



JOSÉ VALDERI CAVALCANTE SILVA

**PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE
ELÉTRICA PARA A UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA,
CAMPUS DE ITAPETINGA**

LAVRAS-MG

2013

JOSÉ VALDERI CAVALCANTE SILVA

**PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
CONECTADO À REDE ELÉTRICA PARA A UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA, CAMPUS DE ITAPETINGA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

Orientador

Prof. Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS - MG

2013

JOSÉ VALDERI CAVALCANTE SILVA

**PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
CONECTADO À REDE ELÉTRICA PARA A UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA, CAMPUS DE ITAPETINGA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

APROVADA em 14 de março de 2013

Prof. Gilmar Tavares, Dr. (UFLA)

Prof. Luciano M. Dos Santos, Ms. (UFLA)

Prof. Carlos Alberto Alvarenga, Ms.

(Orientador)

LAVRAS – MG

2013

A DEUS, a qual minha vida pertence.

À minha esposa, Joelma, pelo apoio e incentivo em mais uma fase da nossa caminhada.

Aos meus filhos, Gustavo e Samuel, por tanta compreensão, amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor meu DEUS, por mais essa vitória a mim concedida.

A minha família, pelo amor, carinho e paciência em todos os momentos em que precisei intensamente estudar.

À Universidade Federal de Lavras, pelo curso de Pós-Graduação oferecido com qualidade.

Ao coordenador do curso e orientador, Dr. Gilmar Tavares, pela orientação.

Ao professor orientador, Carlos Alberto Alvarenga, pelas orientações e idéias sugeridas no estudo e pesquisa.

À tutora do curso, Iara, por ter nos orientado no ambiente AVA.

À professora Marta Quadros Fernandes, do IFBA de Vitória da Conquista, pela revisão de texto do TCC.

Aos professores e ao curso de Pós-Graduação em Formas Alternativas de Energia e funcionários da UFLA, pela organização e receptividade.

Aos colegas do curso FAE, pela união e alegrias vividas nos encontros presenciais.

RESUMO

Uma das tecnologias renováveis mais recentes e que vem sendo cada vez mais utilizada nos países desenvolvidos é a energia solar fotovoltaica. A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis é uma tendência em diversos países, em especial, na Europa, Estados Unidos e Austrália. Este trabalho apresenta um estudo de caso do pré-dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico integrado a uma edificação, o laboratório da Universidade do Sudoeste da Bahia, setor público. O objetivo do sistema é gerar energia elétrica para a edificação a partir da energia solar, com utilização de placas solares fotovoltaicas conectadas à rede elétrica, verificando a relação entre esta geração e o consumo do prédio. Não houve a pretensão de esgotar todas as possibilidades neste estudo, haja vista a versatilidade da energia solar. O Brasil necessita aumentar sua oferta de energia, entretanto, esta ação estratégica deve ser integrada de forma a desenvolver a sociedade nas áreas econômica, social e ambiental. Os sistemas fotovoltaicos podem ser integrados às edificações, não ocupando área extra. Estes sistemas utilizam uma fonte renovável, silenciosa e limpa e não apresentam perdas por transmissão e distribuição, pois a geração ocorre junto ao ponto de consumo. Com a resolução normativa da ANEEL, n.º 482 de 17 de abril de 2012, o Brasil possibilita o investimento em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. A Resolução cria o Sistema de Compensação de Energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores fotovoltaicos em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. Este trabalho caracteriza os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR), descreve os principais componentes e materiais e apresenta sistemas em operação no território brasileiro.

Palavras-Chave: Energia Solar. Geração Distribuída. Eficiência Energética. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.

ABSTRACT

One of the latest renewable technologies that are being increasingly used in developed countries is solar photovoltaic. The generation of electricity from renewable sources is a trend in many countries, especially in Europe, USA and Australia. This paper presents a case study of pre-sizing of a solar photovoltaic system integrated into a building, the lab at the University of Southwest Bahia, public sector. The goal of the system is to generate electricity for the building from solar energy, using photovoltaic solar panels connected to the grid by checking the relationship between this generation and consumption of the building. There was no claim to exhaust all possibilities in this study, given the versatility of solar energy. Brazil needs to increase its energy supply, however, this strategic action must be integrated in order to develop the company in the economic, social and environmental. Photovoltaic systems can be integrated into buildings, occupying no extra area. These systems use a renewable, clean and quiet and not have transmission and distribution losses, because the generation occurs near the point of consumption. With the rules of ANEEL Resolution nº 482 of April 17, 2012, Brazil allows investment in PV systems connected to the grid. The Resolution creates the Clearing System Energy, which allows consumers to install small photovoltaic generators in its consumer unit and exchange energy with the local distributor. This study characterizes the photovoltaic systems connected to the grid (SFVCR), describes the main components and materials and has systems in operation in Brazil.

Keywords: Solar Energy. Distributed Power Generation. Energy Efficiency. Grid Connected Photovoltaic Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Matriz elétrica brasileira.....	23
Figura 2	Sistema Convencional e Geração Distribuída.....	25
Figura 3	O Sol, base para a vida na terra.....	30
Figura 4	Radiação solar global e suas componentes.....	31
Figura 5	Atlas Solarimétrico da Alemanha.....	32
Figura 6	Atlas Solarimétrico do Brasil.....	32
Figura 7	Circuito elétrico simples de um sistema FV.....	35
Figura 8	Vista frontal do EV da UTFPR.....	43
Figura 9	Painel FV e o inversor do SFVCR.....	44
Figura 10	Central FV de Tauá /CE.....	45
Figura 11	Diagrama esquemático de uma central FV.....	46
Figura 12	Sistema FV conectado à rede.....	48
Figura 13	SFVCR numa residência.....	50
Figura 14	Curva de carga de uma residência e a curva de geração de um sistema FV com 700 WAP.....	51
Figura 15	Diagrama esquemático de um SFV conectado à rede.....	52
Figura 16	Associação em paralelo das células solares.....	53
Figura 17	Associação em série das células solares.....	54
Figura 18	Símbolo elétrico do inversor.....	55
Figura 19	SMC 6000 A.....	55
Figura 20	Diagrama esquemático da Casa Eficiente.....	58
Figura 21	Casa Eficiente.....	59
Figura 22	Inversores e chaves seccionadoras do SFV.....	59
Figura 23	UESB, campus Itapetinga BA.....	60
Figura 24	Campus Itapetinga/BA.....	61
Figura 25	Detalhes do Gerador FVCR do sistema de 2 kWp – UFSC.....	66
Figura 26	Diagrama esquemático do sistema integrado ao prédio do departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.....	67
Figura 27	Gerador FVCR de 16,32 kWp, instalado no Cepel.....	68
Figura 28	Gerador FVCR de 12,3 kWp, instalado no IEE_USP.....	69
Figura 29	Diagrama unifilar do sistema IEE/USP.....	70
Figura 30	Sistema de 3 kWp no estacionamento do IEE_USP.....	71
Figura 31	SFVCR na Praça de Pedágio Batistini.....	72
Figura 32	Campus UESB em Itapetinga.....	73
Figura 33	Campus UESB em Itapetinga.....	74
Figura 34	Transformador de 75 kVA.....	75
Figura 35	Medidor PowerNet P´600.....	76
Figura 36	SFVCR com dois medidores.....	79
Figura 37	Vista frontal laboratório CEDETEC.....	85
Figura 38	Curva de corrente e tensão a temperatura variável das células.....	86
Figura 39	Curva de corrente e tensão a radiação incidente variável.....	87

..

.. ..continua...

Figura 40 Dimensões do módulo KD210GH-2PU.....	88
Figura 41 Módulo Kyocera.....	89
Figura 42 Sistema equilibrado dos inversores por fase.....	91
Figura 43 Curva do rendimento do inversor SMC.....	91
Figura 44 Sistema FV Laboratório CEDETEC-UESB.....	94
Figura 45 Esquema dos módulos por inversor.....	95

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Potência operacional por vínculo institucional.....	65
Gráfico 2 Potência operacional por região.....	65
Gráfico 3 Tensão nas fases.....	77
Gráfico 4 Correntes nas fases.....	78
Gráfico 5 Radiação solar média mensal e anual.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Faixas de potências indicadas para os níveis de tensão na rede.....	26
Tabela 2 Localização de SFVCR em operação no Brasil.....	64
Tabela 3 Medições com o analisador de grandezas.....	75
Tabela 4 Dados do Transformador.....	76
Tabela 5 Níveis de radiação solar, média mensal.....	81
Tabela 6 Dados técnicos do módulo KD210GH-2PU.....	87
Tabela 7 Dados técnicos do módulo KD210GH-2PU.....	88
Tabela 8 Inversor Sunny Mini Central.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AIE	Agência Internacional de Energia
AC	Corrente Alternada
DC	Corrente Contínua
CBENS	Congresso Brasileiro de Energia Solar
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CEDETEC	Centro de Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias
CBPE	Congresso Brasileiro de Planejamento Energético
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
EEE	Eficiência Energética das Edificações
ENCAC	Encontro Nacional de Conforto Ambiental Construído
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
IEE-USP	Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP
IEA	International Energy Agency
IFBA	Instituto Federal da Bahia
LaBEE	Laboratório de eficiência Energética em Edificações
LABSOLAR	Laboratório de Energia Solar
LSF	Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PROCEL	Programa Conservação de Energia Elétrica
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PEE	Programa de Eficiência Energética
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PROINFA	Programa de Incentivo às fontes alternativas de Energia Elétrica
PRS	Período de Retorno Simples
SMC	Sistema Mini Central
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
T&D	Transmissão e Distribuição
UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO	15
3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES	15
3.1	Procel.....	16
3.2	Programa de Eficiência Energética.....	17
3.3	Comissão Interna de Conservação Energia – CICE.....	18
3.4	Compras de materiais e equipamentos.....	18
4	SUSTENTABILIDADE NAS EDIFICAÇÕES	18
4.1	Sustentabilidade.....	19
4.1.1	Princípios de Construção Sustentável.....	19
4.1.2	Conceito de edifícios inteligentes.....	20
4.1.3	Características Ambientais.....	21
5	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	22
5.1	O Conceito de Geração Distribuída.....	23
5.2	Definições de Geração Distribuída.....	24
5.3	Potência Instalada em Sistemas de Geração Distribuída.....	25
5.4	Geração distribuída: vantagens e barreiras.....	26
5.5	Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos.....	28
5.5.1	O Gerador fotovoltaico como elemento de uma edificação.....	28
5.5.2	Vantagens Econômicas da Energia Fotovoltaica.....	28
5.5.3	Vantagens Ambientais da Energia Fotovoltaica.....	29
5.5.4	Desvantagens da Energia Fotovoltaica.....	29
6	ENERGIA SOLAR	29
6.1	Radiação direta e difusa.....	31
6.1.1	Radiação solar entre Brasil e Alemanha.....	31
6.2	Princípios e aplicações.....	32
6.2.1	Energia Solar Térmica.....	33
6.2.2	Energia Solar Fotovoltaica.....	34
6.3	Energia Solar no Mundo.....	35
6.4	Energia Solar no Brasil.....	36
7	CENÁRIO BRASILEIRO PARA A ENERGIA FOTOVOLTAICA	37
7.1	Projetos de Pesquisa & Desenvolvimento – ANEEL.....	38
7.2	Incentivo à Pesquisa e à Inovação Tecnológica.....	39
7.2.1	Propostas do estudo pelo CGEE.....	39
7.3	Resolução Normativa n.º 482 da ANEEL.....	40
8	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA	41
8.1	SFVCR do Escritório Verde (EV).....	44
8.2	Sistemas Fotovoltaicos Centralizados e Descentralizados.....	44
8.2.1	Grandes Centrais FV.....	45
8.2.2	Sistemas FV descentralizados.....	46
8.3	Componentes de um SFV ligado à rede elétrica pública.....	52

“...continua...”

8.3.1	Painel Fotovoltaico.....	53
8.3.2	Inversor.....	54
8.3.3	Caixa de Proteção DC e AC.....	56
8.3.4	Contadores.....	56
8.3.5	Rede elétrica.....	57
8.4	O SFVCR da Casa Eficiente.....	57
9 A	UESB CAMPUS ITAPETINGA.....	60
9.1	Eficiência e qualidade de energia no campus da UESB.....	62
9.2	Energia alternativa para o campus da UESB.....	62
10	EXEMPLOS DE SFVCR INSTALADOS NO BRASIL.....	63
10.1	Potência instalada de acordo com vínculo / Região.....	65
10.2	SFVCR instalados por Universidades e Centros Pesquisas.....	66
10.2.1	A experiência da UFSC.....	66
10.2.2	A experiência do CEPTEL.....	67
10.2.3	A experiência do IEE-USP.....	68
10.3	SFVCR instalado pela Iniciativa Privada.....	71
10.3.1	O pedágio na rodovia dos Imigrantes, km 23.....	71
11	DIMENSIONAMENTO DO SFVCR NO CAMPUS DA UESB.....	72
11.1	Carga instalada no laboratório CEDETEC.....	73
11.2	Medições no transformador que fornece energia ao laboratório.....	74
11.3	Consumo de Energia no Campus da UESB.....	79
11.4	Tarifiação da unidade consumidora UESB.....	80
11.5	Cálculos da Estimativa de Energia a ser Produzida pelo SFVCR.....	81
12	DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO.....	83
12.1	Área disponível para instalar o SFVCR.....	83
12.2	Potência do Gerador em kWp.....	85
12.3	Seleção dos módulos fotovoltaicos.....	86
12.4	O Inversor.....	89
12.5	Arranjos dos módulos FV e o Inversor.....	92
12.5.1	Arranjo do Gerador.....	94
12.6	Produção de energia.....	96
12.7	Avaliação econômica e retorno do investimento.....	97
13	CONCLUSÃO.....	100
	REFERÊNCIAS.....	102

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial, associado ao desenvolvimento tecnológico e industrial, conduz a um grande aumento da demanda energética. Muitas das fontes de energia utilizadas atualmente têm volumes limitados e poderão se esgotar em um horizonte de algumas décadas (MARINOSKI, SALAMONI e RUTHER, 2004).

O Brasil é o décimo maior consumidor mundial de energia elétrica, quase 38%, acima da média mundial que foi de 30% no período, segundo dados da Agência Internacional de Energia (AIE), com sede em Paris. Desde 2001, o consumo de eletricidade no país aumentou.

A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997). Hoje em dia, tem-se em evidência o conceito de edifício verde em que, além da arquitetura voltada para as vantagens naturais como iluminação e ventilação, são utilizadas fontes renováveis para prover a energia elétrica obtendo-se, assim, os edifícios sustentáveis (CONCEIÇÃO, 2011).

O uso de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) em aplicações residenciais, comerciais e industriais pode ser um dos caminhos para a diversificação da produção de eletricidade no país. Uma das principais vantagens da utilização desses sistemas é a possibilidade de integrá-los à arquitetura das edificações, possibilitando o aproveitamento do recurso solar disponível para geração de eletricidade no próprio local de consumo (MACÊDO e ZILLES, 2007).

A presente pesquisa propôs a utilização de um sistema fotovoltaico, definido como geração de energia elétrica através da energia solar, conectado diretamente à rede elétrica para suprir o consumo de energia cujo excedente deverá ser injetado na rede elétrica convencional.

2 OBJETIVO

Propor sistemas de aproveitamento da energia solar nos prédios e no sistema de infra estrutura da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, campus Itapetinga-BA, de forma a reduzir o consumo de energia elétrica, promovendo o uso de energias renováveis por meio dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de distribuição. Futuramente, esse projeto poderá expandir-se para o campus de Vitória da Conquista e o campus de Jequié, na Bahia, analisando-se as condições climáticas e ambientais da região no âmbito da arquitetura e da engenharia.

3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES

As edificações atuais possuem uma arquitetura que, muitas vezes, é inadequada às características climáticas do meio ambiente onde estão inseridas, resultando em ambientes que consomem muita energia para atender às necessidades de conforto ambiental de seus usuários. A eficiência energética aplicada às edificações propõe a integração dos elementos arquitetônicos ao meio ambiente do entorno e às necessidades dos usuários, atendendo à demanda energética da edificação pelo uso eficiente dos recursos naturais e pelo uso de equipamentos elétricos, a fim de reduzir o consumo e evitar o desperdício (COSTA, 2007).

A Eficiência Energética está associada à produtividade, à proteção do meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável, que visa garantir o atendimento das necessidades atuais das sociedades sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprirem as suas carências. As opções de Eficiência Energética, além de trazerem benefícios diretos para o usuário, agregam também grandes melhorias para a sociedade, pois promovem uma redução do consumo energético nacional. Nesse sentido, as ações de Eficiência Energética podem ser vistas como uma forma de produção de energia descentralizada, tendo como consequência o aumento da mesma. Isso porque tais ações podem contribuir para a redução de emissão de CO₂ e outros gases que agravam o efeito estufa. No caso do Brasil, o benefício associado à preservação do meio ambiente está relacionado ao fato de se evitar a construção de novas usinas hidrelétricas, de maneira a diminuir o alagamento de grandes áreas, modificando, com isso, a fauna e a flora local (CONCEIÇÃO, 2011).

Muitas edificações, por não considerarem as diversas etapas do projeto, perdem a oportunidade de alcançar a eficiência energética através da arquitetura bioclimática, de materiais construtivos adequados, equipamentos eficientes e soluções tecnológicas aplicadas às edificações (COSTA, 2007).

3.1 Procel

Criado pelo governo federal, em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica é executado pela Eletrobrás e utiliza recursos da empresa, da Reserva Global de Reversão (RGR) e também recursos de entidades internacionais.

Em seus 20 anos de existência, o Procel já economizou 22 bilhões de kWh, o que corresponde ao consumo do estado da Bahia, durante um ano, ou de

cerca de 13 milhões de residências nesse mesmo período. O investimento realizado nas duas décadas foi de, aproximadamente, R\$ 855 milhões, proporcionando investimentos postergados no sistema elétrico brasileiro da ordem de R\$ 15 bilhões (SANTOS, et al. 2006).

