



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RENATO CHAGAS SILVA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO REALIZADO NA EMPRESA SENAI

Campina Grande, Paraíba
Novembro de 2014

RENATO CHAGAS SILVA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO REALIZADO NA EMPRESA SENAI

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como
parte dos requisitos necessários para a obtenção do
grau de Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energias renováveis

Orientador:
Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Novembro de 2014

RENATO CHAGAS SILVA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO REALIZADO NA EMPRESA SENAI

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Energias renováveis

Aprovado em ____ / ____ / _____

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que me concedeu o dom da vida e me deu forças para concluir este trabalho.

Agradeço a minha família e amigos pelo apoio e ajuda prestada, com certeza foram essenciais, para que eu conseguisse chegar ao fim.

Agradeço também ao pessoal do SENAI CITI nas pessoas de Izaac, Thiago, Newmark, Gerson e Antônio, pelo apoio prestado.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

RESUMO

Este relatório relata as principais atividades desenvolvidas no estágio supervisionado realizado na empresa SENAI na cidade de Campina Grande na Paraíba. O estágio se concentrou na área de energias renováveis e eficiência energética e foram desenvolvidas principalmente atividades de projeto na área de sistemas solares fotovoltaicos conectados a rede elétrica.

Palavras-chave: Estágio supervisionado, Sistemas solares fotovoltaicos, eficiência energética.

ABSTRACT

This report describes the main activities developed in supervised training held at company SENAI in Campina Grande in Paraíba. The training was focused on the area of renewable energies and energy efficiency and were developed mainly project activities in the field of solar photovoltaic systems connected to the electric grid.

Keywords: supervised training, solar photovoltaic systems, energy efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1. Distribuição da radiação solar.....	5
Figura 2.2. Corte transversal de um módulo fotovoltaico	7
Figura 2.3. Painel solar Fotovoltaico.....	8
Figura 2.4. Módulo solar monocristalino	9
Figura 2.5. Módulo solar policristalino	9
Figura 2.6. Silício amorfo.....	10
Figura 2.7. Constituição da matriz energética brasileira segundo dados da ANEEL de maio de 2014.....	12
Figura 3.1. Redução de custos dos painéis fotovoltaicos entre o segundo trimestre de 2006 e o segundo trimestre de 2012.....	15
Figura 3.2. Etapas para que seja possível conectar um sistema de microgeração ou minigeração a rede das concessionárias no Brasil.	19
Figura 6.1. caso base para calculo de distancia entre módulos fotovoltaicos de modo que se evite o sombreamento.	29
Figura 6.2. Declinação solar durante o ano	30
Figura 9.1. Montagem do prédio da FIEP mostrando os painéis dispostos na laje apontados para o norte	36
Figura 9.2. Montagem do prédio da Fiep mostrando a disposição dos painéis na laje.....	36
Figura 2.6. Esboço da área onde os painéis fotovoltaicos seriam instalados.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1. Dados técnicos do painel Yingli YL250P 29b.....	26
Tabela 9.1. Custos da empresa Neosolar Energia para um sistema de geração fotovoltaica de 50 kWp..	40
Tabela 9.2. Valores estimados de economia em cada ano de operação do projeto e seus respectivos valores deslocados para o início do projeto.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA;
ART – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA;
CONFAZ – CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA;
CREA – CONSELHO NACIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA;
CPF – CADASTRO DE PESSOA FÍSICA;
CNPJ – CADASTRO NACIONAL DE PESSOA JURIDICA;
COFINS – CONTRIBUIÇÃO PARA FINANCIAMENTO DA SEGURIDADE SOCIAL;
CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO;
CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA;
EBO – ENERGISA BORBOREMA;
FDI – FATOR DE DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR;
FIEP – FEDERAÇÃO DAS INDUSTRIAS DO ESTADO DA PARAÍBA;
ICMS – IMPOSTO SOBRE CIRCULAÇÃO DE MARCADORIAS E PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS;
INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA;
IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS;
kWh – KILOWHATT HORA;
kWh/m².ano – KILOWHATT HORA POR METRO QUADRADO POR ANO;
LMMC – LABORATÓRIO DE METALURGIA E MATERIAIS CERÂMICOS;
NDU13 – NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA NUMERO 13;
PIS – PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO SOCIAL;
PRODIST – PROCEDIMENTO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA NACIONAL;
SENAI – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL;
TCs – TRANSFORMADOR DE CORRENTE;
TIR – TAXA INTERNA DE RETORNO;
VFL – VALOR FUTURO LÍQUIDO;
VPL – VALOR PRESENTE LÍQUIDO;
Wp – WHATT DE PICO;

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
2	Tecnologia fotovoltaica.....	4
2.1	Radiação Solar.....	5
2.2	Efeito fotoelétrico.....	6
2.3	Dependência tecnológica.....	7
2.4	Tecnologia Fotovoltaica.....	8
2.5	Sistemas Fotovoltaicos.....	10
2.6	A matriz energética do Brasil.....	11
2.7	O potencial solar brasileiro.....	13
3	Microgeração e Minigeração no Brasil.....	14
3.1	Resolução normativa 482 de 17 de Abril de 2012 (Aneel).....	15
3.1.1	Responsabilidades da Concessionária.....	16
3.1.2	Responsabilidades do Acessante.....	17
3.1.3	Sistema de compensação de energia.....	18
3.2	Procedimento para conexão de sistemas de minigeração e microgeração a rede da concessionária.....	19
3.2.1	Solicitação de Acesso.....	20
3.2.2	Parecer de Acesso.....	20
3.2.3	Relacionamento operacional e acordo operativo.....	21
3.2.4	Vistoria.....	21
4	Análise Econômica.....	22
4.1	Métodos de engenharia econômica para análise financeira de projetos de investimento.....	22
4.1.1	VPL – Valor Presente Líquido.....	23
4.1.2	VFL – Valor Futuro Líquido.....	23
4.1.3	TIR – Taxa interna de retorno.....	24
4.1.4	Payback.....	24
4.2	Análise Econômica para sistemas fotovoltaicos conectados a rede.....	25
5	Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.....	26
5.1	Dimensionamento pela média da energia que se deseja gerar mensalmente.....	27
5.2	Dimensionamento pela Potência de pico do sistema.....	27
5.3	Dimensionamento do inversor.....	28
6	Cálculo da distância entre painéis fotovoltaicos.....	29
7	Dimensionamento de sistemas de aquecimento solar.....	31
8	Atividades desenvolvidas.....	33
8.1	Projetos fotovoltaicos conectados a rede e isolados.....	33
8.2	Projetos de aquecimento solar.....	33
8.3	Projetos de eficiência energética.....	33

9	Resultados	35
9.1	Projeto fotovoltaico conectado a rede para FIEP – Federação das Indústrias do Estado da Paraíba 35	
9.1.1	Dimensionamento dos painéis Fotovoltaicos e Cálculo da energia média mensal.	37
9.1.2	Cálculo da distância entre fileiras de painéis	37
9.1.3	Dimensionamento do inversor para um FDI de 0,9	38
9.1.4	Levantamento de área disponível para instalação de painéis Fotovoltaicos.	38
9.1.5	Orçamento e análise econômica do projeto.	39
9.2	Projeto de aquecimento solar	42
9.3	Projetos de eficiência energética.....	43
10	Conclusão	44
	Bibliografia.....	45

1 INTRODUÇÃO

O estágio foi realizado na empresa SENAI CITI localizado na Av. Assis Chateaubriand, 4585 - Distrito Industrial, na cidade de Campina Grande na Paraíba. A duração foi de 6 meses tendo início no dia primeiro de Abril de 2014 e termino no dia primeiro de Outubro de 2014.

O SENAI foi Criado em 1942, por iniciativa do empresariado do setor industrial, sendo hoje o maior complexo de educação profissional e tecnológica da América Latina, qualificando mais de 2,3 milhões de trabalhadores brasileiros a cada ano. Também apóia empresas em 28 áreas industriais, por meio da formação de recursos humanos e da prestação de serviços técnicos e tecnológicos, como consultoria e assistência ao setor produtivo, laboratoriais, pesquisa aplicada e informação tecnológica.

É parte integrante do Sistema Indústria – formado ainda pela CNI, SESI e IEL, o SENAI possui um Departamento Nacional e 27 Departamentos Regionais, com unidades operacionais instaladas nos 26 Estados e no Distrito Federal. Elas levam seus programas, projetos e atividades a todo o território nacional, oferecendo atendimento às diferentes necessidades locais e contribuindo para o fortalecimento da indústria e o desenvolvimento pleno e sustentável do País.

Tem a missão de Promover a educação profissional e tecnológica, a inovação e a transferência de tecnologias industriais, contribuindo para elevar a competitividade da indústria brasileira. Sua visão de futuro é Consolidar-se como o líder nacional em educação profissional e tecnológica, e ser reconhecido como indutor da inovação e da transferência de tecnologias para a indústria brasileira, atuando com padrão internacional de excelência.

O SENAI trabalha em várias áreas de atuação, mas o estágio se concentrou nas áreas de eficiência energética e energias renováveis. O setor do SENAI Campina Grande responsável por essas áreas é a casa ecoeficiente. A Casa Ecoeficiente, possui dependências usuais de uma residência de padrão médio, constituindo-se em um ambiente tecnológico e didático para visitação, cursos, pesquisas e inovações.

Está instalada numa área de 350 m², possuindo dependências usuais de uma residência de padrão médio, que tem o objetivo de disseminar tecnologias de materiais alternativos

na construção civil, gestão eficiente de águas domésticas e aplicações da energia solar fotovoltaica, solar térmica e eólica.

A Casa Ecoeficiente foi desenvolvida com soluções para propiciar a máxima eficiência energética, e conforto térmico integrados ao projeto arquitetônico, valorizando os conceitos de aproveitando da ventilação e a iluminação natural. Na construção, foram utilizados materiais ecologicamente corretos e eficientes (tijolos e paredes monolíticas de solo-cimento, painéis térmicos com placas de isopor e de resíduos sólidos, telhas de fibras vegetais, piso usando madeira de demolição e resíduos industriais).

As instalações elétricas da Casa são alimentadas por um sistema híbrido de geração de energia (painéis fotovoltaicos e turbina eólica). O Projeto da Casa incorpora conceitos de gestão eficiente de águas domésticas com instalações hidro sanitárias previamente projetadas para o sistema de reuso de água, composto, inclusive, por uma mini-estação de tratamento de efluentes (ETE) e um dessalinizador. O Projeto de paisagismo privilegiou o uso de espécies nativas da região.

Os ambientes da Casa Ecoeficiente se assemelham aos de uma casa convencional, porém adaptados para abrigar um laboratório:

- Sala de visita: que é um auditório para palestras e exposições;
- Quartos: laboratórios para realização de cursos e desenvolvimento de experimentos de pesquisa;
- Cozinha e área de serviço: laboratórios de eficiência energética equipados com eletrodomésticos usuais;
- Banheiro: demonstração do uso de água aquecida por energia solar do reuso de águas servidas;
- Escritório: sala de controle para monitoramento de sistemas;
- Despensa: abrigo para o banco de baterias.

Na parte externa da Casa encontram-se também:

- Estação de tratamento de águas;
- Sistema com cata-vento para captação de água do poço;
- Painéis fotovoltaicos;
- Turbina eólica;

- Sistema solar para aquecimento de água;
- Dessalinizador alimentado por energia solar fotovoltaica.
- Sistema solar de bombeamento de água;

O estágio teve por objetivos o desenvolvimento de projetos de eficiência energética e de sistemas solares conectados a rede e isolados.

