de energia elétrica é o seguinte, até 50 kWh é isento do ICMS, até 300 kWh a alíquota do ICMS é de 18% e acima de 300 kWh é de 29%, onde toda a energia consumida é tributada.

Para obter o retorno máximo, o sistema de microgeração deve ser dimensionado para reduzir o consumo da rede a um valor abaixo do salto do ICMS, os determinantes são o consumo direto, geração e o consumo total.

Figura 39 - Retorno financeiro prático [15]

3. Conclusão

O projeto da microgeração de energia solar residencial é economicamente viável, foi observado que o retorno do investimento da implantação do sistema de geração de energia solar depende da quantidade de energia gerada pelos módulos, modelo de inversores escolhidos, espaço para a colocação das placas fotovoltaicas, sombras sobre os módulos, ou seja cada projeto tem que ser estudado separadamente para verificar sua viabilidade.

Tendo em vista que há medidas de eficiência energética que reduzem drasticamente o consumo de energia na residência, e como o projeto de microgeração requer um capital muito maior que as medidas de eficiência energética, pode ser que tomar essas medidas de eficiência energética na residência dê ao consumidor um retorno financeiro mais rápido, além de economizar na fatura, tornando o investimento no projeto de microgeração desnecessário.

O governo brasileiro poderia incentivar mais a população a aderir a microgeração de energia solar residencial, dando mais subsídios ao consumidor que queira ter uma microgeração residencial, por exemplo, na Alemanha no início, o incentivo dado era que a cada 1 kWh gerado, o crédito do gerador era de 3 kWh, uma medida como essa tornaria a geração de energia solar uma excelente opção, sendo melhor até que as medidas de eficiência energética, sempre vale ressaltar, que se for possível fazer o investimento no microgerador e implementar as medidas de eficiência energética o resultado no final do mês será gratificante ao dono da residência, dado que consumo de energia diminuirá e o crédito que o consumidor tem por kWh gerado será considerável, assim tendo o retorno financeiro mais rápido que no caso atual.

Apesar de o projeto ser considerado viável, no Brasil o incentivo não é dado como poderia ser, assim tendo que optar, a melhor escolha seriam aplicações de medidas de eficiência energética na residência, em época de crise energética no país é sempre válido explorar as opções para geração de energia

4. Referências

- [1] Leonel Rodrigues, "Cabos para aplicação na geração de energia eólica", [Online]. <http://www.osetoelettrico.com.br/web/component/content/article/57-artigos-e-materias/1473-cabos-para-aplicacao-na-geracao-de-energia-eolica.html/>. [Acesso em 10 de janeiro de 2015].
- [2] Wikipedia, "Energia Eólica", [Online]. http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_e%C3%B3lica#Brasil. [Acesso em 10 de janeiro de 2015].
- [3] Ministério do meio ambiente, "Energia Eólica", [Online]. <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-eolica>. [Acesso em 11 de janeiro de 2015].
- [4] Ministério do meio ambiente, "Biomassa", [Online]. <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>. [Acesso em 11 de janeiro de 2015].
- [5] "Energia de Biomassa", [Online]. <http://fontes-de-energia.info/biomassa.html>. [Acesso em 11 de janeiro de 2015].
- [6] "Conversão de biomassa em energia", [Online]. <http://www.lippel.com.br/img/sustentabilidade/oqueE02.jpg>. [Acesso em 11 de janeiro de 2015].
- [7] "Pequena Central Hidrelétrica", [Online]. <http://www.portalpch.com.br/>. [Acesso em 20 de janeiro de 2015].
- [8] Ricardo Aldabó Lopez, "Energia solar para produção de eletricidade", *1ª Edição, São Paulo, SP: Artliber, 2012*.
- [9] Apresentação em slides da empresa Solarize sobre energia solar.
- [10] ANEEL, "Resolução Normativa nº 482", [Online]. <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. [Acesso em 5 de março de 2015].
- [11] Programa "SunData", [Online]. <http://www.cresesb.cepel.br/sundata/>. [Acesso em 30 de março de 2015].
- [12] "O retorno financeiro da microgeração", apresentação da empresa Solarize.
- [13] Light, "Normas técnicas para geração de energia alternativa", [Online]. http://www.light.com.br/Repositorio/Recon/LIGHT_Informacao_Tecnica_DTE_DTP_01_2012_Dez2013.pdf. [Acesso em 30 de maio de 2015].

[14] Software RetScreen, http://www.etscreen.net/pt/software_and_data.php.

[15] Apresentação em slides da empresa Solarize sobre retorno financeiro da microgeração