O potencial de conservação de energia deste setor é expressivo. A economia pode chegar a 30% para edificações já existentes, se estas passarem por uma intervenção tipo *retrofit* (reforma e/ou atualização). Nas novas edificações, ao se utilizar tecnologias energeticamente eficientes desde a concepção inicial do projeto, a economia pode superar 50% do consumo, comparada com uma edificação concebida sem uso dessas tecnologias.

A possibilidade de aproveitar este potencial balizou a reavaliação dos principais focos de atuação do PROCEL, o que resultou na criação do subprograma Procel Edifica, especialmente voltado à Eficiência Energética das Edificações – EEE - aliada ao Conforto Ambiental - CA (ELETROBRAS/PROCEL, 2003).

3.2 Programa de Eficiência Energética

A implantação de um Programa de Eficiência Energética - PEE - é a primeira iniciativa ou ação visando à redução de custos com energia elétrica em um prédio público. A importância da implantação do PEE se prende ao fato de que ações isoladas, por melhores resultados que apresentem, tendem a perder o seu efeito ao longo do tempo. O PEE visa otimizar a utilização de energia elétrica através de orientações, direcionamento, ações e controles sobre os recursos humanos, materiais e econômicos, reduzindo os índices globais e específicos da quantidade de energia elétrica necessária para a obtenção do mesmo resultado ou produto (ELETROBRAS/PROCEL, 2003).

3.3 Comissão Interna de Conservação de Energia – CICE

Para a coordenação do PEE, é preciso constituir uma Comissão Interna de Conservação de Energia Elétrica – CICE.

As CICE's foram instituídas na administração pública pelo Decreto 99.656 de 26/10/1990 (na administração pública estadual mineira, por exemplo, através do Decreto 39.340 de 17/12/1997) e têm o objetivo de propor, implementar e acompanhar medidas efetivas de utilização racional de energia elétrica, bem como controlar e divulgar as informações mais relevantes (ELETROBRAS/PROCEL, 2004).

3.4 Compras de materiais e equipamentos

Para implementar um projeto de sistema fotovoltaico com eficiência energética, é mister que, durante o processo de licitação dos equipamentos, exista uma especificação técnica adequada ao tipo de produto que se quer adquirir. Muitas vezes a falta de uma especificação correta implica na compra de produtos de má qualidade que não trarão os benefícios esperados (CONCEIÇÃO, 2011).

4 SUSTENTABILIDADE NAS EDIFICAÇÕES

Uma edificação sustentável busca integrar aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais da sociedade humana com a preocupação principal de preservá-los para que os limites do planeta, a habitabilidade e a capacidade das gerações futuras não seja comprometida. Algumas premissas são listadas para concepção e planejamento de construções sustentáveis, tais como: a escolha de

materiais ambientalmente corretos, de origem certificada e com baixas emissões de CO₂; materiais que propiciem menor geração de resíduos durante a fase de obra; a supressão de menores áreas de vegetação; o aproveitamento da água (TAVARES, 2010).

4.1 Sustentabilidade

No início do ano de 1990, começou-se a utilizar o termo “sustentabilidade” para definir as atribuições de edifícios inteligentes que garantiam melhor qualidade de vida aos seus habitantes e promoviam baixos impactos ambientais. Na velocidade com que o mundo se desenvolve, é fácil prever que as cidades do futuro abrigarão muito mais pessoas do que hoje. A sustentabilidade é baseada em três aspectos: o ambiental, o econômico e o social, que devem coexistir em equilíbrio. Como estes aspectos representam variáveis independentes, as escolhas resultantes serão diferentes em cada situação apresentada. A busca pelo caminho de maior sustentabilidade abrange todos os envolvidos no projeto e execução do ambiente edificado.

Um projeto sustentável deve ser ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável, envolvendo, com isso, diversas variáveis dentre as quais o uso racional de energia tem posição de destaque (CONCEIÇÃO, 2011).

4.1.1 Princípios da Construção Sustentável

- Aproveitamento das condições naturais locais;
- Utilização do terreno de maneira eficiente, integrado com o ambiente natural;

- Redução de impactos no entorno (paisagem, temperaturas, concentração de calor);
- Qualidade ambiental interna e externa;
- Gestão sustentável da implantação da obra;
- Adaptação às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- Redução do consumo energético;
- Redução do consumo de água;
- Introdução de inovações tecnológicas sempre que possível e viável (TAVARES, 2010).

4.1.2 Conceito de edifícios inteligentes

Edifícios Inteligentes ou Edifícios Verdes, no termo em inglês, *Green Building*, são aqueles cuja concepção, construção e operação atribuem conceitos sustentáveis, ou seja, as construções reduzem o consumo de recursos como energia, materiais, água e terra, além da carga ecológica, proporcionando não somente benefícios econômicos, como também saúde e bem estar às pessoas.

O conceito de edifício verde adiciona aspectos que geram benefícios diretos e indiretos, como operar de forma passiva, ser mais eficiente no consumo de energia e água, utilizar menos recursos em sua construção e apresentar tendência de ser mais simples em sua operação, assegurando uma vida mais longa.

Um edifício com conceito *Green Building* pode apresentar uma economia de 30% no consumo de energia, 35% de redução na emissão de gás carbônico, 30% a 50% no consumo de água e 50% a 90% em relação ao descarte de resíduo. No Brasil, na cidade do Rio de Janeiro, temos o edifício Cidade

Nova, ocupado pela Petrobrás como o primeiro edifício comercial com certificação verde do país (CONCEIÇÃO, 2011).

4.1.3 Características Ambientais

O ponto de partida para o projeto de uma edificação eficiente é conhecer o clima do local e as características do entorno da edificação. Normalmente, as características climáticas de um local são determinadas pelos valores de temperatura, umidade relativa do ar, nível de insolação, quantidade de chuvas, direção e intensidade dos ventos. A combinação e variação dessas características permitem classificar o clima de uma região como quente, frio ou temperado. No Brasil, devido à sua extensão geográfica e sua localização entre o Trópico de Capricórnio e o Equador, é possível encontrar diversas regiões climáticas, havendo a ocorrência de climas quentes e temperados (COSTA, 2007).

Percebe-se que, devido à diversidade climática existente no Brasil, não é possível utilizar a mesma tipologia arquitetônica em todas as regiões, pois as condições climáticas podem variar grandemente. O resultado é que, muitas vezes, a edificação não desempenha sua função adequadamente, além de requerer um consumo maior de energia elétrica para suprir as deficiências.

Através da Bioclimatologia, a utilização de recursos naturais como ventos, luz, calor permite melhorar sensivelmente as condições de conforto ambiental e contribuir para a eficiência energética da edificação (COSTA, 2007).

5 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída é entendida pelos setores energéticos mundiais como produção energética próxima ao consumo. Trata-se de uma forma de geração energética que foi bastante comum e que chegou a ser a regra desde o início da industrialização até a primeira metade do século XX (ZILLES *et al.*, 2012). A partir da década de 40, no entanto, a geração em centrais de grande porte ficou mais barata, reduzindo o interesse dos consumidores pela GD e, como consequência, o desenvolvimento tecnológico para incentivar esse tipo de geração também parou.

A partir da década de 90, a reforma do setor elétrico brasileiro permitiu a competição no serviço de energia, criando a concorrência e estimulando todos os potenciais elétricos com custos competitivos. Com o fim do monopólio da geração elétrica, em meados dos anos 80, o desenvolvimento de tecnologias voltou a ser incentivado com visíveis resultados na redução de custos (INEE, 2012).

No Brasil, cerca de 81% da oferta total de energia elétrica são asseguradas por grandes centrais hidrelétricas distantes dos grandes centros de consumo. Tal fato mostra a necessidade de implantação de novas alternativas de geração que levem em conta fatores como distribuição geográfica da população, confiabilidade e flexibilidade de operação, licenciamento ambiental, entre outros.

Assim, a geração em menor escala associada ao consumidor surgiu como uma alternativa confiável e rentável. Adicionando tais características ao aumento da eficiência energética e a tentativa de minimizar os impactos ambientais decorrentes de seu processo, visualiza-se na geração distribuída uma forma de amenizar problemas resultantes da geração de energia em grande

escala (OLIVEIRA; CAMPOS; AMARANTE, 2012). A matriz elétrica brasileira para o ano de 2011 é apresentada na figura 1.

Conclui-se que, da energia elétrica gerada em 2011, 81,7% foram de fontes hidráulicas, como grandes centrais hidrelétricas ou Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs).

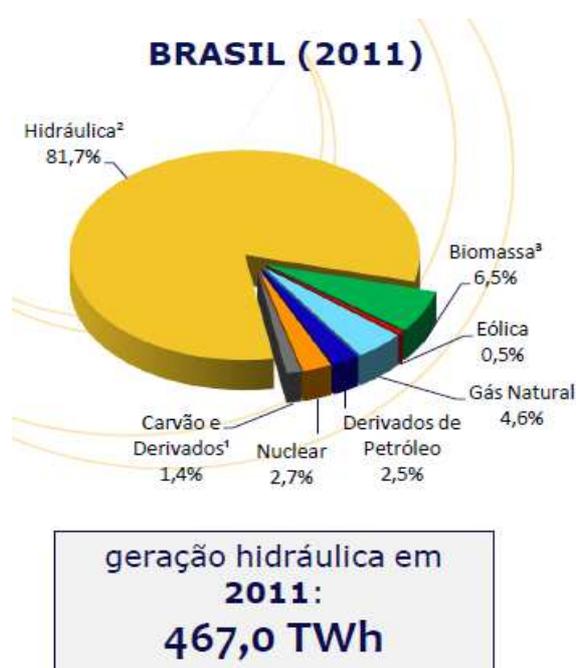


Figura 1 - Matriz elétrica brasileira
Fonte: EPE (2012)

5.1 O Conceito de Geração Distribuída

Existem diversas definições relacionadas ao conceito de geração distribuída. No Brasil, geração distribuída foi definida de forma oficial por meio do Decreto n.º 5.163 de 30 de julho de 2004:

“Art.14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída à produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I- hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW;e

II – termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento (...).

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput.”

Esta tecnologia, no país, é incipiente e existe um número muito pequeno de SFVCR instalados em universidades e instituições de ensino e de pesquisas (XAVIER, 2011).

5.2 Definições de Geração Distribuída

Segundo o *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, a geração distribuída é definida como uma forma de geração de energia que ocorre a partir de unidades de geração de pequeno porte conectadas ao sistema de distribuição e próximas ao consumo (ZILLES *et al.*, 2012).

Por definição, geração distribuída (GD) é, segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE (2012), “uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima dos consumidores independente da potência, tecnologia e fonte de energia”. Para consolidar as definições e melhor entendermos o conceito e princípio da GD, apresenta-se a Figura 2 em duas imagens:

- a) Sistema elétrico tradicional, com geração, transmissão, distribuição e o consumo da energia facilmente separáveis e identificáveis;

- b) Um sistema elétrico “moderno” já com a operação em paralelo de outras fontes de geração conectadas no nível dos consumidores (TREVISAN, 2011).

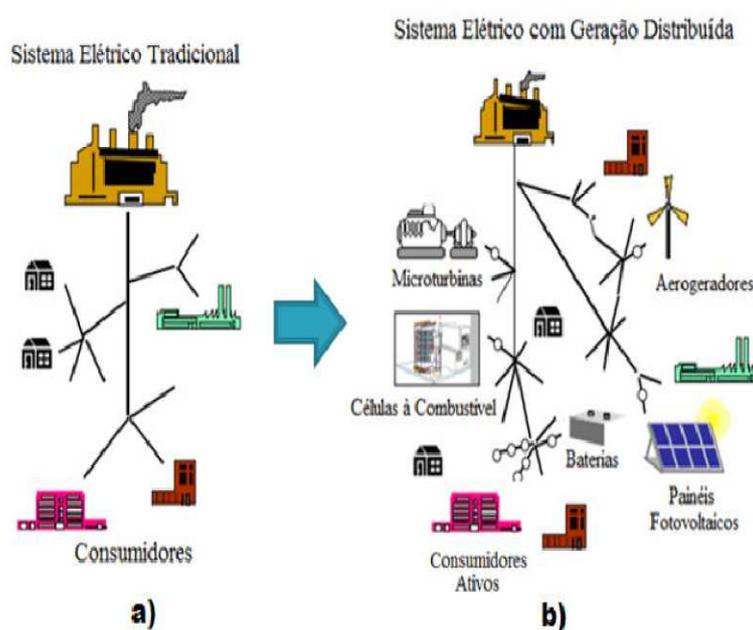


Figura 2 – Sistema Convencional e Geração Distribuída
Fonte TREVISAN, 2011.

A GD já é uma realidade, pois ela não está vinculada a determinada fonte específica de energia. Em diversos países europeus, por exemplo, a injeção de energia elétrica na rede, proveniente de painéis fotovoltaicos e aerogeradores de pequeno porte já existem e é, inclusive, uma atividade incentivada pelos próprios órgãos governamentais para que metas de redução de gases poluentes sejam atingidas (TREVISAN, 2011).

5.3 Potência Instalada em Sistemas de Geração Distribuída

A correta instalação de um gerador distribuído deve limitar-se à capacidade de transporte energético do sistema onde é conectado. No Brasil a classificação da GD se divide nas seguintes categorias:

- Micro GD: sistemas com potência inferior a 10kW;
- Pequena GD: sistemas de potência entre 10kW e 500kW;
- Média GD: sistemas de potência entre 500kW e 5MW;
- Grande GD: sistemas de potência entre 5 e 100MW.

No módulo 3 do documento Procedimentos de Distribuição, o PRODIST (ANEEL, 2011) apresenta as faixas de potência de centrais geradoras indicadas para cada nível de tensão das linhas de distribuição (Tabela 01).

Tabela 1 Faixas de potência indicadas para os níveis de tensão na rede de distribuição.

Nível de tensão de conexão	Potência instalada
Baixa tensão (monofásico)	< 10 kW
Baixa tensão (trifásico)	10 a 75 kW
Baixa tensão (trifásico)/ MT	76 a 500 kW
Média tensão / AT	501 kW a 30 MW
Alta tensão	> 30 MW

Fonte: ANEEL (2011)

5.4 Geração Distribuída: vantagens e barreiras

A geração distribuída possui as seguintes vantagens:

- Uso de fontes de energia renováveis, reduzindo os impactos ambientais da geração convencional, por exemplo, as termelétricas, que não acarretam emissão de gases poluentes;
- Nas redes de distribuição, a GD pode suprir os aumentos parciais das cargas, além de fornecer energia para os horários de ponta de consumo;
- Pode aumentar a confiabilidade do suprimento nas redes de distribuição;
- Pode aumentar a eficiência energética e reduzir as perdas nas linhas de transmissão e redes de distribuição, além da cogeração associada à GD, que aumenta o nível da eficiência de utilização da energia primária (ZILLES *et al.*, 2012).

Do ponto de vista ambiental, a geração distribuída com tecnologias limpas e renováveis permite a expansão da matriz energética brasileira de forma sustentável e com baixo impacto ao meio ambiente. Ao se utilizar tecnologias limpas e renováveis, garante o aumento da oferta de energia, sem aumentar a dependência por recursos energéticos não renováveis (o petróleo, por exemplo) e / ou a negociação do gás natural com a Bolívia.

As dificuldades, no entanto, estão nos altos custos para a inserção da GD no Brasil e problemas quanto ao controle e uso de instalação das novas tecnologias recentemente desenvolvidas. Há, ainda, a necessidade de se detalhar regras de uso e de segurança, ou seja, de elaborar uma regulamentação específica (ZILLES *et al.*, 2012).

5.5 Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são uma realidade, tanto no abastecimento de cargas isoladas como conectadas à rede convencional de distribuição elétrica. Pelo fato de os sistemas fotovoltaicos serem modulares, eles permitem acompanhar um aumento de demanda ou parte dessa demanda caso haja um aumento da capacidade do sistema já existente em resposta a um aumento no consumo.

Os sistemas fotovoltaicos, comparados com outras tecnologias de geração, são de instalação relativamente rápida e simples, o que praticamente elimina os riscos de grandes atrasos nos cronogramas das obras de instalação (ZILLES *et al.*, 2012). A tecnologia fotovoltaica utiliza a radiação solar como insumo, um recurso renovável de energia, ajudando a manter o caráter renovável e sustentável da matriz energética brasileira.

5.5.1 O Gerador fotovoltaico como elemento de uma edificação

Os módulos fotovoltaicos podem ser incorporados às edificações de formas diversas: podem ser instalados sobre telhados e coberturas ou em fachadas verticais. Podemos utilizar os módulos FV como elementos sombreadores de janelas, de corredores, de estacionamentos de carros, de áreas comuns etc (ZILLES *et al.*, 2012).

5.5.2 Vantagens Econômicas da Energia Fotovoltaica

À parte do investimento inicial, com compra e instalação do equipamento, a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico não tem outros

custos, dado que os painéis demandam pouca manutenção. Com a evolução tecnológica, o prazo de retorno deste investimento inicial está cada vez menor. A energia gerada é mais segura em termos de abastecimento, principalmente para os consumidores corporativos, para quem a falta de energia pode significar perdas de produção (BLUE SOL, 2012).

5.5.3 Vantagens Ambientais da Energia Fotovoltaica

A interação entre o silício e a luz solar, que gera a energia fotovoltaica, não produz resíduos. Por isso, ela é considerada uma fonte de energia limpa ou ecológica. Além disso, a radiação solar é abundante e inesgotável, com grande potencial de utilização, enquanto o silício, principal semiconductor utilizado nos painéis fotovoltaicos, é o segundo elemento mais encontrado na superfície terrestre (BLUE SOL, 2012).

5.5.4 Desvantagens da Energia Fotovoltaica

Atualmente, o custo para se montar um sistema fotovoltaico é maior que o de um convencional. Mesmo assim, é um investimento que se paga no médio prazo, já que não há conta mensal de luz. Além disso, a durabilidade dos materiais (de 15 a 30 anos) vale o investimento. Outra boa notícia é que, com o desenvolvimento e a disseminação da tecnologia, os custos têm caído ano a ano (BLUE SOL, 2012).