2 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

A publicação da resolução 482 da Aneel em 17 de Abril de 2012 deu início a uma nova etapa na geração de energia no Brasil. A partir desta publicação cada usuário pode gerar sua própria energia e repassar o excedente para a rede de distribuição. Ao fim deste trabalho será possível saber se gerar energia por meio de fontes fotovoltaicas é viável no cenário atual do Brasil.

No trabalho de (Silva, 2014) foram feitas simulações que indicaram que a geração distribuída trás inúmeras vantagens ao sistema elétrico de distribuição. Os estudos mostraram que a melhoria nos índices de conformidade de tensão foram bastante significativas, apesar das variações instantâneas na irradiação do sol. Sendo assim a massificação deste tipo de geração poderia melhorar os perfis de tensão em áreas mais degradadas da rede, sobretudo as áreas mais distantes da subestação e consequentemente com níveis de tensão mais degradados.

Porém antes da instalação desses sistemas é de bom senso fazer um estudo econômico para verificar a viabilidade. No estudo feito por (Miranda, 2014) foram verificados três sistemas com potências de 3920 Wp, 2940 Wp e 1960 Wp. Constatou-se que quanto maior a potência do sistema mais viável ele se torna. Neste estudo todos os sistemas se mostraram viáveis considerando uma tarifa de 0,40752 R\$/kWh que é bem maior que a tarifa na região de Campina Grande que é atualmente de 0,2898 R\$/kWh. Outra conclusão foi que o sistema fica cada vez mais viável à medida que a potência cresce.

O estudo de (Miranda,2014) se comparado ao de (Siqueira, 2013) da uma direção de que os sistemas fotovoltaicos estão se tornando cada vez mais viáveis. Na ocasião de 2013 Siqueira verificou que os investimentos em sistemas de geração com gerações médias mensais de 250 kWh e 400 kWh não eram viáveis e o dinheiro investido nos sistemas não era recuperado durante os 25 anos de vida útil dos projetos, resultado este contrário ao apresentado anteriormente, onde todos os sistemas se mostraram viáveis. Este trabalho mais uma vez indicou que quanto maior a potência do sistema mais viável ele se torna, desde que as tarifas de energia sejam as mesmas.

Outra conclusão que se chega ao analisar estes trabalhos é que o sistema se torna cada vez mais viável à medida que a tarifa de energia cresce, pois o valor economizado

devido a geração fotovoltaica é maior. Por este motivo este trabalho fará uma abordagem na cidade de Campina Grande na Paraíba, onde as tarifas são mais baixas, se comparada às regiões dos estudos anteriores, que se concentraram na cidade do Rio de Janeiro.

2.1 RADIAÇÃO SOLAR

Embora a atmosfera seja transparente a radiação incidente, somente 25% da radiação passa direto pela atmosfera sem interferência, constituindo a radiação direta. Outros 26% atingem a superfície terrestre de modo difuso, proveniente de espalhamento em moléculas de gases aerossóis. A figura 2.1 mostra a distribuição da irradiação solar.

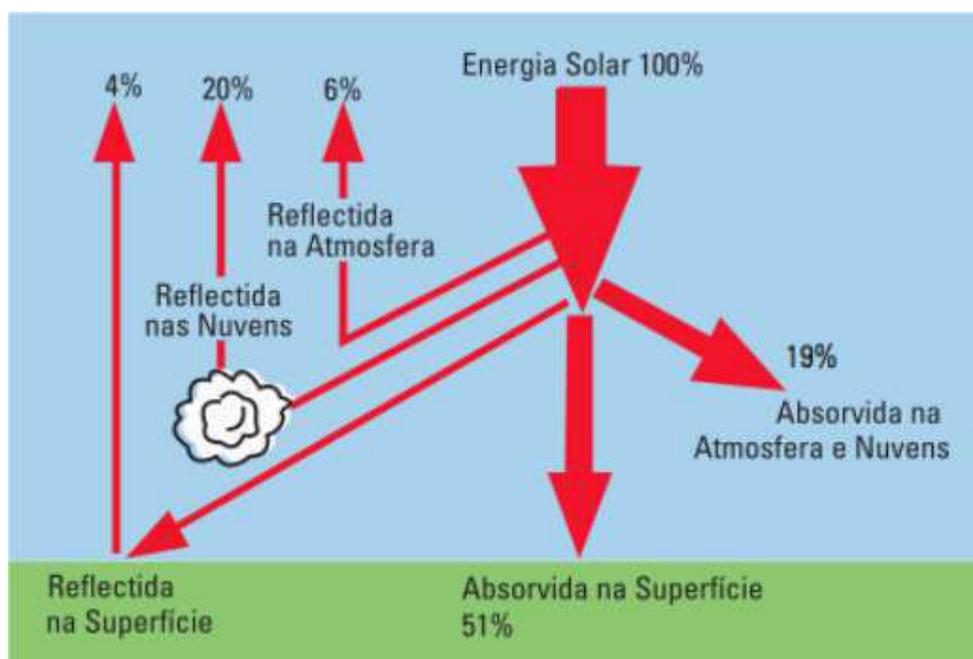


Figura 2.1. Distribuição da radiação solar. Fonte: Greenpro.

Cerca de 30% da radiação incidente é refletida de volta para o espaço. Desse total 6% é devida a reflexão pela atmosfera, 20% é refletida pelas nuvens e 4% é refletida pela superfície terrestre, tanto nos oceanos quanto no continente. O restante da radiação incidente ou 19% é absorvida pelas nuvens e pela atmosfera.

2.2 EFEITO FOTOELÉTRICO

Em nível atômico a conversão direta da luz em eletricidade da origem a energia fotovoltaica. Esta ocorre devido ao efeito fotoelétrico que é uma propriedade que alguns materiais tem de liberarem elétrons quando absorve fótons de luz incidentes sobre eles. Esses elétrons dão origem a circulação de corrente elétrica (Miranda, 2014).

Em 1905 Albert Einstein descreveu a natureza da luz e o efeito fotoelétrico, base da tecnologia fotovoltaico. Isso ocorreu após a descoberta de Edmund Bequerel em 1839, que verificou que certos materiais quando expostos a luz produziam pequenas quantidades de corrente elétrica.

O material mais usado nas células fotovoltaicas é o silício e este deve ser de maior pureza possível. O silício se caracteriza por ser um material semicondutor, ou seja, com quatro elétrons de ligação em sua camada de valência, fato que possibilita a formação de estruturas cristalinas. Quando esse silício é adicionado de fósforo, que possui 5 elétrons em sua camada de valência, haverá excesso de elétrons. O elétron restante devido a falta ligação com o material vai para banda de condução. Neste caso temos um material semicondutor tipo N e o fósforo é denominado material doador de elétrons ou impureza tipo N.

Quando ao silício é adicionado um material com 3 elétrons em sua camada de valência como o Boro, o material resultante fica com uma lacuna ou falta de um elétron. Neste caso ocorre a formação de um material semicondutor tipo P e o Boro é considerado uma impureza do tipo P.

Ao unir um material semicondutor tipo P e outro tipo N ocorre a chamada junção PN. A movimentação eletrônica faz surgir um campo elétrico nos materiais. Quando a luz incide sobre o material onde o campo elétrico é diferente de zero as cargas são aceleradas dando origem uma diferença de potencial, devida ao efeito fotoelétrico (Miranda, 2014). Se as duas extremidades do silício forem conectadas por um fio ocorrerá a circulação de corrente elétrica, esta é a base de funcionamento da célula fotovoltaica exemplificada na figura 2.2.

O rendimento de células fotovoltaicas tem aumentado bastante nos últimos anos variando de 13 a 18% em média. Valores esses bastante superiores aos 1 ou 2% obtidos com as primeiras células. Este aumento no rendimento é devido a avanços tecnológicos na purificação do silício.

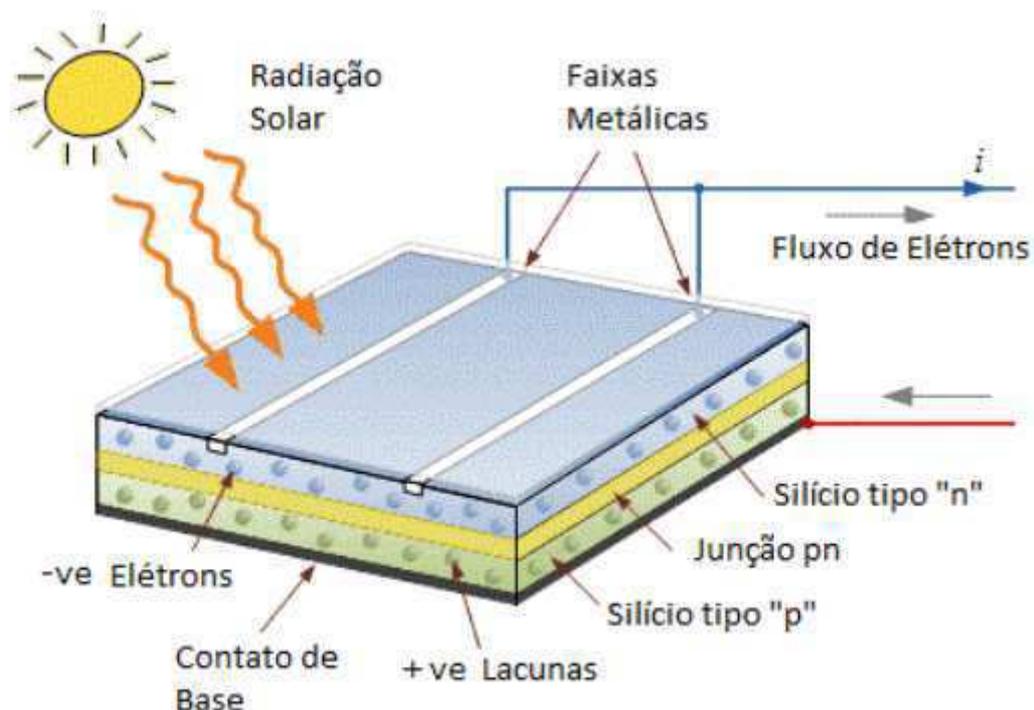


Figura 2.2. Corte transversal de um módulo fotovoltaico. Fonte: Miranda, 2014.

2.3 DEPENDÊNCIA TECNOLÓGICA

O Brasil é o maior produtor mundial de quartzo, deste elemento se parte para obtenção do silício cristalino, matéria prima das células fotovoltaicas. Apesar disso o Brasil ainda não domina a tecnologia para purificação do silício ao grau solar. Por este motivo as células e painéis usados no Brasil são todos importados de países como China e Alemanha.

Atualmente o Brasil está diante da oportunidade de produzir silício de grau solar a custos competitivos devido a aquisição de um equipamento de purificação de silício vindo da Alemanha e que se encontra no laboratório de metalurgia e materiais cerâmicos (LMMC) localizado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em São Paulo. Outros investimentos estão previstos. (Siqueira, 2013)

Os inversores usados em sistemas Grid tie também são predominantemente importados, mas já existe fabricação nacional desses equipamentos a exemplo da Weg que já fabrica esses equipamentos.

2.4 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

Estruturalmente os módulos fotovoltaicos são constituídos por unidades menores chamados de células fotovoltaicas. As células são as unidades básicas de geração solar e são interligadas eletricamente gerando o módulo solar. Por sua vez a interligação de dois ou mais módulos montados em uma única estrutura dá origem ao painel fotovoltaico. Um painel fotovoltaico pode ser observado na figura 2.3.



Figura 2.3. Painel solar Fotovoltaico. Fonte: Neosolar

A matéria prima mais usada nas células fotovoltaicas é o Silício. Nos últimos anos pesquisas aplicadas tem ajudado a aumentar cada vez mais a eficiência dos painéis. Hoje em dia o mercado fotovoltaico é regido pela utilização do Silício Cristalino. A predominância de cor nesses painéis é azul, pois é nessa cor que o painel apresenta maior eficiência. As células podem ser basicamente de dois tipos de Silício: Monocristalino e Policristalino.

O silício monocristalino dá origem a células mais eficientes, apesar de ser a tecnologia mais antiga. Painéis de Silício monocristalino são mais caros devido a maior complexidade para sua construção e maior utilização de energia no processo. A figura 2.4 mostra um módulo solar monocristalino. Na estrutura é possível notar a uniformidade de cor, indicando que esta é formada por um único cristal.



Figura 2.4. Módulo solar monocristalino. Fonte: sunflower.

As células policristalinas são formadas por vários cristais de Silício que passam por um processo de fundição e solidificação. Como são usados mais cristais esses dão origem a várias bordas, que tendem a diminuir a eficiência da célula. A vantagem está no fato dessas células terem um custo de produção menor, o que acarreta em redução final do custo dos painéis. Na figura 2.5 é mostrado um módulo solar policristalino.

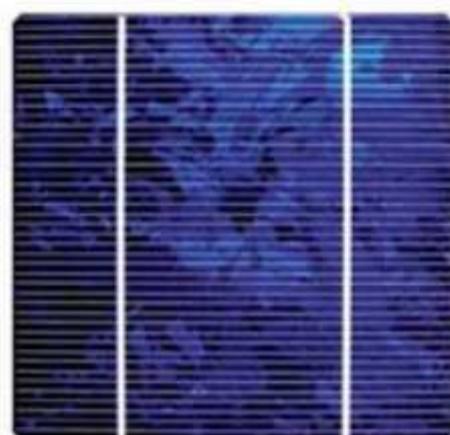


Figura 2.5. Módulo solar policristalino. Fonte: sunflower.

Outro material usado na construção de células fotovoltaicas é o Silício Amorfo Hidrogenado. A Célula é formada por camadas extremamente finas, sendo muitas vezes da ordem de 0,5 micrometros e estrutura amorfa. Os níveis de eficiência são bem menores que nas células cristalinas, não ultrapassando 6%. O modelo de fabricação dessas células permite criar células solares flexíveis que podem ser usadas diretamente na construção civil na incorporação de estruturas, como telhados. Na figura 2.6 esse tipo de material é mostrado.



Figura 2.6. silício amorfo. Fonte: Delta Energie.

A vantagem dessa tecnologia é o custo que é em média a metade do silício cristalino e o fato do rendimento não cair com a temperatura, como ocorre com o Silício cristalino.

2.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Um sistema de energia solar fotovoltaico é um sistema capaz de gerar energia elétrica através da conversão da energia solar. Existem dois tipos básicos de sistemas fotovoltaicos: Sistemas Isolados (Off-grid) e Sistemas Conectados à Rede (Grid-tie).

Os sistemas isolados são utilizados em locais remotos, onde a possibilidade de conectar uma rede elétrica é inviável, seja pelos altos custos ou pela localização geográfica. Sendo assim são utilizados geralmente em sistemas de telecomunicação remotos, casas de campo, iluminação, bombeamento de água, entre outras aplicações.

Um sistema fotovoltaico isolado possui quatro componentes básicos que serão descritos a seguir:

- Painéis solares: São transdutores que utilizam a energia proveniente do Sol para gerar energia elétrica através do efeito fotovoltaico. Seu dimensionamento é feito conforme a necessidade e depende da carga e do tempo utilização que se deseja.
- Controladores de carga – Os Controladores de Carga são componentes de fundamental importância para que um sistema fotovoltaico isolado funcione corretamente. São dispositivos eletrônicos que tem a função de proteger as baterias contra sobrecargas ou descargas excessivas,

garantindo que o tempo de vida e confiabilidade do sistema solar isolado aumente.

- Inversores – Os inversores são componentes responsáveis pela conversão de tensão contínua em alternada e elevação da mesma para níveis adequados de utilização. Neste sentido ele transforma tensões contínuas típicas de arranjos fotovoltaicos de 12 V, 24 V, 48 V, etc para 110 V, 220 V ou outro nível de tensão alternada adequado a alguma aplicação.
- Baterias – Armazenam a energia convertida pelo painel fotovoltaico de forma que possa ser utilizada quando necessário.

Enquanto um sistema isolado necessita de baterias e controladores de carga, sistemas conectados à rede funcionam somente com painéis e inversores, já que não precisam armazenar energia. Esses sistemas injetam na rede elétrica a energia excedente, oriunda do sistema solar, que não foi consumida instantaneamente.

Os inversores próprios para conexão a rede elétrica são mais avançados tecnologicamente e são dotados de várias proteções para assegurar ao sistema elétrico total segurança em sua operação. Sendo assim esses inversores passam por rigorosos testes antes de serem liberados para conexão a rede.

No Brasil é necessário que o inversor seja certificado pelo INMETRO ou algum laboratório internacional acreditado por ele para que seja liberada a conexão a rede elétrica.

Os inversores grid-tie possuem circuitos internos que fazem o sincronismo da tensão da rede com a tensão de saída do inversor em frequência, fase e amplitude e saem de operação sempre que algum desses parâmetros passar por alguma anormalidade.

2.6 A MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL

O Brasil é um país privilegiado pela natureza e tem vários rios onde foi possível construir usinas hidrelétricas de médio e grande porte, sendo esse tipo de geração o principal constituinte da matriz energética brasileira atual. Segundo dados da Aneel de Maio de 2014 (ANEEL-1) existem hoje no Brasil 1.108 usinas hidroelétricas com potência instalada somada de 86.918.788 kW, o que representa um total de 67,44 % de toda matriz energética nacional.

O Brasil possui ainda 116 usinas termoeletricas de gás natural e 41 usinas termoeletricas de gás processado com uma capacidade instalada de 12.534.521 kW e 1.747.423 kW respectivamente. As capacidades somadas resultam em um total de 11,08% de toda matriz nacional, conforme se observa na figura 2.7.

As outras fontes de energia do Brasil vem da queima de derivados de petróleo em 1176 usinas com capacidade instalada de 7.628.648 kW ou 5,92%, da queima de biomassa em 481 com capacidade instalada de 11.555.513 kW ou 8,43%, da queima de carvão mineral em 13 usinas com capacidade de 3.389.465 kW ou 2,47%, de 2 usinas nucleares com capacidade de 1.990.000 kW ou 1,45%, de 145 usinas eólicas com capacidade instalada de 3.067.780 kW ou 2,24% e de importação do Paraguai, Argentina, Venezuela e Uruguai com um total de 8.170.000 kW ou 5,96%. O Cenário atual mostra a necessidade de diversificação da matriz energética nacional (Santos, 2014) (ANEEL-1).

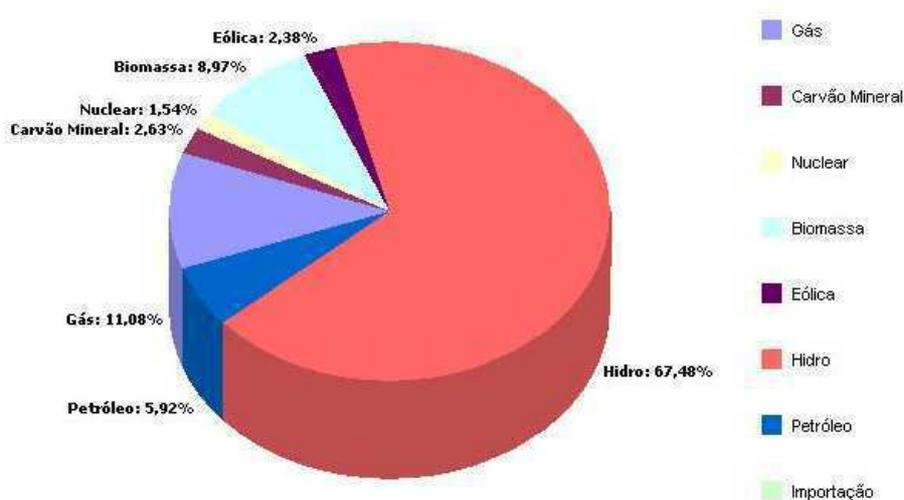


Figura 2.7. Constituição da matriz energética brasileira segundo dados da ANEEL de maio de 2014.
Fonte: ANEEL.

Atualmente a produção de energia fotovoltaica no Brasil é tão pequena que suas 107 usinas tem capacidade instalada de apenas 9.354 kW com uma porcentagem de participação no sistema nacional de apenas 0,0068%. O relatório geral aponta que o Brasil tem 137.016.942 kW de carga instalada.

Pela análise apresentada percebemos que as energias solar e eólica são pouco usadas no país com uma capacidade total instalada somada de apenas 3.077.134 kW. Se compararmos esses dados com países como Alemanha que possui fontes renováveis

solar e eólica fortemente solidificada em sua matriz energética percebe-se que o Brasil tem muito a desenvolver nessas áreas.

Segundo dados de Abril de 2014 do instituto Fraunhofer (BRUGER, 2014), a Alemanha possui 36.858.000 kW de potência instalada provenientes de fontes solares e 33.668.000 kW de fontes eólicas, o que representa 21,48% e 19,62% respectivamente de toda a carga instalada no país.

2.7 O POTENCIAL SOLAR BRASILEIRO

O Brasil é localizado em sua maior parte na região inter-tropical possuindo grande potencial para aproveitamento da energia solar durante todo o ano. Este tipo de energia pode ser útil na regulação da oferta de energia em tempos de estiagem, diminuindo a necessidade do uso de termoeletricas pela queima de petróleo e causando a diminuição dos gases poluentes da atmosfera (PEREIRA, 2006).

Apesar do grande potencial solar do Brasil, a participação desta fonte alternativa na matriz brasileira é incipiente, não representado números relevantes. Este fato se deve ao alto custo da tecnologia dos painéis fotovoltaicos, bem como de inversores, que não são produzidos no Brasil. Os altos custos associados dificultam a concorrência de usinas solares frente a outras fontes de energia em leilões governamentais ou no mercado livre de energia.

No Brasil a radiação média anual varia entre 1200 a 2400 kWh/m².ano, indicando o excelente potencial elétrica nacional. Esses valores são significativamente maiores que os observados na Europa, onde a radiação média anual varia entre 900 e 1250 kWh/m².ano.

3 MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO NO BRASIL

O governo Brasileiro por meio da Aneel legalizou a microgeração e minigeração distribuída a exemplo dos Estados Unidos e países da Europa, que já trabalham há mais tempo com esse sistema. O anúncio oficial veio com a publicação da resolução normativa 482 de 17 de Abril de 2012 (ANEEL-4).

Ficou definida como microgeração instalações com até 100 kW e como minigeração instalações com mais de 100 kW até 1MW (SANTANA, 2014) (ANEEL-4). A resolução favoreceu o usuário domiciliar ou industrial a gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis como solar, eólica, PCH e biomassa. Para que seja possível a conexão o usuário precisa se adequar ao que dispõe no Procedimento de distribuição de energia elétrica no sistema nacional – PRODIST Módulo 3 (ANEEL-2).