6 ENERGIA SOLAR

A maior fonte de energia disponível na Terra provém do Sol. A energia solar é indispensável para a existência de vida na Terra, sendo o ponto de partida para a

realização de processos químicos e biológicos. Por outro lado, a energia proveniente do Sol é das mais “amigas do ambiente”, podendo ser utilizada de diversas maneiras.

No centro do Sol ocorre um processo de fusão nuclear, no qual dois núcleos de hidrogênio se fundem com um de hélio, radiando para o espaço uma grande quantidade de energia. A energia proveniente desta fusão é radiada para o espaço em forma de ondas eletromagnéticas. Tendo em conta que o Sol se encontra a 143 milhões de quilômetros da Terra, apenas uma pequena fração da energia irradiada está disponível. No entanto, a energia fornecida pelo Sol durante um quarto de hora é superior à energia utilizada, a nível mundial, durante um ano (GREENPRO, 2004).

As vantagens da energia solar ficam evidentes, quando os custos ambientais de extração, geração, transmissão, distribuição e uso final de fontes fósseis de energia são comparadas à geração por fontes renováveis, como elas são classificadas (MMA, 2012). A figura 3 ilustra o sol, fonte de energia.



Figura 3 - O Sol – Fonte de energia
Fonte: Manual Energia Solar Térmica, 2004

6.1 Radiação direta e difusa

Quando o Sol brilha com uma potência de 1.000 watts durante uma hora, produz 1 kW de trabalho por hora. No caso de se converter 100% desta energia em calor, então se produz 1kWh de calor (GREENPRO, 2004).

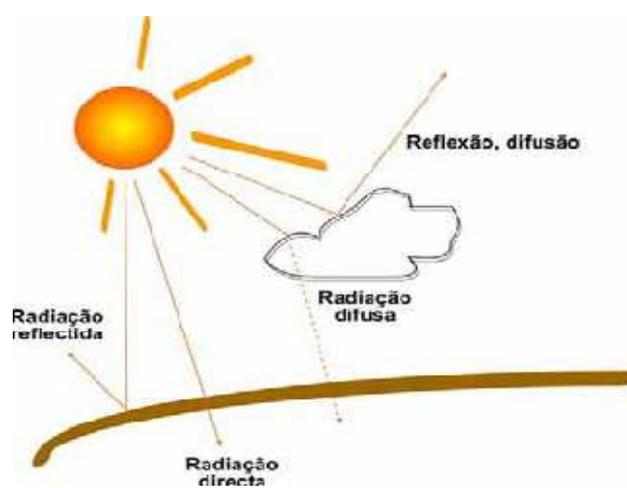


Figura 4 – Radiação solar global e suas componentes
Fonte: Manual Energia Solar Térmica, 2004

6.1.1 Radiação solar entre Brasil e Alemanha

A radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha é 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil (VIANA et al., 2007). As figuras 5 e 6 ilustram abaixo.

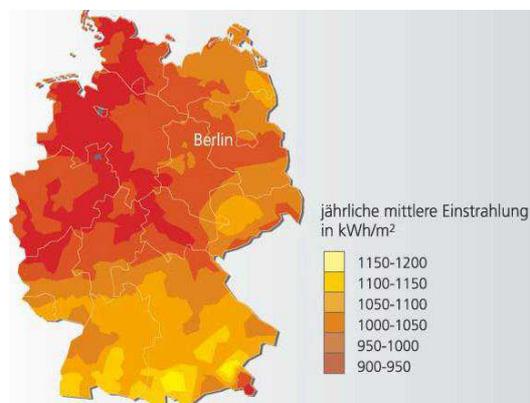


Figura 5- Atlas Solarimétrico da Alemanha
 Fonte: VIANA et al., 2007

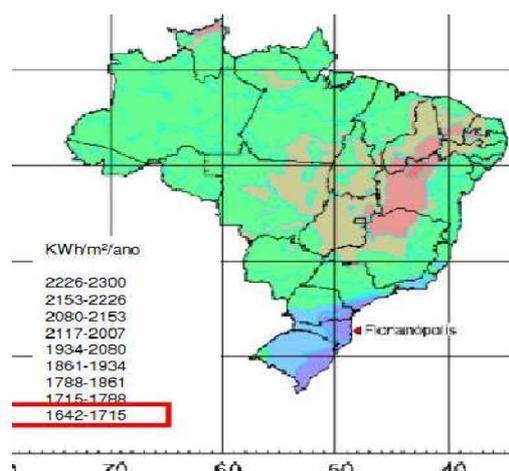


Figura 6- Atlas Solarimétrico do Brasil.
 Fonte: VIANA et al., 2007

6.2 Princípios e aplicações

É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de eletricidade

(hidroeletricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar (CRESESB, 2004).

As aplicações práticas da energia solar podem ser divididas em dois grupos: energia solar térmica e energia solar fotovoltaica.

6.2.1 Energia Solar Térmica

Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específico de se utilizar a energia solar fototérmica são conhecidos como coletores solares. A energia solar térmica pode ser implantada com sucesso em qualquer latitude. Mesmo regiões que apresentam poucos índices de radiação podem possuir grande potencial de aproveitamento energético.

O grande argumento para a difusão e o desenvolvimento da tecnologia solar térmica é o fato de o aquecimento solar, para aquecimento de água, proporcionar medidas eficazes de conservação de energia, com atenuação e deslocamento do horário de ponta (entre 17h e 21h) das concessionárias de energia (MMA, 2012).

Um exemplo bastante positivo de utilização de aquecedores solares no setor residencial é o que ocorre na cidade de Belo Horizonte (MG), área de concessão da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), onde há cerca de 800 prédios com instalação de aquecimento solar central. A iniciativa é atribuída à própria concessionária mineira em parceria com empresas de aquecedores solares e universidades do Estado de Minas Gerais (MMA, 2012).

6.2.2 Energia Solar Fotovoltaica

A Energia Solar Fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão (CRESESB, 2004).

A radiação solar pode ser diretamente convertida em energia elétrica, por meio de efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício.

Um sistema fotovoltaico não precisa do brilho do Sol para operar. Ele também gera eletricidade em dias nublados, entretanto, a quantidade de energia gerada depende da densidade das nuvens. Devido à reflexão da luz do Sol, dias com poucas nuvens podem resultar em mais produção de energia do que dias completamente claros (MMA, 2012).

A figura 7 simula a exposição de uma célula solar ao sol estabelecendo a ligação do circuito com a lâmpada.

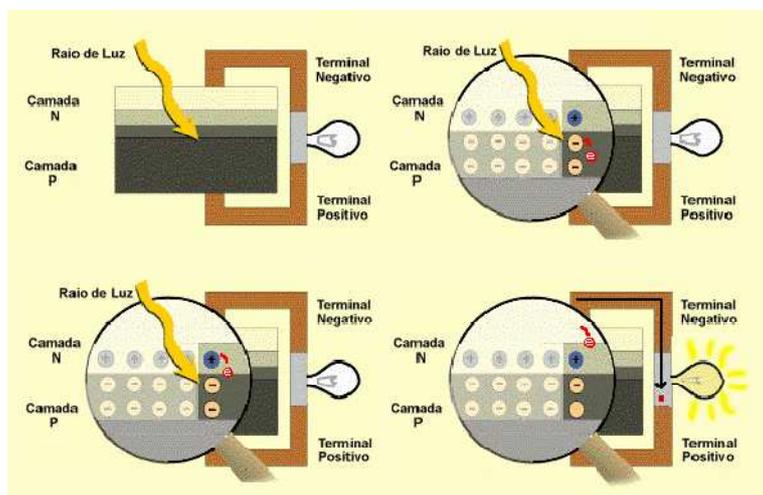


Figura 7- Circuito elétrico simples de um sistema FV
 Fonte: CRESESB – Energia Solar, Princípios e Aplicações.

Atualmente, o Ministério de Minas e Energia desenvolve vários projetos para o aproveitamento da energia solar no Brasil, particularmente por meio de sistemas fotovoltaicos de geração de eletricidade, visando ao atendimento de comunidades rurais e/ou isoladas da rede de energia elétrica e ao desenvolvimento regional (MMA, 2012).

6.3 Energia Solar no Mundo

O mundo passa por um momento de reflexão e reavaliação das fontes energéticas que, historicamente, vêm sendo utilizadas. O desastre no Japão colocou em cheque, mais uma vez, a segurança e a viabilidade do uso da Energia Nuclear. Há uma crise também no uso do petróleo e carvão, que vêm atingindo as maiores cotações de toda a história (CERQUEIRA e SOUZA, 2012).

A intensa e indiscriminada exploração de reservas não renováveis de combustíveis fósseis aliados aos prejuízos ambientais decorridos do uso desses recursos energéticos implica num cenário preocupante.

Por razões econômicas, o interesse dos Estados Unidos e da Europa pelo uso de energia solar cresceu muito nas duas últimas décadas, principalmente após a crise da década de 70 no setor petrolífero. Atualmente, não se fala apenas na aplicação dessa radiação como fonte de energia limpa e renovável, mas também no conhecimento do clima e de suas mudanças (CERQUEIRA e SOUZA, 2012).

A Alemanha registrou um recorde mundial em produção de energia solar, em 07 de dezembro de 2012, gerando 22 GW de eletricidade por hora, equivalente à geração de 20 usinas nucleares funcionando em capacidade total, suprimindo 50% das necessidades de consumo do país.

6.4 Energia Solar no Brasil

Em nível nacional, a tecnologia fototérmica começou de maneira discreta sendo utilizada apenas em algumas residências e, posteriormente, em creches e colégios. Hoje, indústrias, hotéis, pousadas e condomínios vêm adotando a tecnologia e a tendência é que cada vez mais essa energia seja utilizada, devido aos benefícios ao meio ambiente e, principalmente, pela economia para quem a emprega.

No interior do estado Rio de Janeiro, na cidade de Macaé, cidade esta considerada o coração do desenvolvimento do Estado do Rio de Janeiro, empresas de condicionamento de Ar residencial estão oferecendo aparelhos de Ar condicionados com alimentação por painéis fotovoltaicos (CERQUEIRA e SOUZA, 2012).

7 CENÁRIO BRASILEIRO PARA A ENERGIA FOTOVOLTAICA

Do ponto de vista estratégico, o Brasil possui uma série de características naturais favoráveis, tais como: altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar importante vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares, produtos estes de alto valor agregado. Tais fatores potencializam a atração de investidores e o desenvolvimento de um mercado interno, permitindo que se vislumbre um papel importante na matriz elétrica para este tipo de tecnologia (EPE, 2012).

Os módulos fotovoltaicos de silício são os mais utilizados no mundo, provavelmente permanecendo assim, ao menos, pelos próximos 15 anos. O silício grau metalúrgico é considerado matéria-prima ainda bruta para a produção de módulos fotovoltaicos. O silício empregado nos módulos fotovoltaicos possui um elevado grau de pureza. A purificação do silício metalúrgico em grau solar e/ou grau eletrônico agrega valor ao mineral brasileiro e a possibilidade de sua produção pode fomentar a instalação de fábricas de componentes e de equipamentos eletrônicos no país (CÂMARA, 2011).

Experiências internacionais apresentam importantes contribuições para análise sobre expansão do mercado, ganhos na escala de produção e redução de custos para os investidores (EPE, 2012). O Brasil é rico em recursos naturais e possui recursos humanos disponíveis para atuar na geração de energia solar fotovoltaica. No entanto, apesar de notáveis esforços em algumas fontes renováveis de energia, são poucos os resultados que promovam a inserção da energia fotovoltaica na matriz elétrica nacional (CGEE, 2010).

Nos últimos anos, observam-se, no contexto internacional, grandes investimentos em pesquisa tecnológica e desenvolvimento industrial relacionados à energia solar, em destaque Alemanha, Japão, Espanha, EUA, dentre outros. De acordo com essas tendências, o Brasil precisa garantir um mercado sustentável de energia solar fotovoltaica (CÂMARA, 2011).

7.1 Projetos de Pesquisa & Desenvolvimento – ANEEL

Em agosto de 2011, a ANEEL tornou pública a chamada N°. 013/2011 “Arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira”. Trata-se de uma chamada para projetos de pesquisa e desenvolvimento, P&D, nessa área, que foi incluída pela agência na lista de temas estratégicos.

As empresas concessionárias de distribuição e geração de energia que devem investir, de forma compulsória, uma fração de suas receitas operacionais líquidas em P&D já submeteram projetos. No total, cerca de uma centena de empresas demonstraram interesse em submeter projetos de tema fotovoltaico (ABINEE, 2012).

Na introdução da chamada pública, a ANEEL elenca alguns dos objetivos gerais a serem buscados pelos projetos de P&D:

- Facilitar a inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira;
- Viabilizar economicamente a produção, instalação e monitoramento da geração solar fotovoltaica para injeção de energia elétrica nos sistemas de distribuição e/ou transmissão;

- Incentivar o desenvolvimento no país de toda a cadeia produtiva da indústria solar fotovoltaica com a nacionalização da tecnologia empregada;
- Fomentar o treinamento e a capacitação de técnicos especializados neste tema em universidades, escolas técnicas e empresas;
- Estimular a redução de custos da geração solar fotovoltaica com vistas a promover a sua competição com as demais fontes de energia.

7.2 Incentivo à Pesquisa e à Inovação Tecnológica

Em maio de 2010, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) apresentou o documento técnico *Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão*. (CGEE, 2010).

O “documento propositivo oferece, aos tomadores de decisão, subsídios quanto à macro ações político-institucionais que, em concerto com a visão de demanda futura e com principais pensamentos estratégicos de especialistas, tenham elevado potencial para promover o estabelecimento e a sustentabilidade do empreendimento fotovoltaico no país”

7.2.1 Propostas do estudo pelo CGEE:

- Incentivo à pesquisa e à inovação tecnológica;
- Criação de mercado consumidor;
- Estabelecimento de indústrias de células solares e de módulos fotovoltaicos;

- Estabelecimento de indústrias de silício grau solar e grau eletrônico.

7.3 Resolução Normativa n.º 482 da ANEEL

A publicação da Resolução N° 482 constituiu um marco regulatório em nosso país, beneficiando a população e obrigando as concessionárias de energia elétrica a aceitarem a entrada de sistemas próprios de geração fotovoltaica em suas redes de distribuição de eletricidade. A resolução estabelece que cada cidadão brasileiro ou empresa poderá ter em seu telhado uma usina fotovoltaica produzindo eletricidade para consumo próprio e determina as condições para a implantação dos sistemas de autoprodução de eletricidade (VILLALVA, 2012).

A instalação em massa de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica vai contribuir para o aumento da disponibilidade de eletricidade em nosso país, ajudando a poupar água nos reservatórios das hidrelétricas nos períodos de seca. Além disso, os sistemas fotovoltaicos vão reduzir a necessidade de se construir usinas baseadas em fontes poluentes, contribuindo assim para a melhoria da qualidade de vida em nosso planeta.

O sistema fotovoltaico residencial não utiliza baterias para armazenamento de energia, pois a própria rede elétrica é utilizada como meio de armazenamento através do sistema de créditos de energia. Toda a energia gerada pelo sistema fotovoltaico é imediatamente injetada na rede elétrica, sendo consumida internamente ou exportada para a concessionária, de acordo com os níveis de geração e consumo instantâneos.

O sistema de créditos de energia foi criado no Brasil com a publicação da Resolução N° 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) - em abril de 2012. Essa resolução autorizou a micro e a minigeração de energia

elétrica para consumo próprio a partir de fontes renováveis e alternativas com sistemas de geração conectados às redes elétricas de baixa tensão, ou seja, ligados diretamente às instalações elétricas de residências, escolas, empresas e todos os tipos de consumidores comuns (VILLALVA, 2012).

No Estado de São Paulo já existem exemplos de residências empregando este tipo de tecnologia. O custo é acessível e a instalação é rápida e simples. Os sistemas fotovoltaicos podem ser agregados a residências ainda em construção ou mesmo em residências já existentes, com pequenas adaptações nas instalações elétricas, que devem ser feitas por profissionais especializados.

O investimento no sistema fotovoltaico se paga em poucos anos com a energia por ele produzida. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica fornecem eletricidade para a residência junto com a rede elétrica. Toda a eletricidade produzida a partir do Sol pode ser usada para o consumo próprio, e quando existe luz do Sol a residência usa sua própria energia. Nos períodos em que não existe luz solar, a residência continua sendo abastecida normalmente pela rede elétrica pública (VILLALVA, 2012).

8 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) têm apresentado grande crescimento entre as fontes de geração de energias renováveis no cenário mundial, principalmente em países como Alemanha, Espanha, Japão, Itália e Estados Unidos. No Brasil, sua aplicação ainda é incipiente se comparada a estes países, porém, apresenta grande potencial de crescimento nos próximos anos.

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) têm grande aplicação no ambiente urbano como geradores de energia elétrica junto

ao ponto de consumo. São facilmente integrados à edificação, não necessitando de área adicional, visto que são normalmente instalados sobre a cobertura da edificação. Possuem elevada confiabilidade e operam de forma limpa e silenciosa (URBANETZ JUNIOR e CASAGRANDE JUNIOR, 2012).

Por ser interligado à rede pública, dispensa os bancos de baterias necessários em sistemas do tipo autônomo e os elevados custos e manutenção decorrentes.

Na configuração mais comum, estes sistemas são instalados de tal maneira que, quando o gerador solar fornece mais energia do que a necessária para o atendimento da instalação consumidora, o excesso é injetado na rede elétrica: a instalação consumidora acumula um crédito energético (o relógio contador típico é bidirecional e, neste caso, anda para trás). Por outro lado, quando o sistema solar gera menos energia do que a demandada pela instalação consumidora, o déficit é suprido pela rede elétrica. Perdas por transmissão e distribuição, comuns ao sistema tradicional de geração centralizada, são assim minimizados. Outra vantagem destes sistemas é o fato de representarem usinas descentralizadas que não ocupam área extra, pois estão integradas ao envelope da edificação (RUTHER, 2004).