Segundo estudo de caso realizado por (SIQUEIRA, 2013) os sistemas de geração própria destinados a pequenas cargas como as de consumidores residências não são economicamente viáveis no cenário atual do Brasil. Os estudos se concentraram no suprimento do consumo de dois sistemas residenciais sendo um de 250 kWh/mês e outro de 400 kWh/mês. Nenhum dos dois casos se mostrou viável economicamente. A conclusão do estudo foi que a medida que se aumenta a potência instalada, o sistema se torna cada vez mais viável. Do ponto de vista ambiental o sistema será sempre viável, uma vez que causa a diminuição da emissão de gases na atmosfera.

Outro ponto que tem gerado polêmica é a cobrança de ICMS por alguns estados da federação sobre a energia gerada. Sendo assim o consumidor só está livre desta cobrança quando toda energia gerada estiver sendo consumida instantaneamente. Por este motivo o CONFAZ publicou o convênio de ICMS número 10 de 21 de março de 2014 (CONFAZ), que autoriza os estados a não cobrar o ICMS da energia gerada por fontes solares e eólicas, porém somente alguns estados aderiram. A Paraíba ainda não aderiu a este convênio.

Outro ponto negativo e que explica a baixa adesão da população ao programa é a ausência de linhas de crédito a baixos juros específicos para aquisição dos equipamentos necessários a micro e minigeração e a falta de incentivos fiscais para baixar os custos dos equipamentos. O Brasil até o momento não possui tecnologia para purificação do silício a um grau de pureza que possibilite a construção das células fotovoltaicas nem

domina de forma maciça a tecnologia de construção de inversores para conexão a rede elétrica, sendo assim esses equipamentos são todos importados, principalmente da Europa, China e EUA. Este fato explica os altos custos dos sistemas solares instalados no Brasil, o que geralmente inviabiliza um projeto dessa natureza do ponto de vista econômico.

Em 2013, o Greenpeace realizou o estudo “Os brasileiros diante da microgeração de energia renovável”, em parceria com a Market Analysis (GREENPEACE). A pesquisa mostrou que cerca de 75% dos entrevistados não sabiam nada ou pouco sabiam sobre a resolução, mas que mesmo sem conhecimento cerca de 90% se interessariam em instalar um sistema fotovoltaico conectado a rede se houvessem linhas de crédito a baixos juros.

Nos últimos anos os custos dos painéis fotovoltaicos têm apresentado redução de significativa, o que deve tornar mais rentáveis investimentos futuros. Desde 2000 os painéis fotovoltaicos tiveram redução de custos, mas essa tendência se acentuou a partir de 2006, onde se observou uma redução no mercado global de aproximadamente 65% entre os anos de 2006 e 2012, conforme se observa na figura 3.1. A redução de custos dos painéis e inversores aliada ao aumento nas tarifas de energia previstos para os próximos anos deve tornar os sistemas fotovoltaicos conectados a rede mais viáveis

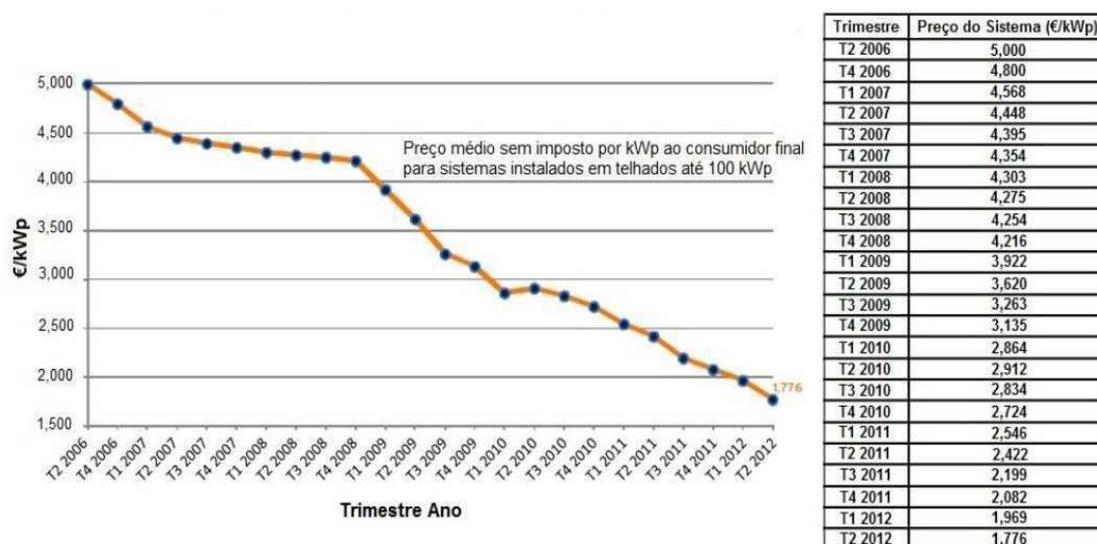


Figura 3.1. Redução de custos dos painéis fotovoltaicos entre o segundo trimestre de 2006 e o segundo trimestre de 2012. Fonte: CEPEL-CRESESB.

3.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA 482 DE 17 DE ABRIL DE 2012

(ANEEL)

Seguindo o modelo já adotado em outros países, no dia 17 de Abril de 2012 a Aneel publicou a resolução Normativa 482. Esta resolução estabeleceu as condições gerais para conexão de sistemas de microgeração e minigeração a rede de distribuição de energia elétrica e criou o sistema de compensação para a energia produzida e não é consumida instantaneamente ultrapassando o medidor de energia elétrica (Aneel-4).

A partir dessa data qualquer usuário do sistema elétrico pode gerar sua própria energia e injetar o excedente na rede, desde que sejam obedecidos critérios de conexão estabelecidos pelo Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Prodist no módulo 3 e seção 3.7 (Aneel-2), junto a concessionária de energia local e que a potência de geração não ultrapasse 1MW.

Como microgeração e minigeração se considera sistemas de até 100 kW e sistemas entre 100 kW e 1 MW, respectivamente, e a conexão desta modalidade de geração no Brasil só é possível para fontes renováveis, a saber: Hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada com interligação a rede de distribuição da concessionária por meio das instalações da unidade consumidora.

A resolução restringe ainda mais a potência da unidade geradora, sendo o limite máximo a carga instalada, para unidades consumidoras do grupo B; e a demanda contratada, para Unidades consumidoras do grupo A. No caso do consumidor desejar gerar com potência maior que sua carga instalada ou demanda contratada, deverá solicitar a concessionária aumento desses valores.

Esse raciocínio é razoável, pois a resolução não permite a venda de energia excedente com a concessionária, sendo assim a geração além do limite de consumo representaria prejuízo para o usuário.

3.1.1 RESPONSABILIDADES DA CONCESSIONÁRIA

A partir de Dezembro de 2012, decorrido o prazo de 240 dias para adequação de seus sistemas de distribuição desde a publicação da Resolução Normativa 482, as concessionárias passaram a ser obrigadas a atender solicitações de acesso para microgeradores e minigeradores de acordo com o procedimento de acesso descritos na seção 3.7 do módulo 3 do Prodist (Aneel -2).

Este módulo trás todas as informações sobre o processo de conexão a rede de distribuição, desde a solicitação de acesso até a conexão final do ponto de geração e estabelece prazos que devem ser cumpridos pela concessionária.

A concessionária não deve assinar contratos de geração com os geradores, bastando a celebração de Acordo Operativo para minigeradores e de Relacionamento Operacional para microgeradores. Este fato permite que o usuário solicite a concessionária, a qualquer momento e por qualquer motivo, a desconexão do ponto de geração sem pagamento de multa por rescisão de contrato.

É de responsabilidade da concessionária também realizar ampliações e reforços no sistema decorrentes exclusivamente da necessidade de interligação de microgeração e/ou minigeração a rede de distribuição. Os custos não devem ser repassados de forma nenhuma para a unidade geradora, sendo arcado unicamente pela concessionária.

3.1.2 RESPONSABILIDADES DO ACESSANTE

Cabe ao acessante realizar todas as etapas de solicitação de acesso a rede da concessionária, incluindo providenciar projeto elétrico, adquirir equipamentos que satisfaçam as exigências de segurança da rede e com certificações nacionais e em alguns casos internacionais; e contratar profissional habilitado com registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia - CREA, devido a exigência de Anotação de Responsabilidade técnica – ART entre a documentação exigida para o acesso.

Ao proprietário da unidade geradora cabe ainda arcar com o custo de adequação do sistema de medição, pelo qual se pode implantar o sistema de compensação de energia. Neste sentido deve-se pagar o valor referente à diferença entre o custo dos componentes necessários para medição no sistema de compensação de energia elétrica e o custo do medidor convencional utilizado em unidades consumidoras do mesmo nível de tensão. O sistema de medição deve atender a todas as especificações técnicas do Prodist e deve ser instalado pela distribuidora, depois que o ponto de acesso tenha sido completamente aprovado em todas as etapas da solicitação de acesso.

Uma vez instalado o sistema de medição passa a ser responsabilidade da concessionária, sendo esta responsável por sua operação e manutenção, inclusive em caso de troca por outro equipamento.

Cabe ainda ao usuário responder por danos causados ao sistema devido a comprovada operação irregular da microgeração ou minigeração, segundo o que dispõe o Inciso II do art. 165 da Resolução Normativa 414 (Aneel - 5) de 9 de setembro de 2010. Havendo irregularidades na unidade consumidora esta também perderá seus créditos de energia ativa gerados no respectivo período.

3.1.3 SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

No Brasil não existe ainda a possibilidade de vender a energia elétrica produzida como em outros países do mundo. Existe apenas um sistema de compensação onde a energia excedente gera créditos que são cedidos como empréstimo gratuito à concessionária, passando a unidade consumidora a ter um crédito equivalente em energia ativa, que deve ser utilizado no prazo máximo de 36 meses, sob pena de perder o que não foi usado. Devido a esse fato, o limite para geração é de no máximo a carga instalada para usuários do grupo B e a demanda contratada para usuários do grupo A.

Esse tipo de compensação é conhecido como Net Metering. Na Alemanha, por exemplo, existem as chamadas tarifas feed-in que são reconhecidas cada vez mais como uma política eficiente para que se promovam energias renováveis. Neste sistema o produtor vende a energia produzida a um preço fixado em contrato por um período determinado que geralmente é de 5, 10, 15 ou 20 anos (SIQUEIRA, 2013).

Mesmo que a geração se iguale ao consumo, ou que créditos sejam gerados para meses subsequentes o usuário ainda pagará as taxas referentes ao custo de disponibilidade para usuários do grupo B ou a demanda contratada para usuários do grupo A.

O faturamento de energia ativa deve incidir na diferença entre a energia consumida e injetada, considerando o posto tarifário, quando for o caso. Caso a energia injetada na rede em um determinado posto tarifário seja maior que o consumo no mesmo posto, o excedente deve ser utilizado para compensar o consumo em outros postos tarifários dentro do mesmo ciclo de faturamento, sendo observados os valores das tarifas nos dois postos para que se possa determinar um fator de conversão. Os créditos de energia deverão ser informados na fatura de energia elétrica em kWh, por posto tarifário quando for o caso, bem como o total de créditos que expirarão no próximo ciclo de faturamento.

O sistema de compensação prevê ainda a utilização dos créditos de energia em unidades consumidoras previamente cadastradas para este fim, desde que seja atendida pela mesma distribuidora e que o proprietário seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia, seja este Pessoa física (CPF) ou Jurídica (CNPJ).

A ordem de prioridade de compensação das unidades consumidoras cadastradas no mesmo CPF ou CNPJ deverá ser definida pelo consumidor junto à concessionária,

mas a unidade onde o sistema de compensação está instalado deve ser a primeira escolha.

Por fim o sistema de compensação prevê a dedução das perdas de energia proveniente da transformação em sistemas atendidos em tensão primária, mas com medidores instalados no secundário dos transformadores, conforme se observa no art. 94 da resolução normativa 414 de 9 de Setembro de 2010 (ANEEL-5). Esses valores são 1%, para fornecimentos com tensão superior a 44 kV e 2,5% para sistemas atendidos com tensão inferior a 44 kV.

3.2 PROCEDIMENTO PARA CONEXÃO DE SISTEMAS DE MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO A REDE DA CONCESSIONÁRIA.

Os procedimentos de acesso estão detalhados no Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST (ANEEL). Neste documento são definidos as etapas básicas, as responsabilidades da concessionária e do acessante, bem como os prazos legais que devem ser cumpridos pela concessionária. Com base neste manual a Energisa elaborou um documento denominado NDU13 que trata sobre os procedimentos básicos para que se possa gerar energia segundo o que dispõe a resolução normativa 482 da Aneel. A figura 3.2 mostra as etapas básicas para que se possa interligar um sistema de geração próprio a rede da concessionária.

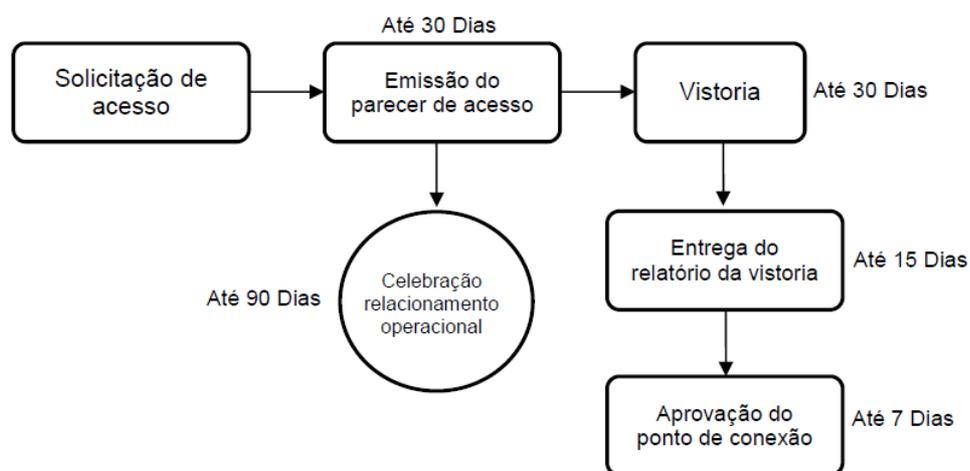


Figura 3.2. Etapas para que seja possível conectar um sistema de microgeração ou minigeração a rede das concessionárias no Brasil. Fonte: NDU13 Energisa.

3.2.1 SOLICITAÇÃO DE ACESSO

Nesta etapa o usuário solicita formalmente a concessionária o acesso a sua rede de distribuição. A solicitação é feita diretamente na concessionária através de formulário específico que informa dados como fonte geradora, potência a ser instalada, local da instalação, entre outras informações. Sendo assim o formulário reúne informações técnicas e básicas e deve vir anexado da anotação de responsabilidade técnica – ART emitida pelo CREA, para garantir que um profissional habilitado esteja acompanhando a implantação do sistema. Além da ART deve-se anexar a seguinte documentação auxiliar:

- Planta de situação / localização;
- Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, devidamente numerada;
- Carta de solicitação de serviço;
- Diagrama unifilar completo da planta do sistema de geração própria;
- Características dos TC's, da fonte geradora e transformadores (se houver);
- Diagramas esquemáticos e funcionais;
- Diagrama trifilar da interligação (para conexões trifásicas);
- Cópia dos manuais técnicos dos relés e inversores;
- Certificação INMETRO do Inversor e/ou aprovação de tipo por laboratórios nacionais ou internacionais acreditados pelo INMETRO desde que cumpram os requisitos estabelecidos na norma.

Caso haja alguma pendência na documentação essas deverão ser sanadas pelo interessado no prazo de 60 dias.

3.2.2 PARECER DE ACESSO

Após a solicitação de acesso a concessionária tem até 30 dias para elaboração do parecer de acesso. Neste são apresentados as condições técnicas e comerciais da concessionária bem como os respectivos prazos que devem ser seguidos.

Após a emissão do parecer de acesso o Acessante tem até 90 dias para celebração de acordo operativo, caso seja minigerador, ou relacionamento operacional caso seja

microgerador. O prazo deve ser cumprido sob pena das garantias das condições de conexão estabelecidas, podendo as partes estabelecer um novo prazo.

3.2.3 RELACIONAMENTO OPERACIONAL E ACORDO OPERATIVO

Segundo dispões o módulo 3 do Prodist na sua seção 3.7, não devem ser assinados contratos entre as partes, bastando a celebração de acordo operativo para minigeradores ou relacionamento operacional para microgeradores. As obras só podem ser iniciadas pela distribuidora após a celebração desses acordos.

Após esses acordos o acessante pode iniciar as obras de construção do sistema de energias renováveis. As obras devem seguir os projetos aprovados na solicitação de acesso e deve seguir os padrões e normas técnicas.

3.2.4 VISTORIA

Ao fim das obras o acessante deverá solicitar formalmente pedido de vistoria a concessionária, esta tem o prazo de 30 dias para cumprir a solicitação. Ocorrida a vistoria a concessionária deve liberar o relatório de vistoria no prazo máximo de 15 dias e em seguida libera ponto de acesso no prazo máximo de 7 dias. Caso existam pendências a serem corrigidas, estas serão listadas no relatório de vistoria e devem ser sanadas. Neste caso o acessante deve solicitar nova vistoria seguindo os mesmos prazos.

Depois de aprovado o ponto um profissional habilitado da concessionária fará a troca do medidor convencional por um bidirecional, dando inicio ao funcionamento do sistema de geração própria. Os custos referentes à diferença de valores entre o medidor bidirecional e o convencional devem ser arcados pelo acessante.

4 ANÁLISE ECONÔMICA

Antes de se investir em um determinado projeto é necessário verificar a viabilidade do mesmo. Neste sentido antes de iniciar um novo projeto é importante observar as possibilidades de lucros ou prejuízos que o este pode acarretar, sobretudo quando se deseja investir quantias altas.

Com esse fim, existem várias técnicas, métodos que são comumente utilizados na análise e no processo decisório. Esses métodos fornecem uma análise quantitativa ao investidor, permitindo saber tempo de retorno aproximado para o projeto, lucro ou prejuízo em termo de valores presentes que o projeto dará em toda sua vida útil.

4.1 MÉTODOS DE ENGENHARIA ECONÔMICA PARA ANÁLISE FINANCEIRA DE PROJETOS DE INVESTIMENTO

São ferramentas matemáticas que permite ao investidor te. uma noção quantitativa sobre o investimento. Os métodos de engenharia econômica permitem a visualização por meio de números e projeções, o potencial de retorno real do investimento e, assim, decidir se o projeto gerará retornos da forma como foi formulado ou simplesmente fornece evidencias mais efetivas sobre se o projeto deve ir à frente ou não.

São aplicados quando se deseja saber se um projeto gerará ou não lucro durante a sua vida útil ou quando se precisa saber o tempo de retorno de um determinado investimento.

O valor de um projeto é baseado em sua capacidade de gerar fluxos de caixa futuros, ou seja, na capacidade de gerar renda econômica ou economia. Sendo assim a análise deve ser feita em um tempo comum e por este motivo todo o fluxo de caixa deve ser deslocado para o mesmo horizonte de tempo.

No caso de sistemas fotovoltaicos, que são o alvo deste estudo, deseja-se saber se os fluxos de caixa mensais ou anuais, ou seja, os valores economizados mensalmente ou anualmente deslocados para o mesmo tempo por uma taxa de juro presumida, geram

valor ou prejuízo para o investidor e ter uma noção quantitativa da quantia que se vai lucrar ou perder.

Existem vários métodos para análise econômica para investimentos de forma geral e que podem ser usados também para sistemas de energia renováveis. Alguns métodos serão discutidos a seguir.

4.1.1 VPL – VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O Método do valor presente líquido tem por finalidade analisar o impacto de rendimentos futuros com base no valor presente do capital. De maneira geral mede os valores presentes do fluxo de caixa gerado pelo projeto de investimento no decorrer de toda sua vida útil (Samanez, 2002). Seu cálculo é feito de acordo com a seguinte expressão:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (4.1)$$

I é o valor do investimento Inicial, FC_t é o fluxo de caixa no t -ésimo período e k é o custo do capital. Na equação são levados em conta os retornos financeiros do primeiro ao período n .

De maneira geral este método desloca todo o fluxo de caixa para a data de investimento do projeto por uma taxa de juros presumida e soma algebricamente os valores. Caso a soma for positiva, ou seja, se os ganhos oriundos do projeto deslocados para a data do investimento forem maiores que o investimento, diz-se que o projeto criará valor, caso este valor seja negativo o projeto acarretará prejuízo.

Segundo esse método o investimento é viável sempre que o valor do VPL for maior que zero. Quanto maior o valor do VPL mais viável é o investimento.

4.1.2 VFL – VALOR FUTURO LÍQUIDO

A mesma análise do VPL pode ser feita em termos de valor futuro. Neste caso todos os valores do fluxo de caixa e o investimento inicial são deslocados para o final do projeto, de acordo com custo de capital adotado, conforme a seguinte expressão.

$$VFL = -I(1+k)^n + \sum_{t=1}^n FC_t(1+k)^{n-t} \quad (4.2)$$

As incógnitas são as mesmas do VPL e o projeto será viável se o valor de VFL for Positivo. Quanto maior o valor do VFL mais viável é o investimento.

Os resultados do VPL e VFL são equivalentes mudando apenas o tempo de análise.

4.1.3 TIR – TAXA INTERNA DE RETORNO

Muitos investidores preferem tomar decisões com base em valores percentuais, neste caso pode-se usar a TIR. A TIR é a taxa de retorno esperada do projeto de investimento. O objetivo primordial da TIR não é fazer uma avaliação absoluta da rentabilidade como o VPL, visa somente encontrar uma taxa intrínseca de rendimento. De maneira mais geral a TIR é uma taxa de retorno hipotética que anula o VPL. Em termos gerais temos:

$$VLP = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (4.3)$$

A regra geral da TIR é empreender sempre que a TIR for maior que o custo de oportunidade de capital (k), neste caso o projeto criará valor, caso contrário não se deve investir.

- Se $TIR > k$, Projeto economicamente viável;
- Se $TIR < k$, Projeto economicamente inviável.

O calculo da TIR é feito com o auxilio de softwares como Excel ou Matlab[®] devido à complexidade do cálculo analítico.

4.1.4 PAYBACK

Este método é usado sempre que se deseja obter o tempo de retorno do investimento inicial. Analisando o caso onde as receitas mensais obtidas com o investimento são fixas o Payback é calculado segundo a seguinte expressão:

$$PB = \frac{I}{Re} \quad (4.4)$$

I é o investimento inicial, Re são as receitas fixas obtidas em um determinado período fixo que pode ser semanal, mensal, anual, ou outro intervalo de interesse.