Empreendimentos de vulto no setor, nos anos de 2011 e 2012, no Brasil, fizeram saltar de cerca de 200 kWp de capacidade instalada para mais de 2 MWp, demonstrando que, mesmo sem políticas públicas de incentivo a esta forma de geração, como ocorre em diversos países, existe viabilidade na expansão desta tecnologia, como fonte complementar de energia na matriz energética nacional. A expansão nesse setor pode ser vista, principalmente, a partir de abril de 2012, com a regulamentação por parte da ANEEL, que trata das relações entre as concessionárias de energia e pessoas físicas ou jurídicas

que realizem investimento em energia solar fotovoltaica (URBANETZ JUNIOR e CASAGRANDE JUNIOR, 2012).

Em dezembro de 2011, foi inaugurado o Escritório Verde (EV) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), uma proposta única no Brasil de uma edificação sustentável modelo, de 150 m², que adotou diversas estratégias de sustentabilidade em parceria com mais de sessenta empresas, visando “por à prova” o desempenho destas estratégias, entre elas, a máxima eficiência energética. A figura 8 ilustra a fachada do EV da UTFPR.



Figura 8 – Vista frontal do EV da UTFPR
Fonte: URBANETZ JUNIOR e CASAGRANDE JUNIOR, 2012

O EV da UTFPR possui dois sistemas fotovoltaicos distintos, um sistema conectado à rede elétrica (SFCR) e um sistema fotovoltaico isolado (SFVI).

8.1 SFVCR do Escritório Verde (EV)

O SFVCR do EV da UTFPR, com uma potência instalada de 2,1 kWp (10 módulos KYOCERA de tecnologia de silício policristalino, modelo KD210GX-LP ligados em série) e um inversor monofásico em 220V de 2kW de potência nominal (PVPOWERED modelo PVP2000), entrou em operação em 14 de dezembro de 2011. A área ocupada na cobertura da edificação para esse painel é de 15m².

A figura 9 ilustra o painel fotovoltaico (FV) e o inversor do SFVCR.(URBANETZ JUNIOR e CASAGRANDE JUNIOR, 2012).



Figura 9 – Painel FV e o inversor do SFVCR.

Fonte: URBANETZ JUNIOR e CASAGRANDE JUNIOR, 2012.

8.2 Sistemas Fotovoltaicos Centralizados e Descentralizados

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR) podem ser de grande porte - centrais fotovoltaicas -, ou de pequeno porte - descentralizada e instalada em edificações urbanas - (RUTHER, 2004).

8.2.1 Grandes Centrais FV

As grandes centrais fornecem a potência à rede elétrica por meio de vários inversores e transformadores. Esses sistemas usam inversores comutados pela rede para evitar a operação isolada. As centrais FV ocupam grandes áreas e, por estarem afastadas dos centros de consumo, necessitam de linhas de transmissão, distribuição e transformadores.

A figura 10 mostra a primeira e única usina de energia solar em escala comercial da América Latina que funciona na Cidade de Tauá, a 337 Km de Fortaleza, localizada no Sertão dos Inhamuns. Tal usina pertence à EPX Energia, uma das empresas do bilionário Eike Batista. Desde que começou a funcionar, em 2011, atraiu não só a curiosidade de turistas e estudantes, mas de investidores internacionais que pretendem instalar outras usinas no município, conhecido como a "Princesa dos Inhamuns".

A capacidade instalada da usina solar é de 1 megawatt (MW), a maior do Brasil e o suficiente para abastecer 1.500 residências. São 4.680 painéis fotovoltaicos, que captam a luz solar e a enviam, através da Chesf. Um investimento de R\$ 10 milhões (MPX, 2011).



Figura 10 – Central FV de Tauá /CE
Fonte: MPX Energia S.A

Na figura 11 ilustra-se a configuração básica de uma central fotovoltaica conectada à rede elétrica.

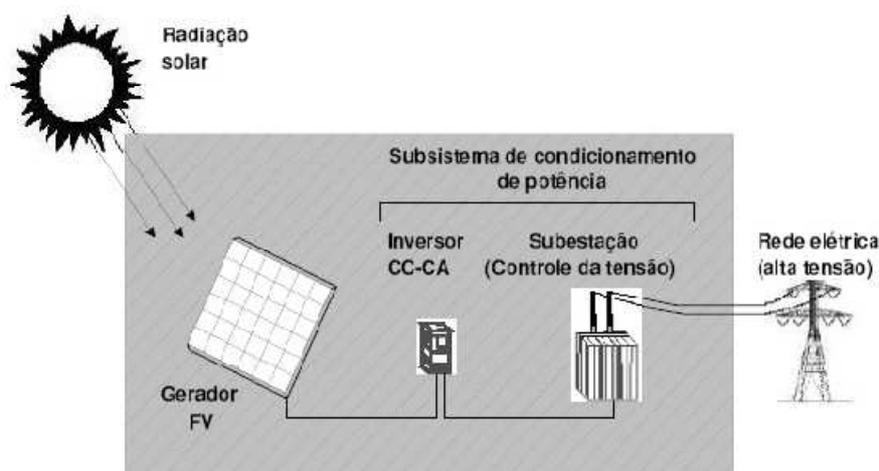


Figura 11 – Diagrama esquemático de uma central FV
Fonte: MACÊDO, 2006

8.2.2 Sistemas FV descentralizados

São chamados de produção distribuída, onde os módulos são montados diretamente nas edificações, ou seja, em coberturas, telhados de edificações urbanas, estacionamentos abertos, áreas livres etc.(CONCEIÇÃO, 2011).

A produção de energia elétrica utilizando a energia solar através dos painéis fotovoltaicos, e a sua conexão com a rede elétrica de distribuição, é uma realidade em diversos países e vem crescendo e se consolidando como uma forma menos agressiva ao meio ambiente de se produzir eletricidade. Com um aumento anual de 50% na capacidade instalada, acumulada de 2006 e 2007, esta tecnologia está em plena expansão.

Segundo Costa e Diniz (2009), foi estimada em torno de 10 GW a potência instalada mundial, traduzindo-se em 1,5 milhões de casas com painéis solares atuando como produtores independentes de energia elétrica. Somente na Alemanha, em torno de 450.000 sistemas foram instalados, com uma potência total de 3.800 MW.

Do ponto de vista econômico, verifica-se que, quando se duplica a produção acumulada, o custo de produção tem caído em cerca de 20%.

Com uma cobertura fotovoltaica, o telhado de um prédio se transforma numa usina de eletricidade. Em países como Estados Unidos, Espanha, Alemanha, Suíça e Japão, os prédios comerciais novos incorporaram materiais fotovoltaicos às suas fachadas para gerarem eletricidade.

Na figura 12, têm-se os componentes que são utilizados em uma instalação solar fotovoltaica interligada à rede elétrica:

1. Gerador fotovoltaico (vários módulos fotovoltaicos dispostos em série e em paralelo, com estruturas de suporte e de montagem);
2. Caixa de junção (equipada com dispositivos de proteção e interruptor de corte principal DC);
3. Cabos AC-DC;
4. Inversor;
5. Mecanismo de proteção e instrumentação.

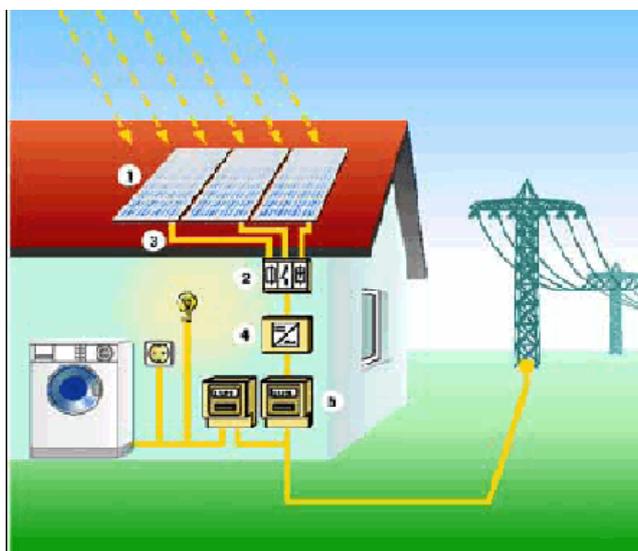


Figura 12 – Sistema FV conectado à rede
Fonte: COSTA e DINIZ, 2009.

Os sistemas solares fotovoltaicos interligados ao sistema de distribuição oferecem uma série de vantagens para o sistema elétrico. Dentre elas, podem-se destacar:

- A energia é produzida junto à carga, assim as perdas nas redes de transmissão e distribuição são minimizadas;
- A produção de energia elétrica ocupa um espaço já utilizado, uma vez que esta é integrada à edificação;
- Investimentos em linhas de transmissão e distribuição são reduzidos;
- Existe a coincidência no consumo, principalmente em se tratando de prédios comerciais onde a maior utilização acontece no horário de maior produção de energia pelos módulos;
- Edificações solares fotovoltaicos têm capacidade de oferecer suporte kVAr a pontos críticos da rede de distribuição (melhoria da qualidade de energia);

- O sistema pode ser ampliado, conforme haja carga da edificação se houver espaço para isso;
- A montagem do sistema pode substituir materiais de revestimento e de cobertura;
- É uma fonte de energia inesgotável, que está disponível praticamente em todos os locais; e produz energia limpa, silenciosa e renovável, sem emitir gases causadores do efeito estufa (RUTHER, 2004).

Nas instalações residenciais conectadas à rede elétrica, pode-se utilizar tanto a energia fotovoltaica como a convencional. Nesse tipo de conexão, não há a necessidade de acumuladores de energia (baterias), pois quando se tem um consumo elétrico maior que a eletricidade produzida pelos módulos fotovoltaicos (isto ocorre normalmente ao amanhecer, durante a noite e nos dias sem ou com baixa radiação solar), a rede irá fornecer a energia necessária para o perfeito funcionamento da edificação. Ao contrário, quando se tem um consumo elétrico baixo ou quando os módulos produzem eletricidade acima do que está sendo consumido pela edificação, o excesso de energia elétrica é injetado na rede de distribuição da concessionária (OLIVEIRA, 2002 e RUTHER, 2004).

Conforme ilustrado na figura 13, os painéis solares fotovoltaicos produzem eletricidade em corrente contínua. A energia dos painéis é convertida em energia alternada por um inversor eletrônico. O inversor é conectado à rede elétrica da residência ou da empresa. A eletricidade do sistema fotovoltaico se mistura com a eletricidade que vem da rede pública.

O resultado é que se compra menos energia da rede pública. Dependendo do tamanho do sistema fotovoltaico, o consumidor pode zerar a conta de eletricidade com um sistema fotovoltaico.

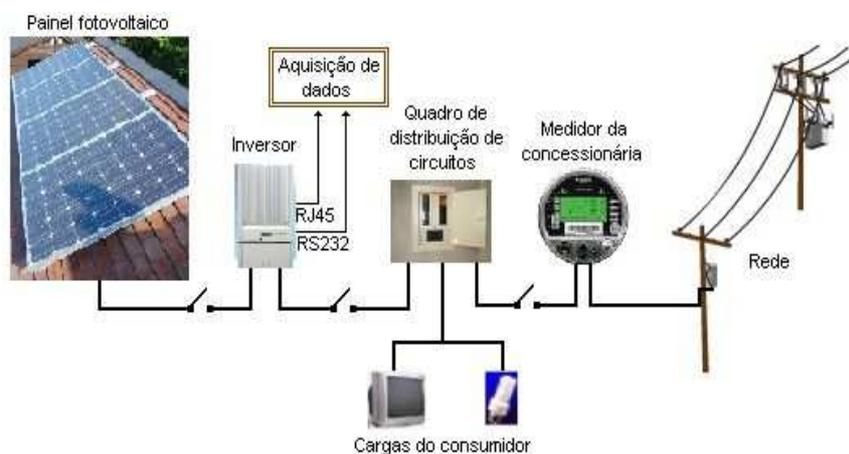


Figura 13 – SFVCR numa residência
 Fonte:SOLENERG, 2012

De acordo com a figura 14, no período entre 6 h e 17 h, a produção fotovoltaica é maior que o consumo da rede, portanto, é nesse momento em que se injeta (vende-se) energia à rede de baixa tensão. Entretanto, após as 18 h, a residência utiliza (compra) a energia da rede elétrica, pois a produção fotovoltaica tende a diminuir significativamente até o momento quando se cessa a geração e é nesse período em que se eleva o pico de demanda por energia nas residências de centros urbanos.

Portanto, uma residência que venha a instalar esses sistemas não deixará de consumir energia elétrica da rede; ao invés disso, ela poderá contribuir com a rede de baixa tensão ao injetar energia nesta rede (OLIVEIRA, 2002).

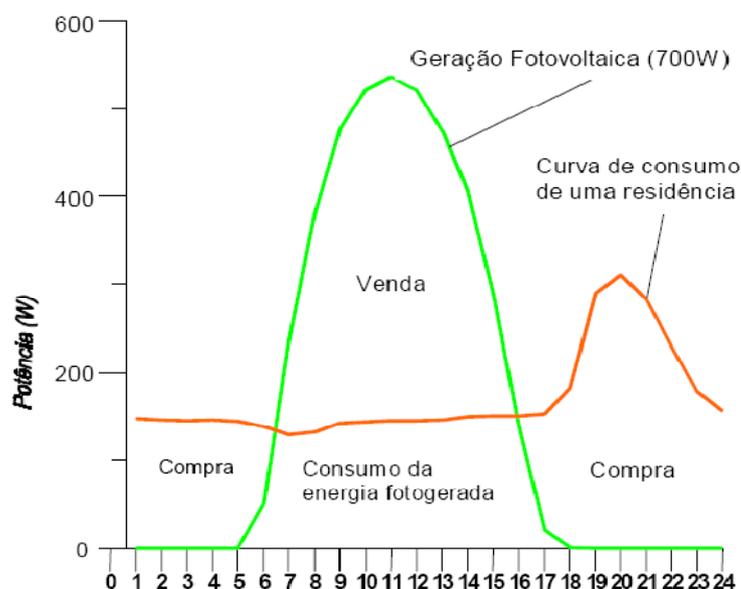


Figura 14 - Curva de carga de uma residência e a curva de geração de um sistema FV com **700 WAP**
 Fonte: OLIVEIRA, 2002.

Já os prédios comerciais apresentam outra característica, pois a produção fotovoltaica coincide com o período de maior demanda por energia, ou seja, uma parte do consumo aumenta de maneira proporcional à intensidade do Sol, isso porque são nesses momentos que os aparelhos de ar condicionado operam em máxima potência.

Nesse contexto, as edificações comerciais que venham a instalar tais sistemas terão a capacidade de reduzir os picos de demanda, justificando assim a importância na interconexão com a rede, pois podem aliviar o sistema de distribuição de uma concessionária e postergar investimentos de expansão dessas redes (OLIVEIRA, 2002).

8.3 Componentes de um SFV ligado à rede elétrica pública

Sistema fotovoltaico (SFV) é a denominação que recebe o conjunto de elementos necessários para realizar a conversão direta da energia solar em energia elétrica, com características adequadas para alimentar aparelhos elétricos e eletrônicos, tais como lâmpadas, televisores, geladeiras e outros.

Os SFV conectados à rede elétrica pública são constituídos basicamente de um painel fotovoltaico e inversor, aos quais se somam os componentes de comando e proteção (chaves, fusíveis, disjuntores etc.).

A figura 15 ilustra a constituição básica deste tipo de sistema no qual o inversor, ao detectar a presença da rede, converte a tensão contínua vinda do painel fotovoltaico em tensão alternada, com o mesmo padrão de tensão, frequência e fase da rede elétrica à qual está conectado (LAMBERTS et al, 2010).

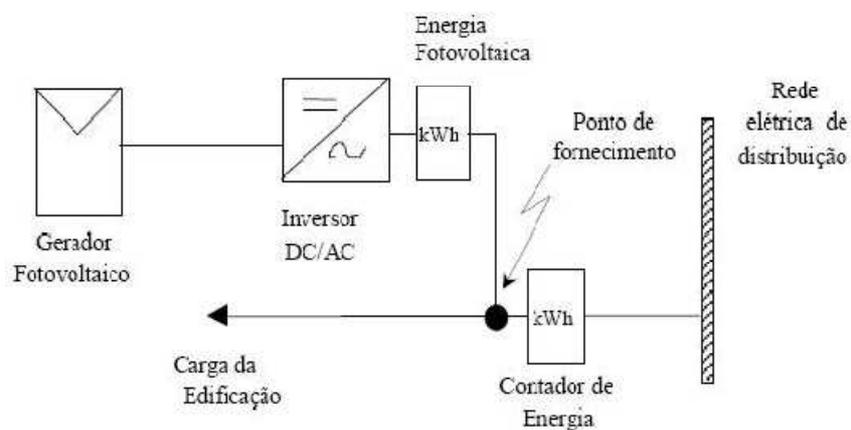


Figura 15 – Diagrama esquemático de um SFV conectado à rede
Fonte: (LAMBERTS et al, 2010)

Os componentes do sistema fotovoltaico ligado à rede são: painel fotovoltaico, inversor, caixas de proteção DC e AC, cabos de conexão DC e AC, contadores e a rede elétrica.

8.3.1 Painel Fotovoltaico

Conjunto de módulos fotovoltaicos agrupados em paralelo ou série. Corresponde à unidade de geração de energia, que converte a energia incidente do Sol diretamente em eletricidade (GREENPRO, 2004).