Quando as receitas não são fixas o payback é o tempo necessário para que o somatório dos ganhos com o projeto se igualem ao valor do investimento.

Esse método não considera o valor do dinheiro no tempo e faz apenas o estudo do tempo de recuperação do capital, sendo assim não é um método muito eficaz. Ao fim do processo obtém-se apenas o tempo de retorno do capital investido.

4.2 ANÁLISE ECONÔMICA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

CONECTADOS A REDE

Para um melhor entendimento do estudo serão considerados projetos com potências variadas aplicados a consumidores residenciais, com baixas potências de geração, e a consumidores comerciais, com potências mais elevadas. Por se tratar de um método mais geral e considerar o valor do capital no instante presente, será considerado o método VPL, mas serão usados também o TIR e Payback.

Como se trata de um investimento de longo prazo deve-se considerar o valor do capital no tempo através do custo de oportunidade. O custo de oportunidade é um termo usado em economia que se refere ao custo de algo em função de outra oportunidade renunciada, ou de maneira geral, corresponde ao que se deixa de ganhar em uma segunda alternativa por se escolher a primeira.

Sendo assim o investimento pretendido precisa render mais que o custo de oportunidade de capital, caso contrário não se justifica. Como métodos de comparação pode-se usar o investimento em outro projeto, o rendimento em algum fundo de investimento bancário, como a poupança; o rendimento de títulos do tesouro nacional ou outro investimento qualquer.

Para o estudo de viabilidade de sistemas de energia fotovoltaica será considerado como custo de capital o rendimento anual da poupança em 2013, sendo esse o custo de oportunidade. Esse meio de comparação foi utilizado por se tratar de um fundo de fácil acesso e com baixo rendimento. Sendo assim se o projeto não for viável em comparação

com este tipo de investimento, dificilmente será viável em comparação com outros investimentos.

Segundo dados do jornal online G1(G1) o rendimento anual da poupança em 2013 foi de 5,8% para investimentos feitos a partir de maio de 2013. Considerando o método de análise VPL, para que o investimento seja viável financeiramente é necessário que os ganhos econômicos recebidos em todo o período de validade do projeto deslocados para o seu início por uma taxa de 5,8% e somados, seja maior que o investimento total do projeto deslocado para o mesmo período de tempo. Caso isso não ocorra o projeto não será viável. Da mesma forma a TIR do projeto precisa ser maior que 5,8%, caso contrário o projeto não se justifica.

Foi considerado que os sistemas serão instalados na cidade de Campina Grande (Latitude: -7.23072; Longitude: -35.8817) na Paraíba, onde segundo o Cresesb – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (Cresesb), existe uma radiação média anual de 5,09 kWh/ m².

5 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS

FOTOVOLTAICOS

O dimensionamento é feito com base nos dados de irradiação solar contidos no site do cresesb-Cepel. Esse site possui um banco de dados que fornece as irradiações médias mensais e anuais em kWh/m² em todo o território nacional, bastando informar a latitude e longitude do local desejado.

Nos projetos contidos neste trabalho foram usados o painel fotovoltaico Yingli YL250P 29b, cujos dados técnicos são apresentados a seguir.

Tabela 5.1. Dados técnicos do painel Yingli YL250P 29b.

Parâmetros	Valores
Potência de Pico	250 Wp
Comprimento	1,65 m
Largura	0,99 m
Altura	0,04 m
Eficiência	15,3 %
Voltagem de Potência Máxima	29,8 V
Voltagem de circuito Aberto	37,9 V
Corrente de Potência Máxima	8,39 A
Corrente de Curto Circuito	8,92 A

O dimensionamento do sistema pode ser feito por 2 métodos. O primeiro pela média de energia que se deseja gerar mensalmente e o segundo pela potência de pico do sistema, os dois métodos serão vistos a seguir.

5.1 DIMENSIONAMENTO PELA MÉDIA DA ENERGIA QUE SE DESEJA GERAR MENSALMENTE

Sabendo as dimensões do painel e a sua eficiência pode-se calcular a energia diária média convertida em energia elétrica pelo painel pela seguinte expressão:

$$E = Ir \cdot A \cdot Ef \quad (5.1)$$

Onde:

- E é a energia elétrica diária média convertida pelo painel;
- Ir é a irradiação média anual em kWh/m² no local;
- A é a área de superfície do Painel, dada pela multiplicação do comprimento pela largura;
- Ef é a eficiência de conversão do painel fotovoltaico.

Uma vez obtida a energia diária, basta multiplicar esse valor por 30, para obter a energia média mensal (Em) gerada por cada painel fotovoltaico.

$$Em = E \cdot 30 \quad (5.2)$$

De posse da energia média mensal gerada por cada painel, basta dividir a energia que se deseja gerar mensalmente (Eg) pela energia média mensal gerada por cada painel para encontrar a quantidade de painéis necessários para o sistema.

$$Quantidade\ de\ Painéis = \frac{Eg}{Em} \quad (5.3)$$

5.2 DIMENSIONAMENTO PELA POTÊNCIA DE PICO DO SISTEMA

Sabendo a potência de pico total do sistema (Pps) pode-se dividir esse total pela potência de pico (Pp) do painel fotovoltaico que se deseja usar encontrando diretamente a quantidade de painéis necessários.

$$Quantidade\ de\ paineis = \frac{Pps}{Pp} \quad (5.4)$$

Para calcular a energia média que o sistema gera mensalmente basta multiplicar a energia produzida por cada painel, que pode ser calculada segundo com as expressões 5.1 e 5.2, pela quantidade de painéis obtida na expressão 5.4.

5.3 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

O inversor é dimensionado com base na potência de pico do sistema e considerando o Fator de dimensionamento do Inversor – FDI. Sendo assim a potência máxima do inversor deve ser no máximo a potência de pico do sistema, uma vez que o preço do inversor aumenta com a potência e a eficiência aumenta a medida que se trabalha próximo da potência máxima.

O FDI é a razão entre a potência de pico do inversor e a potência de pico do sistema. Como a potência de pico dos painéis são definidas com base em uma irradiação de 1000 w/m^2 e dificilmente esse nível de irradiação é atingido na região de estudo, geralmente o sistema trabalha abaixo da capacidade de geração e a potência máxima é atingida poucas vezes.

Devido a esse fato costuma-se usar inversores com potências abaixo da potência do sistema, ou seja, FDI menores que um. Em estudo realizado por Macêdo (Macêdo, 2006) constatou-se que a diminuição na geração de energia geralmente é inferior a 50 kWh/kWp por ano para um FDI de 0,55 e esse valor tende a diminuir quando este se aproxima da unidade.

De maneira geral um FDI acima de 0,8 é usual para sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica.

6 CÁLCULO DA DISTÂNCIA ENTRE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Dada a configuração da figura 6.1, deseja-se calcular a distância entre painéis fotovoltaicos de modo que se evite sombreamento entre os painéis independente do dia do ano.

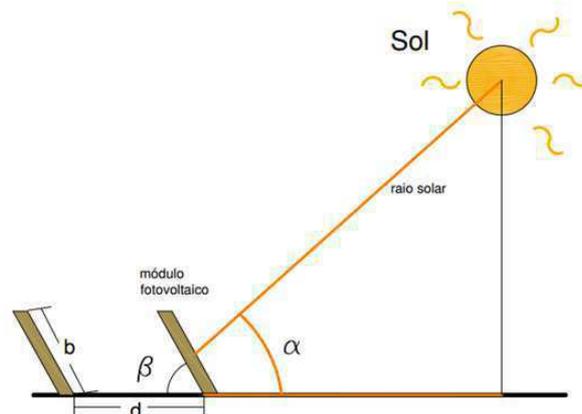


Figura 6.1. caso base para calculo de distancia entre módulos fotovoltaicos de modo que se evite o sombreamento.

Para determinar a distância d entre os paineis fotovoltaicos é necessário saber o comprimento do painel usado b , a inclinação do painel β e a altura solar α .

Cada painel tem seu próprio comprimento e este pode ser obtido diretamente no catálogo do fabricante. A inclinação é característica do local da instalação e é definida basicamente pela soma da latitude do local com 15° para todo o hemisfério sul, o painel deve ficar apontado para o norte.

Para determinar a altura solar é necessário determinar antes a declinação solar, que é definida pela expressão:

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left[\frac{360}{365} \cdot (284 + N) \right] \quad (6.1)$$

Onde N é o numero do dia do ano contado a partir do dia 1 de janeiro: Exemplo: em 31 de março $N = 90$; e 23,45 é o ângulo de inclinação da terra.

Declinação do Sol é a distância angular do Equador ao paralelo do astro. Pode ser norte ou sul consoante o Sol esteja acima ou abaixo do Equador. Este fenômeno dá origem às estações do ano. A 21 de Março e 21 de Setembro são os equinócios da Primavera e Outono, quando o Sol passa exatamente sobre o Equador. A 21 de Dezembro o sol está afastado do Equador $23^\circ 26'$ para o Sul, incidindo exatamente sobre

o Trópico de Capricórnio, dando origem ao solstício de Inverno no hemisfério Norte e ao de Verão no oposto. Ao contrário, a 21 de Junho o sol está sobre o Trópico de Câncer, afastado do Equador $23^{\circ} 26'$ para o Norte, dando origem ao solstício de Verão neste hemisfério e ao de Inverno no oposto. Este esquema pode ser visto na figura 6.2.

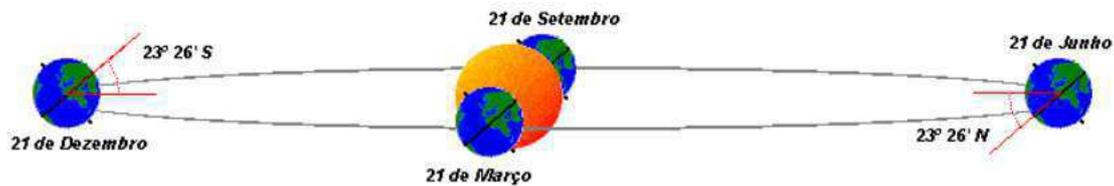


Figura 6.2. Declinação solar durante o ano. Fonte:

<http://www.ancruzeiros.pt/declina%C3%A7%C3%A3o-do-sol>.

Para achar o seno da altura solar α usa-se a seguinte expressão:

$$\text{sen}(\alpha) = \cos(L) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \text{sen}(L) \cdot \text{sen}(\delta) \quad (6.2)$$

Onde:

- L é a latitude do local (Negativa no hemisfério sul);
- δ é a inclinação solar;
- ω é o ângulo do sol em relação ao meio dia (consideremos zero).

Em seguida calcula-se:

$$\alpha = \text{sen}^{-1}(\alpha) \quad (6.3)$$

A altura solar é simplesmente o ângulo que o sol faz com o horizonte.

Usando trigonometria conclui-se que a distância entre módulos d para evitar sombreamento é dada pela seguinte Expressão:

$$d = \frac{b \cdot \text{sen}(180 - \beta - \alpha)}{\text{sen}(\alpha)} \quad (6.4)$$

7 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

Para se fazer um dimensionamento para aquecimento solar inicialmente é necessário fazer uma estimativa da quantidade de água quente que se necessita diariamente. Em seguida deve-se buscar uma estimativa da irradiação diária de energia por metro quadrado sobre a região de interesse. Esses dados podem ser obtidos no simulador Sundata do Cresesb-Cepel (CRESESB-CEPEL).

O próximo passo é identificar a temperatura média anual da água na região de interesse e definir a temperatura final que se deseja atingir. Se a temperatura ultrapassar os 60 °C é indicado o uso de coletores solares a vácuo.

De posse desses dados pode-se calcular a energia necessária para aquecer a água diariamente pela expressão 7.1.

$$E_n = m \cdot c \cdot \Delta t / 3600 \quad (7.1)$$

Onde:

- E_n é a energia necessária para aquecer a água em kWh.
- m é a massa em kg da água, dada pela multiplicação do volume em m^3 pela densidade da água, que é de 1000 kg/m³.
- c é o calor específico da água que é aproximadamente 4,486 kJ/kg°C
- Δt é a variação de temperatura do processo

Em seguida é necessário escolher o coletor desejado no projeto. Neste trabalho foram considerados coletores solares da soletrol, que apresentam uma área total de 2m² e eficiência de conversão de 59,7%. Definido o coletor é possível calcular a área de painéis necessária:

$$A_p = \frac{E_n}{D_E * E_f} \quad (7.2)$$

Em que:

- A_p é a área necessária de painéis coletores solares em m²;
- D_E é a densidade de energia diária média na região em kWh/m²;
- E_f é a eficiência de conversão do coletor solar.

Como o coletor usado tem 2 metros de área para encontrar a quantidade de coletores necessária, basta dividir A_p por 2 e arredondar para o número inteiro superior mais próximo.

8 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

No decorrer do estágio foram realizadas várias atividades. As principais serão listadas a seguir:

8.1 PROJETOS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE E ISOLADOS

Foram feitos alguns projetos de sistemas fotovoltaicos para conexão a rede elétrica, desde projetos pequenos e experimentais até projetos maiores, com até 50 kWp de potência instalada.

Alguns projetos foram feitos de forma completa, desde a verificação da área disponível para instalação, cálculo de distância entre painéis, projeto das estruturas de sustentação, levantamento da documentação disponível para solicitação de acesso, cotação de preços de equipamentos, cálculos de viabilidade econômica e preparação de relatórios técnicos para apresentação ao cliente.

8.2 PROJETOS DE AQUECIMENTO SOLAR

Durante o estágio também foi realizado um projeto de substituição de chuveiros com resistências elétricas por chuveiros com aquecimento solar na cidade de João Pessoa. O projeto consistiu no dimensionamento de área de painéis e de boilers de armazenamento de água quente em um vestiário de uma empresa.

8.3 PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Foram feitos também projetos na área de eficiência energética. Esses projetos eram focados principalmente na substituição de equipamentos com baixo rendimento por equipamentos com rendimento mais elevado sem perdas de funcionalidades.

A maioria dos projetos focava na área de iluminação eficiente, com substituição de lâmpadas menos eficientes por lâmpadas de LED eficientes. Em seguida uma proposta de atendimento era preparada para o cliente indicando a o investimento inicial, tempo de retorno do investimento, valor economizado anualmente e durante todo o tempo de vida do projeto.

9 RESULTADOS

A seguir são apresentados alguns trabalhos realizados no decorrer do estágio.

9.1 PROJETO FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE PARA FIEP

– FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA PARAÍBA

A Federação das Indústrias do Estado da Paraíba – FIEP, está localizada na Avenida Manoel Gonçalves Guimarães, 195 - José Pinheiro, Campina Grande – PB. Trata-se de um prédio com seis andares e que é composto por vários escritórios.

A conexão elétrica é trifásica com entrada em 13,8 kV na subestação e conversão para 220/380 V para uso geral. A modalidade tarifária é horo-sazonal verde, onde a demanda contratada é única e a tarifa é dividida de acordo com o horário do dia em ponta ou fora de ponta.

Como a Conexão com a rede ocorre em 13,8 kV a Fiep está enquadrada no grupo “A4”, ou seja, grupo cuja tensão de entrada está entre 2,3 a 25 kV. No local já existe aplicações solares, a exemplo do poste solar, que funciona de forma isolada, armazenando a energia em baterias durante o dia para utilizá-la à noite.

Devido ao interesse por parte da diretoria quanto a preservação do meio ambiente, existe o intenção de instalar um sistema solar conectado a rede elétrica que seria o maior da Paraíba desde a publicação da resolução 482 de 17 de Abril de 2012 da Aneel, que estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica.

No local existe uma área de laje disponível para instalação de aproximadamente 77,5kWp de painéis fotovoltaicos, sendo a intenção inicial a instalação de 50 kWp, totalizando aproximadamente 200 painéis de 250 Wp. A geração equivalente aos painéis representa uma faixa entre 10 e 15% do consumo no local a depender do mês do ano, segundo o histórico de contas de energia do último ano. A seguir são apresentadas algumas fotos de montagens feitas com a inclusão dos painéis no prédio.



Figura 9.1. Montagem do prédio da FIEP mostrando os painéis dispostos na laje apontados para o norte.



Figura 9.2. Montagem do prédio da Fiep mostrando a disposição dos painéis na laje.

9.1.1 DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E CÁLCULO DA ENERGIA MÉDIA MENSAL.

No projeto foi usado o painel fotovoltaico Yingli YL250P 29b, cujos dados técnicos foram apresentados na tabela 5.1.

O dimensionamento neste caso é feito com base na potência de pico do sistema. A quantidade de painéis necessários é calculada com base na expressão 5.4.

$$\text{Quantidade de Painéis} = \frac{50000 \text{ kWp}}{250 \text{ kWp}} = 200 \text{ Paineis} \quad (9.1)$$

Para encontrar a energia gerada mensalmente por cada painel basta utilizar as expressões 5.1 e 5.2. Em seguida basta multiplicar este valor pela quantidade de painéis para encontrar a energia mensal média gerada.

$$E = 5,09 \cdot (1,65 \cdot 0,99) \cdot 0,153 = 1,2721 \text{ kWh/dia} \quad (9.2)$$

$$Em = E \cdot 30 = 38,1636 \text{ kWh/dia} \quad (9.3)$$

$$Eg = 200 \cdot 38,1636 = 7.632,72 \text{ kWh/mês} \quad (9.4)$$

9.1.2 CÁLCULO DA DISTÂNCIA ENTRE FILEIRAS DE PAINÉIS

Para um melhor ajuste da distância deve-se usar a inclinação solar no dia mais curto do ano (solstício de inverno em 21 de junho). Neste caso o valor de N será 172. b = 0,99 m e $\beta=23^\circ$. Para este dia o sombreamento é máximo, assim como a declinação solar. Usando a expressão 6.1 calculamos a declinação solar aproximada:

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left[\frac{360}{365} \cdot (284 + 172) \right] = 23,43 \quad (9.5)$$

Para a cidade de Campina Grande, foco do estudo, a latitude é $7,2^\circ$ sul, logo a inclinação do painel é dada por este valor somado a 15° , totalizando $-22,2^\circ$. Sabendo que o comprimento do painel usado é 1,65 m e considerando que o ângulo de inclinação do sol em relação ao meio dia é 0° o seno do ângulo da altura solar no solstício de inverno será:

$$\text{sen}(\alpha) = \cos(-22,2) \cdot \cos(23,43) \cdot \cos(0) + \text{sen}(-22,2) \cdot \text{sen}(23,43) \quad (9.6)$$

$$\text{sen}(\alpha) = 0,8605 \quad (9.7)$$

$$\alpha = 59,37 \quad (9.8)$$

Logo a distância mínima entre os painéis para evitar sombreamento durante todo o ano deve ser:

$$d = \frac{1,65 \cdot \text{sen}(180 - 22 - 59,37)}{0,8605} = 1,88m \quad (9.9)$$

Este valor obtido na expressão 9.9 foi arredondado para 2 metros no projeto original, como margem de segurança.

9.1.3 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR PARA UM FDI DE 0,9

Para se obter um FDI igual a 0,9 é necessário que as potências somadas dos inversores usados sejam de:

$$P_{inversor} = FDI * Pps \quad (9.10)$$

$$P_{inversor} = 0,9 * 5.0000 = 45.000 \text{ wp} = 45 \text{ kWp} \quad (9.11)$$

9.1.4 LEVANTAMENTO DE ÁREA DISPONÍVEL PARA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.

Foram realizadas medições na laje que fica na entrada da FIEP, na ocasião chegou-se conclusão que a área disponível para instalação de painéis era suficiente para alocar aproximadamente 77,5kWp em painéis. Nesta ocasião foram excluídas regiões com sombreamento e inclinações. Ainda seria possível alocar mais painéis caso fossem usadas as áreas inclinadas, mas seriam necessárias estruturas de sustentação especiais. Na figura 9.3 tem-se um esboço da região.

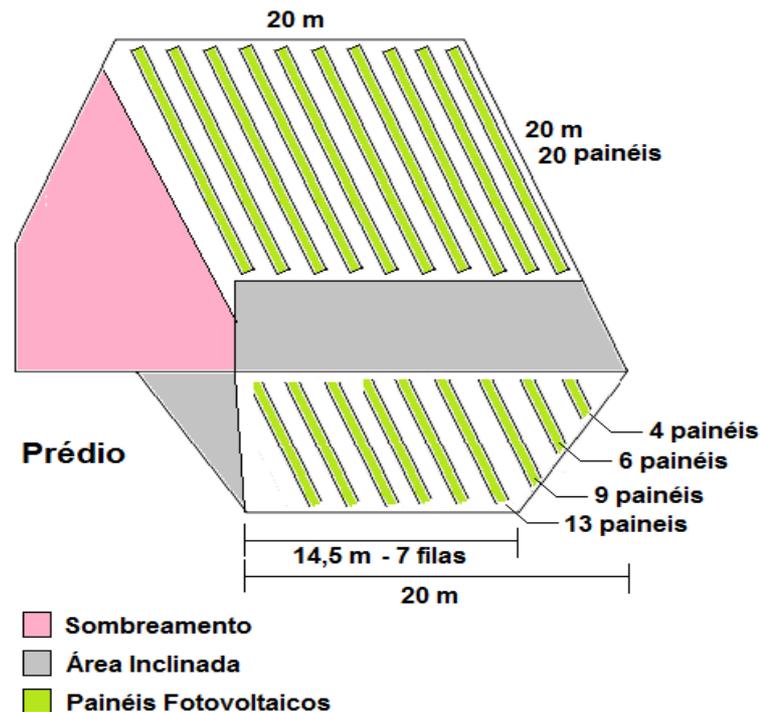


Figura 9.3. Esboço da área onde os painéis fotovoltaicos seriam instalados.

9.1.5 ORÇAMENTO E ANÁLISE ECONÔMICA DO PROJETO.

Por se tratar de um sistema de maior porte foi solicitado um orçamento completo de uma empresa especializada em energia solar a Neosolar Energia. O orçamento é apresentado na tabela 9.1.

O orçamento leva em conta a utilização de 3 inversores Schneider conext TL de 15000 Wp. Somados os três inversores resultam em uma potência total de 45kWp, o que garante o FDI desejado de 0,9 para o sistema. As características básicas do inversor Schneider Conext TL 15000 são apresentadas a seguir:

- 50 ou 60 Hz;
- Potência de 15 kW e trifásico;
- Possui dois MPPT com faixa de tensão entre 350 e 800 V;
- Testado e qualificado para severas condições ambientais (teste de confiabilidade MEOST);
- Eficiência acima de 98%;
- Possui funcionalidades de suporte à rede como: compensação de reativos e suportabilidade de sobtensões.