Pela Lei de Ohm, quando interligamos duas ou mais unidades em paralelo a tensão não se altera, mas a corrente é somada. Partindo desse pressuposto, podemos afirmar que a tensão do módulo será igual à tensão de uma célula; já a corrente produzida pelo efeito fotovoltaico é a soma da quantidade de unidades solares do módulo. Conforme ilustra a figura 16, a ligação em paralelo é feita unindo o polo positivo de uma célula com o polo positivo de outra, igualmente com o polo negativo de ambas. Essa associação não é comumente utilizada devido a sua baixa produção de tensão.

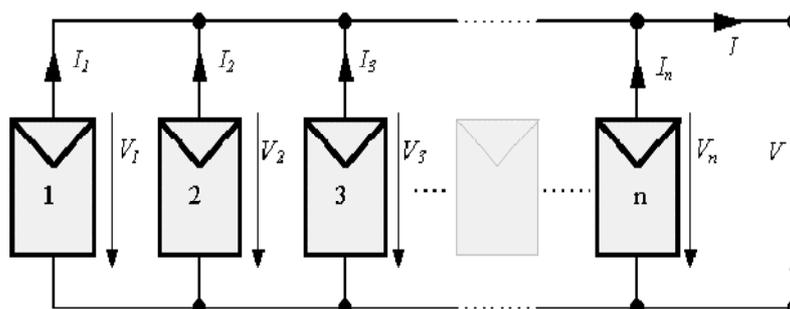


Figura 16 - Associação em paralelo das células solares
Fonte: CRESESB

De acordo com a figura 17, na ligação em série, pela regra da lei Ohmica, o resultado obtido da ligação dessas unidades é a soma das tensões de cada célula e sua corrente elétrica permanece inalterada. A ligação é feita unindo o polo positivo de uma unidade com o negativo de outra. Essa interligação permite obter uma voltagem de 12 V ou mais dependendo do número de células permitindo seu uso em armazenamento de baterias (CRESESB, 2004).

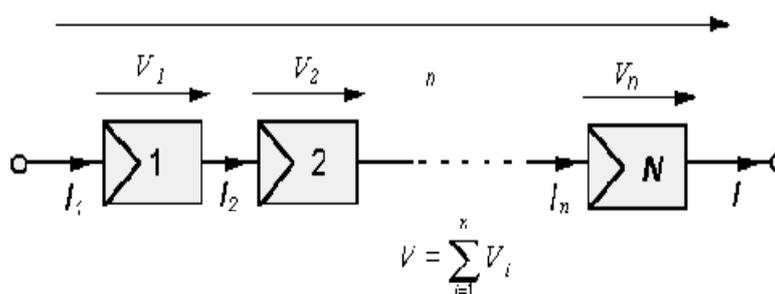


Figura 17 - Associação em série das células solares
Fonte: CRESESB

8.3.2 Inversor

O inversor solar conecta o gerador fotovoltaico à rede elétrica. É através deste elemento que se torna possível a conversão de corrente elétrica contínua gerada pelo módulo fotovoltaico em corrente alternada referente à rede. Partindo deste conceito, este aparelho é responsável pelo fluxo de potência, tendo a responsabilidade de dar maior eficiência ao sistema. A condição desta conversão vai de acordo com as normas da empresa de distribuição de energia local visto que é preciso personalizar a frequência e o nível de tensão seguindo as normas da rede. A figura 18 ilustra a simbologia elétrica do inversor

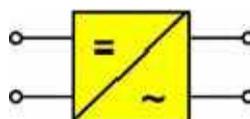


Figura 18 -Símbolo elétrico do inversor
Fonte: CRESEB

Quando a energia gerada pelo sistema FV for usada para aparelhos elétricos, são usados inversores autônomos. Eles podem alimentar desde eletrodomésticos a máquinas elétricas. A figura 19 ilustra um inversor *sunny* mini central da SMA.



Figura 19–SMC 6000 A
Fonte: SMA

Segundo o projeto GREENPRO (2004), para um bom funcionamento de um inversor algumas características básicas são importantes, a saber:

- Corrente alternada sinusoidal, com a tensão e a frequência estabilizadas;
- Excelente eficiência de conversão, mesmo para operações em regime de carga parcial;
- Elevada tolerância às correntes de arranque;

- Elevada tolerância perante as flutuações de tensão da bateria;
- Proteção contra uma profunda descarga da bateria;
- Baixo consumo em *stand-by* (espera), com detecção automática da presença de uma carga;
- Proteção contra curto-circuito no lado da saída;
- Baixo conteúdo harmônico;
- Proteção contra sobretensões.

8.3.3 Caixa de Proteção DC e AC

A caixa DC tem a finalidade de proteger a instalação de eventuais sobretensões que possam atingir o sistema, sejam provenientes da rede, sejam provenientes de um raio que atinja os módulos e a estrutura. Já a caixa AC tem a finalidade de proteger a canalização terminando junto do contador de consumo e deste ligando à portinhola de produção e consumo. Este último elemento faz a interligação do sistema de produção com a rede de distribuição pública.

8.3.4 Contadores

Os contadores têm a função de medir a quantidade de energia da rede consumida pela instalação elétrica e a quantidade de energia injetada na rede pelo sistema fotovoltaico ligado à rede pública. Pode ser adaptada tanto uma configuração com dois medidores unidirecionais ou a configuração com um medido bidirecional, que registra quanto é consumido da rede quando a energia é injetada pelo sistema fotovoltaico.

8.3.5 Rede elétrica

É a rede de distribuição da concessionária local que fornece energia para instalações dos consumidores.

8.4 O SFVCR da Casa Eficiente

No Brasil um dos exemplos de aplicação deste conceito encontra-se na Casa Eficiente onde está instalado um SFVCR com o painel integrado à cobertura. Outros sistemas deste tipo têm sido instalados e avaliados durante vários anos, sob diversos aspectos (arquitetônico, energético, econômico, de eficiência e confiabilidade), com resultados apresentados em artigos nacionais e internacionais (LAMBERTS et al, 2010).

Atualmente, o objetivo de um bom projeto não é mais simplesmente criar uma edificação que seja esteticamente agradável. Os edifícios do futuro devem atender também a aspectos ambientais e a integração entre elementos fotovoltaicos e arquitetura. É o desafio para a nova geração de edifícios.

Quando os módulos são integrados de maneira elegante e esteticamente agradável, geram bons exemplos de aplicação que podem ser utilizados para convencer clientes, arquitetos e o público em geral do papel positivo dessa tecnologia, seja em termos de desempenho energético ou da disponibilidade de um elemento construtivo completo.

O sistema fotovoltaico da Casa Eficiente é do tipo conectado à rede elétrica e integrado à edificação. Este sistema possui potência nominal de 2,25 kWp e está operando desde 28 de julho de 2006 (LAMBERTS et al, 2010).

Os principais componentes do sistema fotovoltaico da Casa Eficiente são:

- 30 módulos de silício policristalino (p-Si), 75 Wp cada, totalizando 2,25 kWp;
- 2 chaves seccionadoras com fusíveis de 50 A;
- 2 inversores de 1200 W;
- 2 medidores de energia monofásicos;
- 2 disjuntores monopolares de 10 A.

O sistema é dividido em dois subsistemas, ilustrado na figura 20, cada um com 15 módulos (1,125 kWp) conectados a um inversor.

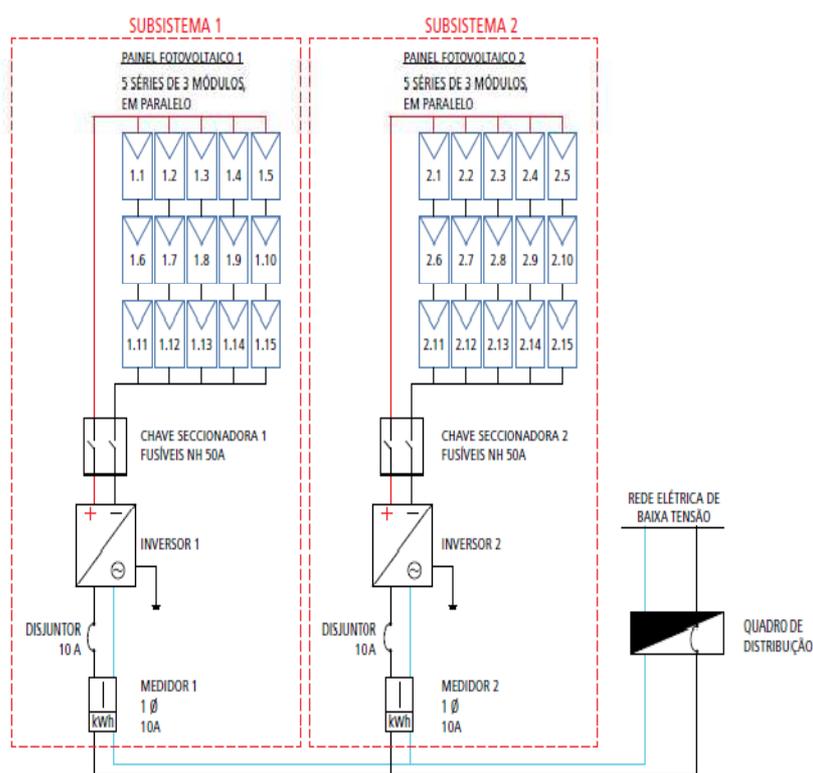


Figura 20 – Diagrama esquemático da Casa Eficiente
Fonte: LAMBERTS et al., 2010.

A **Figura 21** mostra a fachada Norte da Casa Eficiente. Sobre a cobertura veem-se, à esquerda e à direita, coletores solares destinados ao aquecimento de água e, na parte central, vê-se o painel fotovoltaico.



Figura 21 - Casa Eficiente
Fonte: (LAMBERTS et al, 2010)



Figura 22 - Inversores e chaves seccionadoras do SFV
Fonte: (LAMBERTS et al, 2010)

9 A UESB CAMPUS ITAPETINGA

A UESB-Universidade do Sudoeste da Bahia - tem sua sede na cidade de Vitória da Conquista, situada na Mesorregião do Centro-Sul do Estado da Bahia. A cidade de Itapetinga, onde se localiza o campus em que está situado o objeto deste estudo, possui uma população de 67.717 habitantes, segundo dados publicados no DOU de 04/11/2010. A figura 23 ilustra a entrada da UESB.



Figura 23–UESB, Campus Itapetinga /BA

Fonte: www.uesb.com.br

Cidade de Itapetinga-BA.

Latitude: 15° 15' 12.48" S e Longitude: 40° 15' 19.78" W

O campus de Itapetinga oferece os cursos de:

- Ciências Biológicas (licenciatura e bacharelado);
- Zootecnia (bacharelado);
- Pedagogia (licenciatura);
- Engenharia de Alimentos;

- Engenharia Ambiental;
- Química (licenciatura e bacharelado)

A maioria dos cursos de graduação oferecidos pelo campus de Itapetinga concentra-se nos campos da Ciência e Tecnologia. Dentre as muitas áreas atendidas pelos seus 46 laboratórios, destacam-se os experimentos nas áreas animal, alimentícia e de solos. Nesse sentido, evidencia-se a Unidade Experimental de Caprinos e Ovinos (UECO), um espaço avançado em pesquisas nas áreas de produção e nutrição animal (UESB, 2012).

Além disso, o campus de Itapetinga também conta com a Ludoteca - um espaço destinado ao cuidado e aprendizado lúdico de crianças mantido pelo curso de Pedagogia -, a biblioteca, o auditório e um posto odontológico. A figura 24 ilustra a vista aérea.



Figura 24 - Campus Itapetinga /BA
Fonte: Google/universidadeemmovimento.blogspot

9.1 Eficiência e qualidade de energia no campus da UESB

Desde o ano de 2010, estamos trabalhando para melhorar as instalações elétricas no campus da UESB em Itapetinga adequando-as às normas da ABNT NBR 5410/2004 e NR10.

Todo o estudo foi iniciado com o levantamento das potências instaladas em cada laboratório e setores da universidade. A princípio, otimizamos as instalações, vistoriando-se os transformadores em BT para equilibrar as cargas de cada setor. Foram realizadas medições em cada transformador com um analisador de grandezas elétricas (medições das tensões e correntes em tempo real).

Foi objeto de processo licitatório promovido pela UESB um projeto para adequar a rede elétrica do campus de Itapetinga, desde a subestação, conforme as normas da NBR 5410/2004 e a NR10, com a coordenação e seletividade do sistema elétrico. Realizou-se o seminário “Como reduzir os desperdícios de energia na universidade e na residência” procurando conscientizar cada colaborador a usar a energia com bom senso, conforto e qualidade em suas vidas, gerando menos impacto ao meio ambiente quando essa energia é gerada.

A cada ano ampliam-se os laboratórios, são feitas novas construções, as quais requerem maior consumo de energia e, conseqüentemente, geram impactos nos estudos e pesquisas de cada laboratório.

9.2 Energia alternativa para o campus da UESB

A própria natureza das atividades praticadas no local, campus da UESB, deixa evidente a grande quantidade de energia consumida pelas construções e aumento das cargas nos laboratórios para que atendam aos seus respectivos fins.

Com a elevação da temperatura na Terra a cada ano, são mais frequentes as instalações de aparelhos de Ar condicionados para o bem estar e conforto do ser humano no campus da UESB.

O uso de fontes alternativas de energia no campus da UESB tem por objetivo substituir ou minimizar o consumo das fontes energéticas convencionais, que geram grandes degradações ao meio ambiente.

O estudo do pré-dimensionamento de um SFVCR em um dos laboratórios da UESB visa por em prática o uso da energia solar fotovoltaica em todo o campus, ação esta consoante com a Resolução n.º 482 da ANEEL. Portanto, este se torna um projeto sustentável que poderá reduzir muito os gastos com o uso da energia hidroelétrica naquela universidade.

O uso da energia fotovoltaica é uma das formas de energia renováveis para reduzir o impacto causado pelas construções. O seu foco é a eficiência energética e qualidade da energia, seguindo as metas do governo por meio do programa PROCEL, buscando gerar menor impacto ambiental com construções sustentáveis. A partir das condições atuais de consumo de energia das instalações de um dos laboratórios do campus da UESB, em Itapetinga, e dos potenciais de economia realizáveis, propõe-se a instalação de um SFVCR para reduzir os custos de energia elétrica convencional.

10 EXEMPLOS DE SFVCR INSTALADOS NO BRASIL

Segundo Zilles et al. (2012), a inserção da energia solar fotovoltaica no Brasil não está ocorrendo de forma diferente da experiência de outros países. O potencial brasileiro de uso de SFVCR expõe a necessidade de se realizarem ações prévias à disseminação desse tipo de instalação FV, com o objetivo de ajudar na consolidação dessa aplicação, tornando-a uma fonte de eletricidade

competitiva e sustentável. O primeiro SFVCR no Brasil foi instalado em 1995 pela CHESF em sua sede no Recife (GALDINO, 2005).

Entre os anos de 1995 e janeiro de 2010, foram instalados 40 SFVCR em território brasileiro, dos quais 36 estavam em operação no último ano. Desse total, a maioria está associada a projetos de P&D, com instalações predominantes nas regiões Sul e Sudeste.

A potência total em operação até janeiro de 2010 soma uma potência operacional de 171,32 kWp. A **tabela 2** apresenta a localização dos SFVCR em operação no Brasil até janeiro 2010 (ZILLES et al., 2012).

LOCAL	SISTEMAS	POTÊNCIA INSTALADA (kW _p)
UFSC - Labsolar	3	13,34
USP – IEE/LSF	4	16,10
UFRGS	1	4,80
UFPE – Grupo FAE	3	5,18
UFJF	1	31,70
UFPA - GEDAE	1	1,60
UNICAMP– LH2	1	7,50
CEPEL	1	16,32
CELESC	3	4,20
CEMIG	4	11,29
Eletrosul	2	14,30
Tractebel Energia	3	6,00
IEM - RS	1	3,30
ClínicaHarmonia -SP	1	0,90
GREENPEACE	1	2,80
Residências Particulares	2	3,90
Solaris (Leme -SP)	1	1,00
Grupo Zeppini	2	17,10
Coca-Cola	1	10
TOTAL	36	171,32

Tabela2 – Localização de SFVCR em operação no Brasil
Fonte: (ZILLES et al., 2012).

10.1 Potência instalada de acordo com vínculo / Região

Os gráficos 1 e 2 permitem visualizar a distribuição da potência desses sistemas de acordo com tipo de vínculo institucional dos projetos e com a região geográfica das instalações.

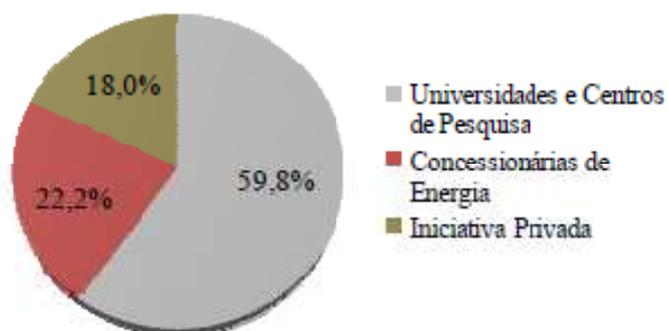


Gráfico 1 - Potência operacional por vínculo institucional.
Fonte: BENEDITO, 2009

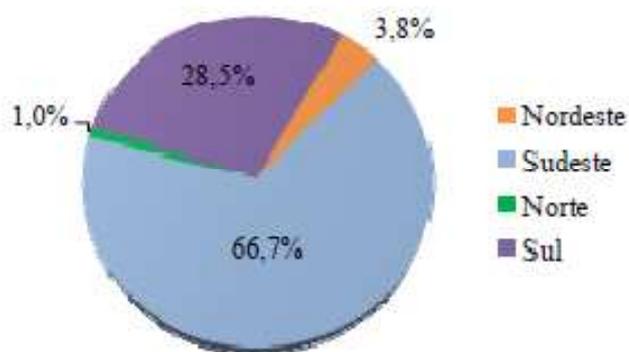


Gráfico 2 - Potência operacional por região
Fonte: BENEDITO, 2009

10.2 SFVCR instalados por Universidades e Centros Pesquisas

No Brasil os sistemas fotovoltaicos à rede elétrica necessitam de incentivos e investimentos para, efetivamente, integrarem a matriz energética nacional. A seguir exemplos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em operação no território nacional (ZILLES et al., 2012).