Tabela 9.1. Custos da empresa Neosolar Energia para um sistema de geração fotovoltaica de 50 kWp.

Equipamento/material/Serviço	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL250P 29b (250Wp)	204	854,17	174.250,58
Inversor Schneider Conext TL 15000 E (PVSCVC15000)	3	29.164,05	87.492,15
Suporte para fixação dos painéis fotovoltaicos	1	46.920,00	46.920,00
Material elétrico de instalação do sistema fotovoltaico	1	20.400,00	20.400,00
Serviço de instalação do sistema fotovoltaico	1	56.100,00	56.100,00
Projeto elétrico e regularização do sistema	1	19.810,00	19.810,00
		Total	404.972,83

Neste caso nota-se que a empresa incluiu 4 painéis extras no orçamento, considerando a instalação em Campina Grande na Paraíba, os 204 painéis juntos gerariam 7.785,38 kWh/Mês ou 93.424,55 kWh/Ano. Sabendo que a taxa média de contrato é de 0,139 R\$/kWh em horário fora de ponta, nos primeiros 12 meses a economia é de R\$ 1.082,17 e no primeiro ano é de R\$ 12.986,01. Considerando um aumento na tarifa de energia de 5% ao ano até o fim do projeto, os valores economizados até o vigésimo quinto ano são apresentados na tabela 9.2, bem como esses valores deslocados para o ano de 2014 segundo a taxa de rendimento anual da poupança em 2013 de 5,8%.

Tabela 9.2. Valores estimados de economia em cada ano de operação do projeto e seus respectivos valores deslocados para o início do projeto.

Ano	Valor Economizado Anualmente		Valor Presente em 2014	
2015	R\$	12.986,01	R\$	12.274,11
2016	R\$	13.635,31	R\$	12.181,30
2017	R\$	14.317,08	R\$	12.089,20
2018	R\$	15.032,93	R\$	11.997,78
2019	R\$	15.784,58	R\$	11.907,06
2020	R\$	16.573,81	R\$	11.817,03
2021	R\$	17.402,50	R\$	11.727,68
2022	R\$	18.272,62	R\$	11.639,00
2023	R\$	19.186,26	R\$	11.550,99
2024	R\$	20.145,57	R\$	11.463,65
2025	R\$	21.152,85	R\$	11.376,97
2026	R\$	22.210,49	R\$	11.290,94
2027	R\$	23.321,01	R\$	11.205,56
2028	R\$	24.487,06	R\$	11.120,83
2029	R\$	25.711,42	R\$	11.036,74
2030	R\$	26.996,99	R\$	10.953,29
2031	R\$	28.346,84	R\$	10.870,47
2032	R\$	29.764,18	R\$	10.788,27
2033	R\$	31.252,39	R\$	10.706,70
2034	R\$	32.815,01	R\$	10.625,74
2035	R\$	34.455,76	R\$	10.545,39
2036	R\$	36.178,55	R\$	10.465,65
2037	R\$	37.987,47	R\$	10.386,52
2038	R\$	39.886,85	R\$	10.307,98
2039	R\$	41.881,19	R\$	10.230,04
Total	R\$	619.784,71	R\$	280.558,91

Sabendo o montante do investimento inicial e a soma do valor presente dos valores economizados em cada ano pode-se calcular o VPL.

$$VPL = -404.972,83 + 280.558,91 = R\$ - 124.413,92 \quad (9.12)$$

Pode-se notar que o VPL para este projeto é negativo e por este motivo o projeto não é viável economicamente. Pode-se verificar que a TIR do projeto é 2,92%, valor este inferior ao custo de oportunidade de 5,8%, referente ao rendimento anual da poupança em 2013, o que confirma a inviabilidade. O Payback para este projeto é de aproximadamente 20 anos e 3 meses.

À medida que a potência instalada cresce para níveis comerciais e industriais, as tarifas contratadas com a concessionária diminuem significativamente em horário fora de ponta, que é o horário de funcionamento do sistema, passando de 0,2898 R\$/kWh para 0,139 R\$/kWh, segundo valores fixados em contrato pela FIEP. Este fato tende a inviabilizar esse tipo de projeto financeiramente para empresas que trabalham a nível comercial e industrial, onde as tarifas são mais baixas.

Nos cálculos feitos até o momento não foram levados em conta impostos como PIS, COFINS e ISMS que a maioria dos estados brasileiros cobra sobre a energia produzida que não é consumida instantaneamente e retorna pelo medidor para o sistema de distribuição. A inclusão desses impostos tornaria o sistema em questão ainda menos viável.

Espera-se para os próximos anos que o aumento nas taxas de energia e a redução de custos nos equipamentos, associado a incentivos governamentais torne esse tipo de sistema mais viável, tornando possível a massificação do uso de sistemas fotovoltaicos conectados a rede.

Do ponto de vista ambiental o projeto é viável, uma vez que esse tipo de geração evita que sejam emitidos na atmosfera grandes quantidades de CO₂ anualmente.

9.2 PROJETO DE AQUECIMENTO SOLAR

Para uma empresa de João Pessoa foi realizado um projeto de substituição de chuveiros com resistência elétrica por chuveiros abastecidos por água aquecida pelo sol.

Segundo dados estimados o consumo de água quente no local é de aproximadamente 1500 Litros por dia, que multiplicado por uma média de 22 dias úteis no mês, resulta em um consumo total de 33.000 litros de água quente. Os dados de insolação média do site Cresesb-Cepel, indicaram que na região de João Pessoa o sol irradia em média 5,5 kWh/m² por dia.

Considerou-se ainda a temperatura inicial da água igual a 20°C e a temperatura final de 60°C. Nessas condições calcula-se que a energia diária necessária para tal condição é dada por:

$$E_n = \frac{1.000 * \left(\frac{1500}{1.000}\right) * 4,186 * (60 - 25)}{3600} = 61,05 \frac{kWh}{dia} \quad (9.13)$$

Pode-se calcular a área de coletores solares que se precisa por meio da expressão 7.2.

$$A_P = \frac{61,05}{5,5 * 0,597} = 11,1 m^2 \quad (9.14)$$

Dividindo este valor por 2, que é a área do painel, e arredondando para o inteiro posterior mais próximo obtêm-se um total de 6 coletores. Para armazenamento da água quente foram dimensionados 2 boilers de 800 litros cada um, também da marca Soletrol.

Antes do fim do estágio foi começado um novo projeto para substituição de resistências elétricas usadas para aquecimento de água, que somadas totalizavam uma potência total de 12 kW. As resistências faziam parte de uma máquina injetora de solados para calçados e serviam para aquecer as matrizes antes da injeção.

Neste projeto a pretensão era usar coletores solares com tubos a vácuo, tendo em vista que se precisava atingir temperaturas da ordem de 70°C. O projeto continua em andamento na empresa.

9.3 PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Foram feitos alguns projetos de substituição de luminárias de vapor de mercúrio e de sódio por luminárias LEDs eficientes em galpões de separação de mercadorias. Nos projetos o local era analisado e em seguida as luminárias mais adequadas eram escolhidas conforme informações do fabricante. Eram analisados o fluxo luminoso, índice de reprodução de cor, altura de instalação, economia mensal e anual, tempo de vida do projeto e em seguida uma proposta era submetida ao cliente informando valor total do investimento e tempo de retorno e lucro no período do projeto.

10 CONCLUSÃO

No decorrer do estágio os objetivos principais foram atingidos e vários projetos foram desenvolvidos principalmente na área de sistemas fotovoltaicos conectados a rede. Neste sentido as atividades desenvolvidas tiveram êxito.

Através da verificação de tendências e da participação de conferências sobre os temas no período do estágio verificou-se que a área de eficiência energética e energias renováveis devem sofrer um forte impulso nos próximos anos devido ao esperado aumento nas tarifas de energia das concessionárias e a crescente diminuição de preços de painéis e inversores destinados a tecnologia fotovoltaica. Sendo assim esta é uma ótima área de especialização para os próximos anos não somente na área solar, mas também na eólica.

Os profissionais do SENAI são de excelente qualidade e a relação interpessoal sempre foi a melhor possível. Sempre houve companheirismo na resolução de problemas e nunca foram poupados esforços para auxiliar em alguma atividade.

As disciplinas acadêmicas que mais auxiliaram no estágio foram instalações elétricas e geração de energia elétrica e durante o estágio senti a falta de maiores conhecimentos sobre energias renováveis que não são muito abordadas no curso e que com a situação energética atual do Brasil tendem a crescer bastante nos próximos anos.

BIBLIOGRAFIA

ANEEL-1. **Matriz Energética Brasileira**. Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/operacaocapacidadebrasil.asp>>. Acesso em: 20 Maio de 2014.

ANEEL-2. **Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodíst,Módulo 3**. Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo3_Revisao_5_Retifica%C3%A7%C3%A3o_1.pdf>. Acesso em: 5 Maio de 2014

ANEEL-4. **Resolução Normativa N°482, De 17 de Abril de 2012**. Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 5 Maio de 2014.

ANEEL-5. **Resolução Normativa N° 414, DE 9 de Setembro de 2010**. Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 7 de Setembro de 2014.

BRUGER, Bruno. **Electricity production from solar and wind in Germany in 2014**. Fraunhofer Institute. Disponível em: <<http://www.ise.fraunhofer.de/en/downloads-englisch/pdf-files-englisch/data-nivc/-electricity-production-from-solar-and-wind-in-germany-2014.pdf>>. Acesso em: 25 de Maio de 2014.

CONFAZ. **Convênio de ICMS 10, de 21 Março de 2014**. Conselho Nacional de Política Fazendária – Confaz. Disponível em: <http://www1.fazenda.gov.br/confaz/Confaz/Convenios/icms/2014/CV010_14.htm>. Acesso em: 20 Maio de 2014.

CRESESB-CEPEL. **Potencial Energético Solar - SunData**. CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito; CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/>>. Acesso em: 25 de Junho de 2014.

G1. **Poupança nova perdeu para inflação em 2013; Antiga e Dólar ganharam**. Jornal online G1. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/seu-dinheiro/noticia/2014/01/dolar-poupanca-e-alguns-titulos-do-tesouro-bateram-inflacao-em-2013.html>>. Acesso em 21 de Maio de 2014.

GREENPEACE. **Os Brasileiros Diante da Microgeração de Energia Renovável**. Greenpeace e Market Analysis. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/documentos/2013/Os%20brasileiros%20diante%20da%20microgera%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 02 de Maio de 2014.

MACÊDO, W. N.. **Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados a rede**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo - USP. 2006.

MIRANDA, A. B.C. M..**Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado a rede**. Trabalho de conclusão de curso.Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica. Março 2014.

PEREIRA, E. B; et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP; Primeira Edição, 2006.

SANTANA, P. H. F.; CAMACHO, J. R.; MOURA, F. A. M.; TOLENTINO, G. C. A.. **Análise da Operação de Aero-Geradores Conectados ao Sistema de Média Tensão**. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE. Abril 2014.

SANTOS, A.; NETO A. S.; ANDRADE F. C.; SANTOS V. S.. **Análise de equivalente de Parques Eólicos no Domínio da Frequência**. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE. Abril 2014.

SIQUEIRA L. M. P.. **Viabilidade da Microgeração de Energia Elétrica em Uma Residência Por um Sistema Composto Por Painéis Fotovoltaicos Conectados à Rede**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica. Agosto 2013.