10.2.1 A experiência da UFSC

A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), representada pelo Laboratório de Energia Solar (LabSolar) e pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), vem desenvolvendo pesquisas com SFV integrados a edificações e conectados à rede.

Em setembro de 1997, esse sistema conectado à rede foi o primeiro no Brasil a ser integrado à estrutura arquitetônica do edifício. A figura 25 apresenta uma vista frontal e lateral do gerador FV no prédio da Engenharia Mecânica da UFSC (ZILLES et al., 2012).



Figura 25- Detalhes do Gerador FVCR do sistema de 2 kWp - UFSC
Fonte: (ZILLES et al., 2012).

Ao longo de um ano, o sistema gera, em média, aproximadamente 2,6 MWh de energia elétrica, o suficiente para atender à demanda de uma residência urbana média e energeticamente eficiente no mesmo período. A figura 26 mostra uma representação esquemática da instalação (RÜTHER, 2004).

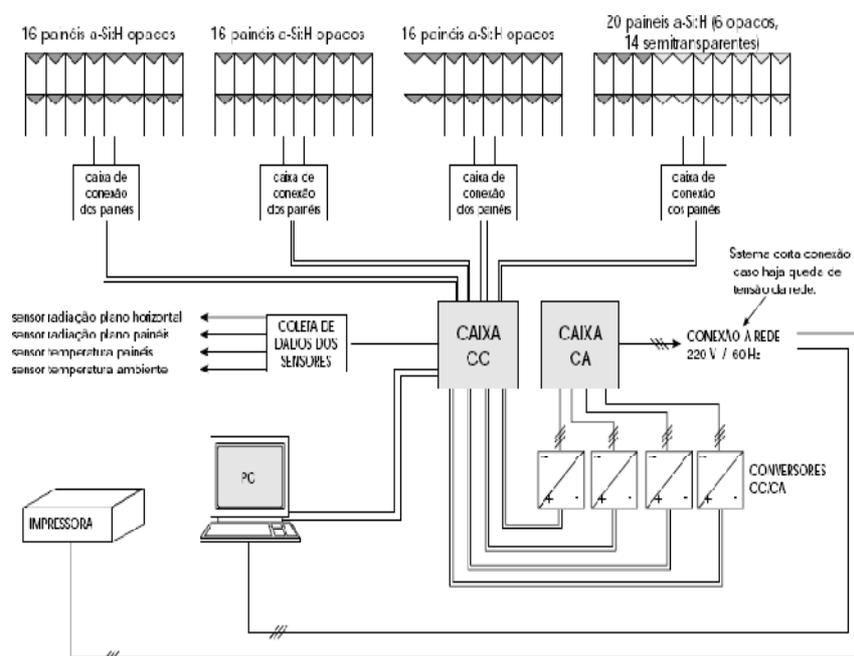


Figura 26 - Diagrama esquemático do sistema integrado ao prédio do departamento de Engenharia Mecânica da UFSC

Fonte: RÜTHER, 2004

10.2.2 A experiência do CEPEL

Em setembro de 2002, foi instalado o SFVCR no bloco J do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), localizado na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro. O sistema possui 16,32 kWp distribuídos em seis subgeradores com 17 módulos FV BP580F de 80 Wp cada um.

Esse sistema possui seis inversores *Sunny Boy* da SMA, modelo SWR 2500U, conectados em delta dois a dois em paralelo. A figura 27 apresenta uma foto do gerador FV que constitui o sistema (ZILLES et al., 2012).



Figura 27 – Gerador FVCR de 16,32 kWp, instalado no Cepel
Fonte: (ZILLES et al., 2012).

10.2.3 A experiência do IEE-USP

Em 2003, foi concluída a instalação do sistema de 12,3 kWp na fachada do prédio da administração do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE-USP). Trata-se de um sistema constituído por 80 módulos de silício monocristalino do fabricante Atersa e 80 módulos de silício policristalino do fabricante Solarex, dispostos em oito subgeradores de 20 módulos cada um, os quais ocupam uma área total de 128 m².

Podemos observar que todos os geradores FV foram incorporados arquitetonicamente à edificação, servindo como elementos de sombreamento, reduzindo a carga térmica da edificação (Eficiência Energética) e, conseqüentemente, o consumo de energia solicitado pelo AR condicionado. Na configuração original, cada subgerador é formado por dois strings de dez módulos em série, conectados em paralelo a um inversor de 1kW. A figura 28 apresenta uma foto do gerador FV que constitui o sistema (ZILLES et al., 2012).

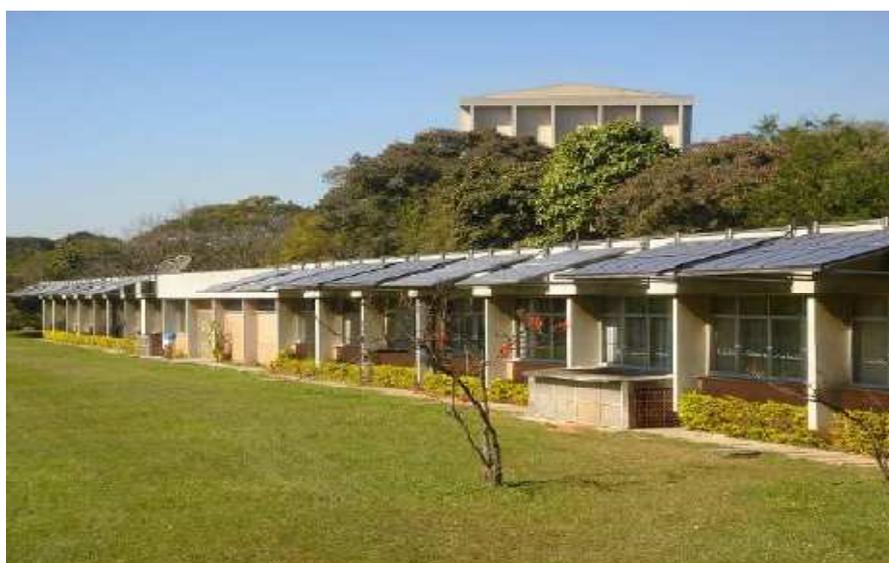


Figura 28 – Gerador FVCR de 12,3 kWp, instalado no IEE_USP
Fonte: (ZILLES et al., 2012).

O gerador apresentado de 3kWp foi instalado no LSF (Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos) do Instituto de Eletrotécnica e Energia - IEE da Universidade de São Paulo - USP - e conectado à rede elétrica de baixa tensão.

O gerador fotovoltaico corresponde à cobertura de parte do estacionamento do IEE, em frente ao LSF.

O sistema é composto por 60 módulos Astropower APX50, com potência de 50Wp, e 3 inversores SMA Sunny Boy 1100U, com potência nominal de 1 kW.

Calcula-se que este sistema produz, anualmente, 4.265,69 kWh, com uma produção diária média anual de 11,68 kWh/dia. Ou seja, para cada kWp instalado serão produzidos 1.421,90kWh por ano. A figura 29 apresenta o diagrama unifilar do sistema IEE/USP e a figura 30 o gerador FVCR (ZILLES et al., 2012).

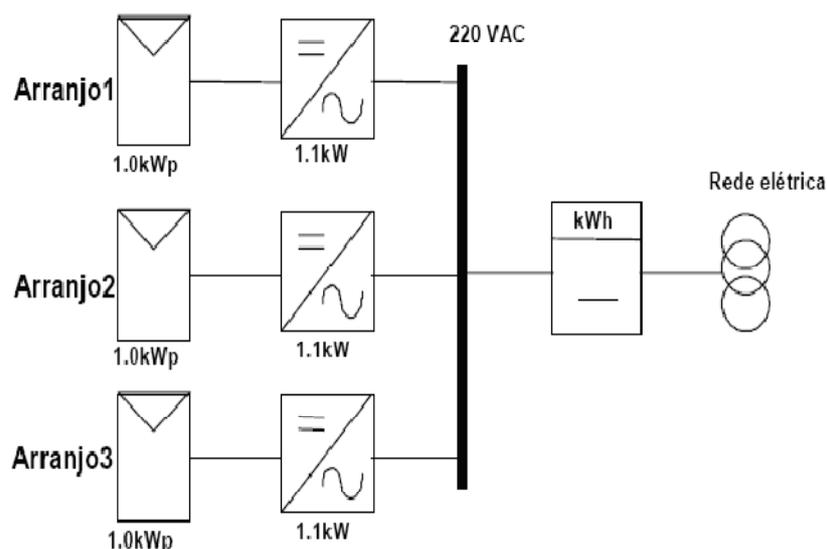


Figura 29 – Diagrama unifilar do sistema IEE/USP
Fonte: RÜTHER, 2004



Figura 30 – Sistema de 3 kWp no estacionamento do IEE_USP
Fonte: (ZILLES et al., 2012).

10.3 SFVCR instalado pela Iniciativa Privada

Com a Resolução n.º 482 da ANEEL, a iniciativa privada acelera seus projetos e cresce a demanda por fontes de energias renováveis.

10.3.1 O pedágio na Rodovia dos Imigrantes, km 23

Em agosto de 2012, foi finalizada a instalação, pela BlueSol do primeiro sistema alimentado por energia solar fotovoltaica na praça de pedágio Batistini, localizado na Rodovia dos Imigrantes, km 23, em São Bernardo do Campo, SP. A potência instalada é de 21,12 kWp. A figura 31 apresenta o sistema FV instalado no pedágio da concessionária Ecorodovias, cuja distribuidora é a Eletropaulo (BlueSol, 2012).



Figura 31 –SFVCR na Praça de Pedágio Batistini
Fonte: BlueSol, 2012

11 DIMENSIONAMENTO DO SFVCR NO CAMPUS DA UESB

A partir das condições atuais do consumo de energia no laboratório CEDETEC¹ na UESB, é proposta a instalação de um sistema fotovoltaico para reduzir os custos com a energia convencional.

O estudo do pré-dimensionamento visa analisar as condições atuais propondo a UESB um sistema híbrido, ou seja, a possibilidade de também utilizar energia FV para alimentar parte da carga solicitada à rede convencional. A figura 32 mostra a localização do laboratório do CEDETEC no campus da UESB em Itapetinga.

¹Centro de Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias



Figura 32 - Campus UESB em Itapetinga
Fonte: Google/universidadeemmovimento.blogspot

11.1 Carga instalada no laboratório CEDETEC

O dimensionamento do sistema FV está baseado num percentual da carga instalada do laboratório, sendo esta de 110 kW. A maior demanda vem dos aparelhos de AR Condicionado (35,19 kW) cujo funcionamento diário, em média, é de 4 horas.

A figura 33 abaixo mostra uma visão, por vários ângulos (de frente, de lado etc.), da edificação cujas dimensões são: 28m de comprimento e 22m de largura, sendo o telhado de telhas metálicas com inclinação de 10°.



Figura 33 - Campus UESB em Itapetinga
Fonte: José Valderi C. Silva

11.2 Medições no transformador que fornece energia ao laboratório

Conforme ilustra a figura 34, o transformador que alimenta o laboratório tem uma potência de 75 kVA (380/220 V), sendo alimentado por uma Rede de 13,8 kV, a uma distância aproximada de 15 metros .



Figura 34 – Transformador de 75 kVA

Fonte : José Valderi C. Silva

Nesse transformador foram realizadas medições de grandezas elétricas com um Analisador de Grandezas Elétricas, o PowerNet P-600, pela empresa de engenharia ALTA TENSÃO, verificando-se, através de gráficos, as condições de carga média, tensões entre fases e correntes nas fases. As medições foram realizadas em 05/12/2012 por 24 horas. A tabela 3 ilustra as medições.

RESUMO DAS MEDIÇÕES REALIZADAS						
TENSÃO (V)		CORRENTE (A)		DEMANDA (MAX.)		FATOR DE POTÊNCIA
MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	KW	KVA	
362,4	376,8	7,30	71,70	21,5	24,1	0,890 ¥

Tabela 3- Medições com o analisador de grandezas

Fonte: ALTA TENSÃO, 2012

As medições realizadas com o medidor PowerNet P-600, ilustrado na figura 35, indica condições de operação normal, mas apenas 32,14% da potência do transformador é utilizada. A tabela 4 mostra os dados técnicos do transformador que alimenta as cargas no laboratório CEDETEC.



Figura 35 – Medidor PowerNet P 600
 Fonte : www.ims.ind.br

DESCRIÇÃO DO TRANSFORMADOR
Potência do Transformador: 75 KVA;
Tensão Primária: 13.8 KV;
Tensão Secundária: 380/220 V;
Número de Fases: 03;
Corrente Nominal do Transformador: 114 A;
Condutor Secundário: 3#35 (35)mm ² ;
Capacidade de Corrente do Condutor Secundário: 112 A;
Corrente Nominal do Disjuntor (Geral): S/ Disjuntor;
Utilização do Transformador: 32,14 %.

Tabela 4 – Dados do Transformador
 Fonte : ALTA TENSÃO, 2012

As medições foram realizadas conforme as normas da ABNT NBR 5410/2004 e NR10. Antes mesmo de projetarmos um SFVCR, realizamos o diagnóstico energético em nível de eficiência e qualidade da energia para otimizarmos o sistema, verificando o comportamento da rede elétrica, curva de

carga, balanceamento das fases no nível de tensão e corrente. Os gráficos 3 e 4 abaixo ilustram as informações das tensões e correntes obtidas com o analisador de grandezas.

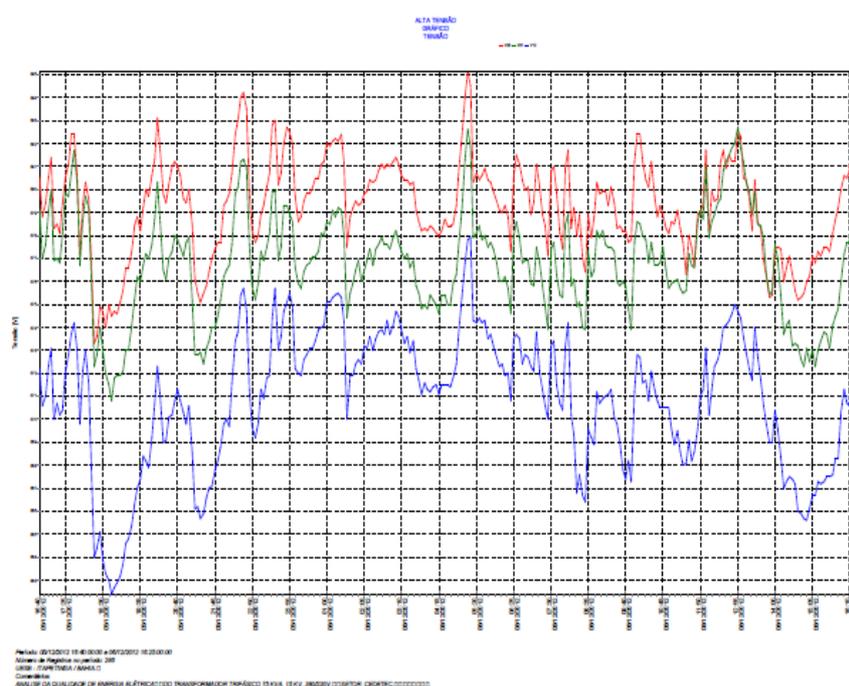


Gráfico 3 – Tensão nas fases
Fonte: ALTA TENSÃO, 2012

Segundo o gráfico 3, as tensões medidas durante as 24 horas estão dentro das normas da ANEEL e da concessionária COELBA. Tensão mínima de 362,4 V e máxima de 376,8 V (ALTA TENSÃO, 2012). Corrente máxima de 71,70 ampères.

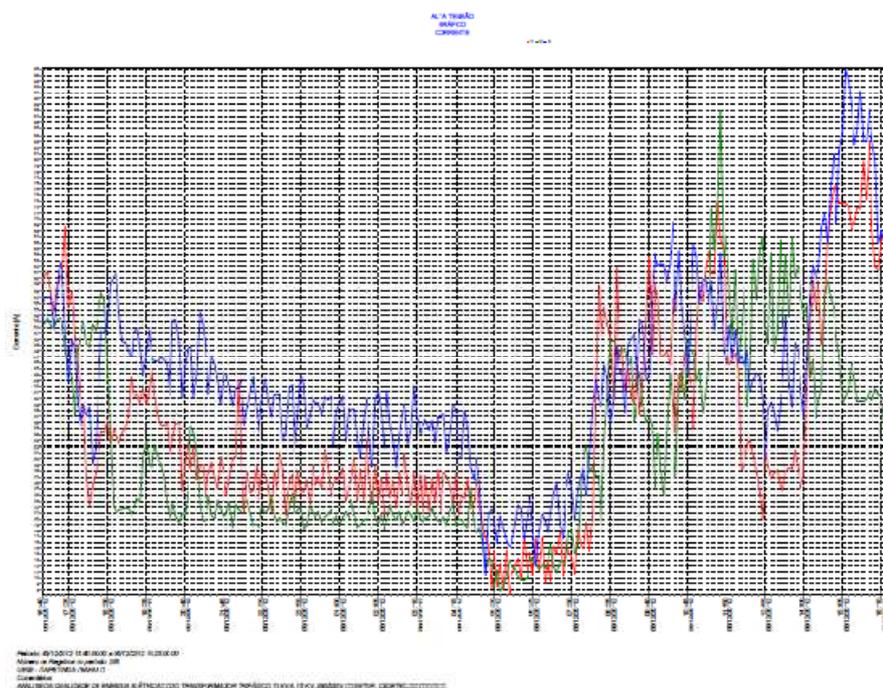


Gráfico 4 – Correntes nas fases

Fonte: ALTA TENSÃO, 2012

Com base nas informações obtidas e medidas com o analisador de grandezas, foi proposto o SFVCR para suprir parte da alimentação fornecida na atualidade pelo sistema de energia convencional.

O objetivo do pré-dimensionamento do sistema FV é mostrar a viabilidade de um sistema híbrido (energia convencional e energia fotovoltaica), sendo que o SFVCR torna o ambiente mais limpo, eficiente e ecologicamente correto. A figura 36 ilustra um SFVCR com dois medidores.

Um gerador FV usufrui de uma pequena parcela da energia que incide na superfície terrestre, sem precisar ocasionar nenhuma devastação ou qualquer dano ambiental.

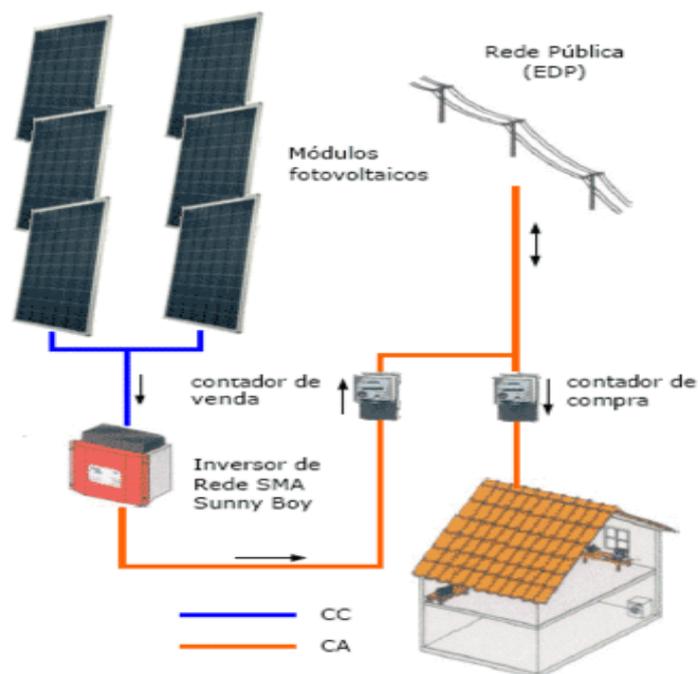


Figura 36 - SFVCR com dois medidores
Fonte: FFSolar

11.3 Consumo de Energia no Campus da UESB

Através das faturas de energia, ano 2011, obtivemos os seguintes dados de consumo de energia:

I - Consumo HFP – Hora Fora de Ponta (kWh): consumo estimado de 50.000 kWh / mês, num total anual de 600.000 kWh/ano;

II - Consumo HP – Hora de Ponta (kWh): consumo estimado de 6.000 kWh/ mês, num total de 72.000 kWh/ano.

11.4 Tarifação da unidade consumidora UESB

De acordo com seu nível de tensão (13,8 kV), o campus da UESB de Itapetinga está enquadrado no subgrupo A4 (tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV), classificação poder público, tarifa horo-sazonal verde (COELBA, 2012).

De acordo com a COELBA (2012), essa modalidade de contrato se divide em um consumo na ponta e fora de ponta, sendo a demanda contratada um valor único, independente da hora do dia.

Os preços das tarifas em vigor, desde 17.04.2012, na concessionária Coelba para a classificação A4 – Serviço Público são:

Custo do consumo (kWh) na H.F.P	0,16681944
Custo do consumo (kWh) na H.P	1,77181837
Custo da demanda (kW).....	20,93370283

Portanto, o custo anual, aproximado, da conta de energia convencional no campus da UESB em Itapetinga gira em torno de R\$ 277.903,46, sendo assim calculado:²

$$\text{HFP} = 600 \text{ kWh/ano} \times 0,16681944 = \text{R\$ } 100.091,66$$

$$\text{HP} = 72 \text{ kWh/ano} \times 1,77181837 = \text{R\$ } 127.570,92$$

$$\text{Demanda} = 200 \text{ kW/mês} \times 12 \times 20,93370283 = \text{R\$ } 50.240,88$$

²Dados de consumo e demanda retirados das faturas de energia ano 2011. Os valores calculados não incluem as multas excedentes de consumo na ponta e fora de ponta. Preços das tarifas em vigor (COELBA, 2012).

11.5 Cálculo da Estimativa de Energia a ser Produzida pelo SFVCR

Para o pré-dimensionamento foram utilizados os dados da cidade mais próxima de Itapetinga, conforme analisado pelo programa Sundata. A cidade de Vitória da Conquista está a uma distância de 76,2 km de Itapetinga com latitude de 14° ao sul e longitude 40° ao oeste. A Tabela 5 mostra os dados obtidos a partir do programa Sundata, encontrado no site do CRESESB, que permite obter dados do nível de radiação solar. Vale lembrar que esses dados sofrem alteração ao longo dos anos, haja vista as mudanças climáticas ocorridas no planeta (CRESESB, 2012).

Município: Vitória da Conquista - BA

Latitude: 14,866111° Sul

Longitude: 40,839444° Oeste

Distância: 76,2 km

Radiação diária média mensal [kWh/m ²]														
Ângulo	Incl	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Média
Plano Horizontal	0° N	5,25	4,81	5,5	4,33	4,03	3,4	3,9	5,03	4,6	4,78	5,03	5,28	4,67
Ângulo igual à latitude	15° N	4,88	4,64	5,55	4,61	4,53	3,9	4,5	5,54	4,7	4,67	4,73	4,86	4,76
Maior média anual	14° N	4,91	4,65	5,56	4,6	4,5	3,9	4,5	5,51	4,7	4,68	4,75	4,9	4,76
Maior mínimo mensal	30° N	4,32	4,26	5,33	4,66	4,79	4,2	4,8	5,75	4,6	4,35	4,23	4,26	4,63

Tabela 5 – Níveis de radiação solar, média mensal

Fonte: Programa Sundata, site CRESESB

Os dados da tabela 5 mostram a radiação solar diária média mensal (kWh/m²/dia) para todos os meses do ano , a partir de janeiro. Como se pode verificar, a média anual de irradiação no plano inclinado, 4,76 kWh/m²/dia, é superior ao plano horizontal 4,67 kWh/m² dia, atestando que a inclinação dos

módulos em um ângulo igual ao da latitude do local de instalação proporciona uma maior produção de energia para sistemas conectados diretamente à rede elétrica de distribuição.

O gráfico 5 abaixo exhibe a variação da radiação solar ao longo do ano, considerando um ângulo igual a latitude de 15° para incidência solar.

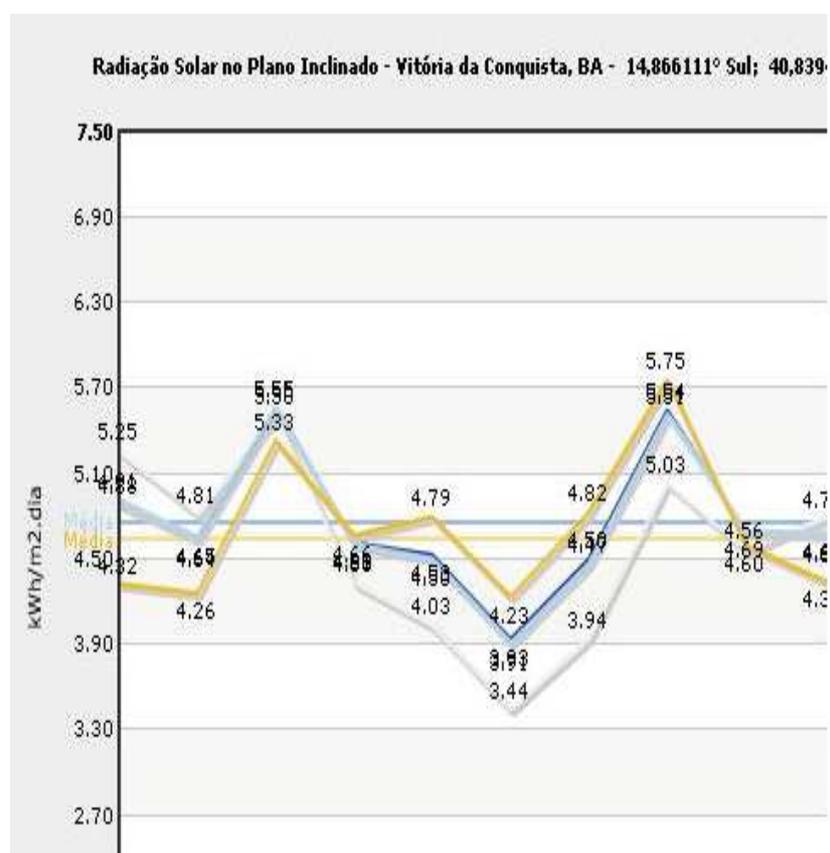


Gráfico 5- Radiação solar média mensal e anual
Fonte: Programa Sundata, site CRESESB

12 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

O dimensionamento de um SFVCR envolve uma série de etapas, entre as quais se destacam aquelas associadas ao processo de cálculo da energia elétrica produzida pelo gerador fotovoltaico. É conveniente determinar como será a saída de potência de cada um dos módulos e, partir daí, entender como será o comportamento deles ao serem reunidos dentro de um gerador em operação (ZILLES et al., 2012).

12.1 Área disponível para instalar o SFVCR

O local escolhido deve ser livre de sombreamento entre duas horas após o nascer do Sol e uma hora antes do pôr do Sol. Torna-se imprescindível o cuidado para, em qualquer época do ano, o local está livre de crescimento de árvores, edificações vizinhas etc. Algumas outras recomendações devem ser observadas:

- Disponibilidade da área do telhado;
- Orientação e inclinação das estruturas disponíveis à colocação do sistema;
- Dados sobre sombreamentos;
- Locais potenciais à instalação do gerador, das caixas de junção, do interruptor de corte principal (DC) e do inversor;
- Caixa do contador e espaço para um contador extra;
- Comprimento dos cabos, rede de cablagem e método de implantação da canalização elétrica;

- Acessos, particularmente se for necessário equipamento específico para a instalação do gerador (guindaste, andaime, etc.);
- Tipo de módulo, concepção do sistema, método de instalação;
- Produção energética desejada *versus* potência fotovoltaica a instalar;
- Enquadramento financeiro, tendo em conta as respectivas condições para a atribuição de subsídios (GREEPRO, 2004).

A produção de energia do gerador fotovoltaico é influenciada diretamente pelo efeito de sombreamento. Este fenômeno acontece pelas folhas que caem, dejetos de pássaros, pó e fuligem impedindo que a radiação solar chegue de forma plena nas células solares. Isto pode ser responsável pela perda de até 10 % da produção energética.

Uma saída para isto seria a auto limpeza a partir da água chuva, desde que o módulo se encontre a um ângulo de 12° ou mais para que a água escorra com facilidade sobre a superfície do gerador. Ainda assim, a limpeza semanal ou mensal do sistema também poderá ser eficaz, contanto que não se usem detergentes na hora da lavagem.

A localização dos geradores poderá resultar num sombreamento permanente, este é consequência de prédios vizinhos e árvores. O local da conexão com a rede elétrica da concessionária é de vital importância, pois os condutores, os disjuntores devem ser calculados para evitar quedas de tensões que comprometam o fluxo da energia até o local, e esse ponto de conexão não deve estar distante da conexão com os inversores (GREEPRO, 2004).

A área a ser utilizada para o gerador FV em questão é de 200 m² livre de sombreamento e próxima de uma rede localizada a 15 metros do laboratório CEDETEC na UESB de Itapetinga. Usando-se uma bússola, localiza-se o norte geográfico, conforme mostra a figura 37.

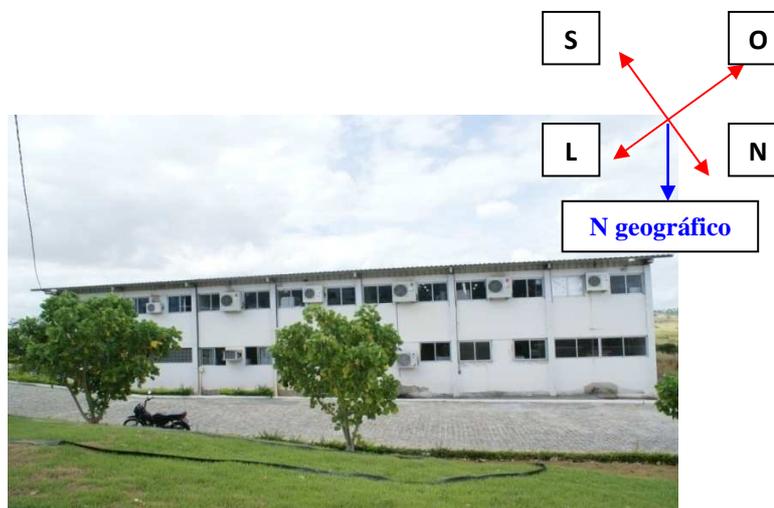


Figura 37 – Vista frontal laboratório CEDETEC
Fonte: José Valderi C. Silva

12.2 Potência do Gerador em kWp

Segundo Alvarenga (2011), cada kW instalado necessita de uma área de 10 m², de um investimento de R\$ 6.000,00 a R\$10.000,00 e gera em média 1,3 a 1,5 MWh/ano. A potência de pico do conjunto dos módulos FV é analisada sobre três parâmetros:

- Potência de pico do gerador FV que corresponderá, aproximadamente, à capacidade de pico do conjunto dos módulos fotovoltaicos ou à capacidade nominal dos inversores utilizados – kW;
- Valor estimado para investimento incluindo o projeto, aquisição dos equipamentos e instalação – R\$;
- Montante anual de energia que se quer gerar – MWh/ano.

O Gerador proposto para o estudo/projeto irá ocupar um percentual da área disponível (616 m²), ou seja, 200 m², necessitando de um investimento de R\$ 200.000,00. Para uma área de 200 m², temos um gerador estimado em 20 kW, portanto, a geração estimada será de 26 MWh/ano (1,3 MWh/ano x 20 kW), ou seja, 2,17 MWh/mês (SOLENERG, 2012).

12.3 Seleção dos módulos fotovoltaicos

O módulo FV deve ser escolhido em função da sua qualidade, certificado Procel/Inmetro, ISO 9001 e disponibilidade no mercado. O módulo escolhido para esse pré-dimensionamento é do fabricante Kyocera, KD210GH-2PU (High Efficiency Multicrystalline FV), ISO 9001, cujas características de tensão e corrente estão ilustradas nas figuras 38 e 39 abaixo:

Irradiação: AM 1,5 kW/m²

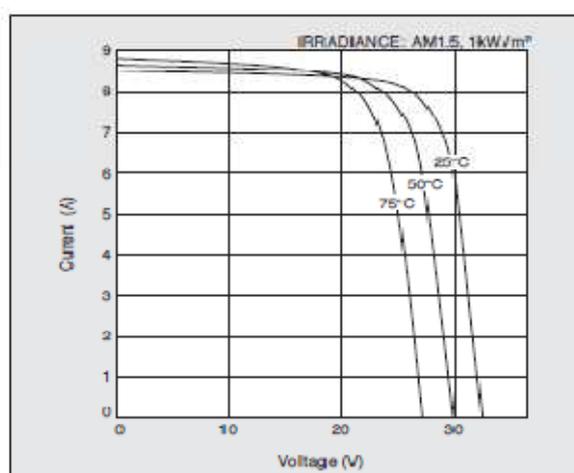


Figura 38 – Curva de corrente e tensão a temperatura variável das células
Fonte: Kyocera

Temperatura da célula 25° C

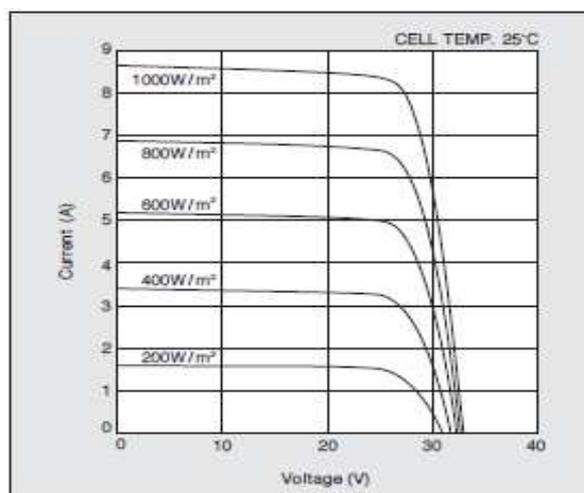


Figura 39 – Curva de corrente e tensão a radiação incidente variável
Fonte: Kyocera

Os dados elétricos e dimensões físicas são mostrados nas tabelas 6 e 7 ilustrados abaixo:

■ Electrical Performance under Standard Test Conditions (*STC)	
Maximum Power (P _{max})	210W (+5%/−5%)
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	26.6V
Maximum Power Current (I _{mpp})	7.90A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	33.2V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.58A
Max System Voltage	1000V
Temperature Coefficient of V _{oc}	−1.20×10 ^{−1} V/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	5.15×10 ^{−3} A/°C

*STC : irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C

Tabela 6– Dados técnicos do módulo KD210GH-2PU
Fonte:Kyocera, 2012

■ Cells	
Number per Module	54
Cell Technology	Multicrystalline
Cell Shape	Square
■ Module Characteristics	
Length × Width × Depth without Box	1500×990×46mm
Weight	18kg
Cable	(+)-950/(-)750mm

Tabela7– Dados técnicos do módulo KD210GH-2PU
 Fonte: Kyocera, 2012

As dimensões físicas do módulo são ilustradas na figura 40 sendo a área de 1,485 m² , com seguintes dimensões (L x C x E) de 1500 x 990 x 46mm.

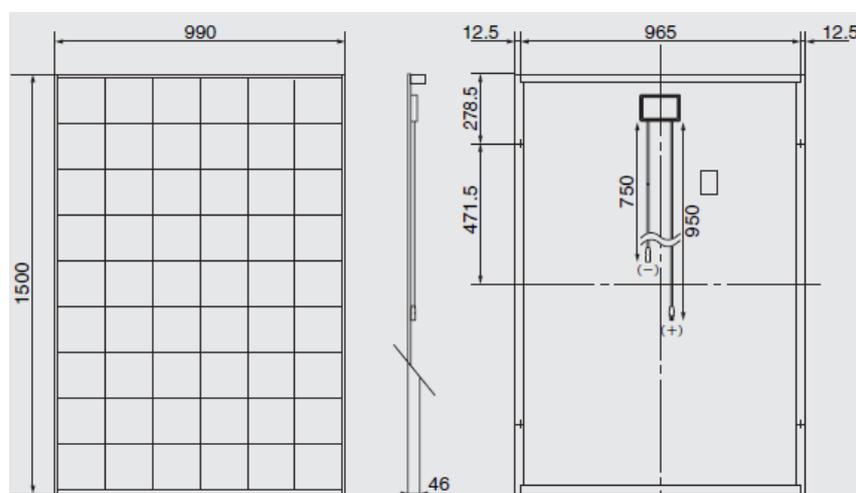


Figura 40 – Dimensões do módulo KD210GH-2PU
 Fonte:Kyocera, 2012

Módulo Kyocera KD210GH=2PU (High Efficiency Multicrystalline FV) ilustrado na figura 41:



Figura 41 – Módulo Kyocera
Fonte: Kyocera, 2012

12.4 O Inversor

. O inversor deve estar de acordo com as normas da ABNT NBR 5410/04 e normas da concessionária local (frequência, tensão, aterramento etc.). O inversor é especificado de acordo com a disponibilidade no mercado, preço por watt etc.

O inversor escolhido no projeto é do fabricante SMA, modelo SMC 6000 A. O preço estimado do inversor é de R\$14.000,00. A tabela 8 ilustra as especificações técnicas do inversor da SMA.

SMC 6000A	
Entrada (CC)	
Potencia máxima de CC	6300 W
Tensión máxima de CC	600 V
Rango de tensión fotovoltaica, MPPT	246 V - 480 V
Corriente máx. de entrada	26 A
Número de seguidores de MPPT	1
Número máx. de Strings (en paralelo)	4
Salida (CA)	
Potencia nominal de CA	6000 W
Potencia máxima de CA	6000 W
Corriente máx. de salida	26 A
Tensión nominal de CA / rango	220V - 240V / 180V - 260V
Frecuencia de red de CA (de ajuste automático) / rango	50 Hz / 60 Hz / $\pm 4,5$ Hz
Factor de potencia (cos ϕ)	1
Corrección de CA / Power Balancing	monofásico / ●
Coefficiente de rendimiento	
Coefficiente de rendimiento máx.	96,1 %
Rendimiento europeo	95,2 %

Tabela 8 – Inversor Sunny Mini Central
Fonte:SMA

A potência de corrente contínua máxima é de 6300 W com uma eficiência de 96,1%. No que se refere à utilização de inversores monofásicos, a solução mais simples para a conexão das saídas de múltiplos inversores em um único ponto do sistema de distribuição é feita geralmente através de um quadro de distribuição dedicado ao SFVCR.

Nessa forma de instalação, deve-se dar a devida importância para o balanceamento da conexão dos inversores pelas três fases do sistema de distribuição, sendo que cada inversor deve conter sua própria proteção contra sobre-corrente, utilizando fusíveis instalados nas fases (MACÊDO, 2006; ZILLES et al., 2012)

A figura 42 ilustra o esquema de ligação do Inversor SMC monofásico, equilibrado em cada fase e a figura 43 ilustra a curva de rendimento.

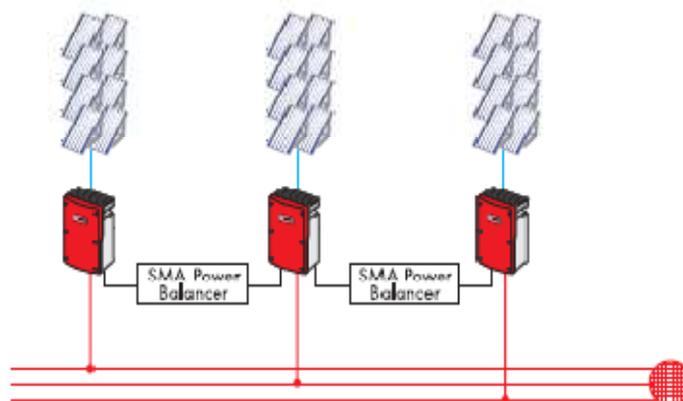


Figura 42– Sistema equilibrado dos inversores por fase
Fonte: SMA

Curva de rendimento

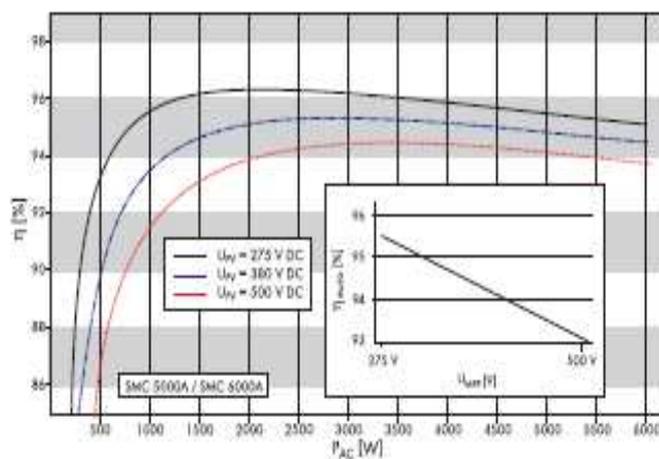


Figura 43 – Curva do rendimento do inversor SMC
Fonte: SMA

12.5 Arranjos dos módulos FV e o Inversor

A potência nominal total dos módulos ligados em cada inversor não pode ser maior que 110% da potência máxima de corrente contínua do inversor:

$$P_{\text{módulos}} = 1,1 \times P_{\text{inversor}}$$

$$P_n = 1,1 \times 6300$$

$$P_n = 6930 \text{ W}$$

Cada painel tem potência de 210W. Dividindo a potência total de 6930W pela potência máxima de cada módulo (210W), temos a quantidade dos módulos máximos que serão ligados ao inversor, a saber: 33 módulos (ALVARENGA, 2012).

Para que os painéis possam ser ligados em série, a soma das tensões de circuito aberto dos módulos em série não pode ser maior que 90% da tensão de corrente contínua máxima do inversor. Como o inversor admite uma tensão máxima de 600V em corrente contínua, temos:

$$\text{Tensão} = 0,9 \times T_{\text{inv}}$$

$$\text{Tensão} = 0,9 \times 600$$

$$\text{Tensão} = 540 \text{ V}$$

O gerador FV da Kyocera tem tensão de circuito aberto de 33,2 V. Dividindo a tensão do inversor (540V) pela tensão de cada gerador FV (33,2), fica estabelecida a ligação máxima de 16 módulos em série. Um ponto importante no dimensionamento dos módulos por inversor é saber quantas séries (*strings*) o inversor permite. Portanto, se o inversor permite até 26 A de corrente

alternada na saída e cada módulo tem uma corrente de curto circuito de 8,58 A, ficam estabelecidos 2 *strings* por cada inversor SMA de potência máxima em corrente contínua de 6300 A.

A soma das tensões à potência nominal dos módulos em série em cada *string* deve ser inferior a 90% do limite superior da faixa de operação MPPT de tensão contínua do inversor e deve ser, no mínimo, 20% superior ao limite inferior desta faixa. Esse limite é devido às variações de temperaturas e insolação solar (SOLENERG, 2012). A faixa de operação do inversor se encontra entre 246V e 480V. Se a tensão de potência nominal em cada módulo é de 33,2V, temos:

- A soma das tensões não pode ser menor que 120% de 246V, ou seja, 295V. Então, dividindo essa diferença de potencial (ddp) pela tensão do gerador (26,6V), será permitido ligar, no mínimo, 11 módulos em cada *string*;
- A soma das tensões não pode ser maior que 90% de 480V, ou seja, 432V; então, é permitido ligar, no máximo, 16 módulos por série (*string*).

A faixa de operação (MPPT) do inversor é de: 295V a 432V. A partir desse resultado, podemos configurar o sistema com arranjos equilibrados que satisfaçam os parâmetros pré-estabelecidos. A conexão do SFVCR será feita com 3 inversores SMC (Sunny Mini Central) da SMA – 6000 A monofásicos, com 2 *strings*, sendo 15 módulos em cada *string*. Segundo Macêdo (2006), alguns fabricantes de inversores defendem a tese de que a utilização de várias combinações de gerador-inversor descentralizados (*string-configuration*) para conexão à rede elétrica é mais simples que combinar um único gerador de módulos fotovoltaicos conectados a um inversor central, associado a um grande

gerador FV, o qual exige mais cuidado no cabeamento CC e pode acarretar mais perdas.

12.5.1 Arranjo do Gerador

Para a geração do SFVCR do laboratório CEDETEC na UESB em Itapetinga, utilizaremos 3 inversores da SMA- SMC 6000 A, com 30 módulos da Kyocera em cada inversor, totalizando 90 módulos. A figura 44 ilustra o sistema FV conectado a rede trifásica em 380/220 V em corrente alternada.

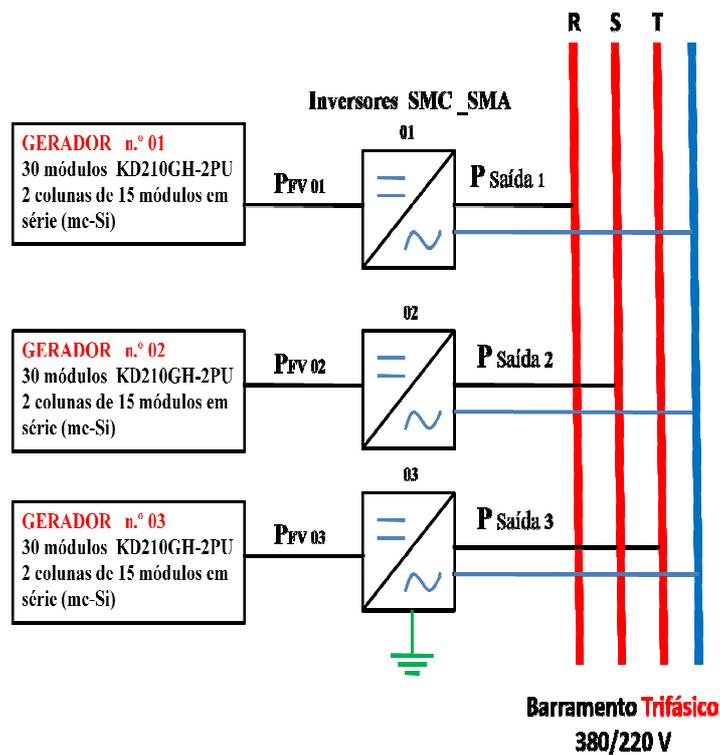


Figura 44–Sistema FV Laboratório CEDETEC- UESB
Fonte: MACÊDO, 2006

Os 30 módulos serão distribuídos em 2 *strings*, sendo 15 módulos por cada *string*. A **figura 45** ilustra o esquema dos módulos por inversor.

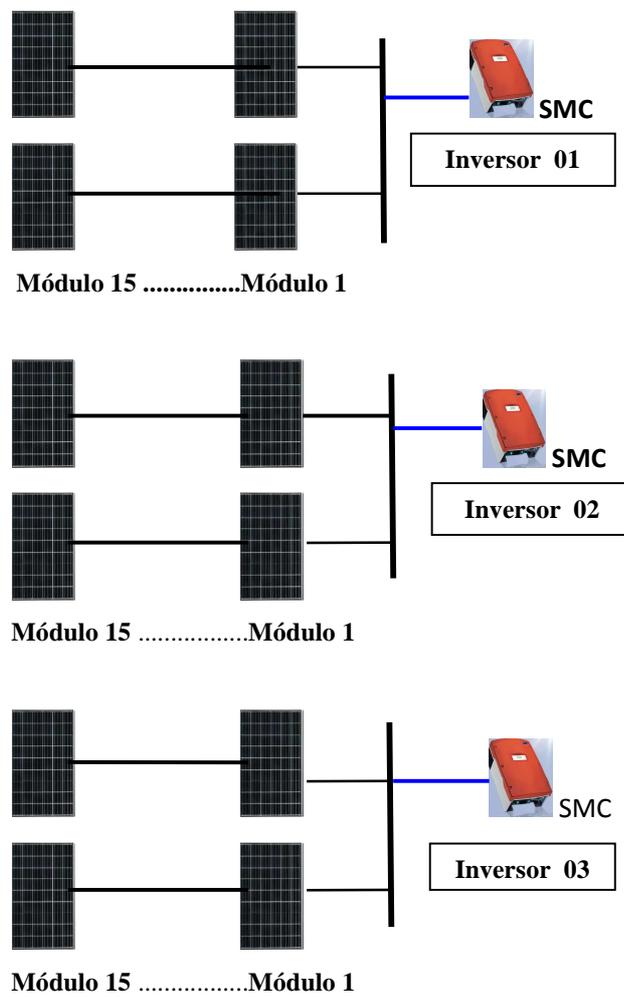


Figura 45 – Esquema dos módulos por inversor
Fonte: José Valderi C. Silva

12.6 Produção de energia

Segundo a Solenerg (2012), podemos utilizar para uma estimativa de produção a seguinte expressão cujos termos estão definidos a seguir:

Geração anual (MWh/ano) = Potência de cada módulo (Wp) x número de módulos x nível médio de radiação solar (h) x eficiência global x 365 dias x 10^{-6}

Geração anual (MWh): Estimativa da geração de energia elétrica injetada na rede;

Potência de cada módulo (Wp): Potência nominal do módulo selecionado em Wp;

Número de módulos: Quantidade de unidades de módulos fotovoltaicos;

Nível médio de radiação solar (h): Nível médio anual de radiação solar do local de instalação, plano inclinado igual à latitude, em horas de insolação máxima ou kWh/m²/dia;

Eficiência global (pu): Performance ratio – Fator que leva em conta as perdas nos módulos fotovoltaicos, no inversor, na instalação etc. e que poderá ser otimizado e calculado pelo *software*. Valor típico: 0,7 a 0,8. Utilizamos para cálculos preliminares o valor de 0,8.

De acordo com o programa Sundata, o nível médio da radiação solar obtido no plano horizontal foi 4,76 kWh/m²/dia, sendo utilizadas as coordenadas da cidade mais próxima de Itapetinga: a cidade de Vitória da Conquista/BA. Aplicando a expressão, temos:

$$\text{Geração anual} = 210\text{Wp} \times 90 \times 4,74 \text{ h/dia} \times 0,8 \times 365 \times 10^{-6}$$

$$\text{Geração anual} = 26,16 \text{ MWh/ano} \text{ ou } 2,18 \text{ MWh/mês}$$

12.7 Avaliação Econômica e retorno do investimento

A estimativa de custo pode ser baseada no valor do investimento acrescido das taxas de juros, depreciação e manutenção.

De acordo com a Solenerg (2012), para um cálculo simplificado do custo do MWh gerado, usa-se a seguinte expressão:

Custo (R\$/MWh) = (valor do investimento x (taxa anual de juros + taxa de depreciação + taxa de manutenção)/100)/Geração anual.

Para o valor do investimento (MWh/ano), deve ser considerado o custo do projeto e instalação acrescentando um valor entre 20% a 25% dos custos dos módulos e dos inversores. A taxa anual de juros reais poderá ser considerada uma taxa real subsidiada de 3% ao ano e sem inflação. A taxa de depreciação será de acordo com a vida útil do gerador que está em torno de 30 anos, ou seja, uma taxa de 3,33% ao ano. Para a manutenção do sistema FV, vamos considerar uma taxa de 1% ao ano (SOLENERG, 2012).

No valor do investimento está incluso o preço dos módulos, dos inversores, mais o custo da instalação e projetos. O valor de um módulo solar multicristalino foi estimado em R\$1.000,00 sendo que já existe no mercado módulos chineses de maior potência e menor preço, pois a tecnologia avança cada vez mais para viabilizar os SFVCR. Conforme pré-dimensionamentos do projeto, serão instalados 90 módulos fotovoltaicos a um custo total de R\$90.000,00. Os custos dos 3 inversores ficam em torno de R\$42.000,00.

Portanto, o custo total para o investimento do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, acrescido de mais 20% da instalação é de R\$158.400,00.

Para a avaliação da viabilidade econômica, vamos considerar o custo do MWh, tarifa horo sazonal verde³, subgrupo A4, poder público, concessionária Coelba. Abaixo, custos das tarifas na Coelba em vigor:

Custo tarifa na HP:1,77182 R\$/KWh
 Custo tarifa na HFP.....0,16682 R\$/KWh
 Custo demanda preço único.....20,93 R\$/kWh

O objetivo é calcular o custo do MWh gerado pelo sistema FV e compará-lo com o valor do MWh da concessionária Coelba.

Calculando o custo do MWh do sistema FV temos:

$$\text{Custo (R\$/MWh)} = \text{R\$}158.400,00 \times (3\% + 3,33\% + 1\%) / 100 / 26,16$$

$$\text{Custo (R\$/MWh)} = \text{R\$ } 11.610,72 / 26,16 \text{ MWh}$$

$$\text{Custo} = 443,83 \text{ R\$/MWh ou } 0,443 \text{ R\$/kWh}$$

Segundo LISITA JUNIOR (2005), o período de retorno simples (PRS) mede o prazo necessário para recuperar o investimento realizado, resultado da relação entre o investimento inicial em eficiência energética e as economias de energia obtidas a cada ano, sendo dado por:

$$\text{PRS} = \text{Investimento R\$} / \text{Economia por ano R\$}$$

Conforme os custos da modalidade tarifária horo sazonal verde da concessionária Coelba em vigor, teremos uma economia de:

³ Conforme normas da ANEEL e Coelba

$$\text{Na HFP} = 26,16\text{MWh} \times 166,82 \text{ R\$/MWh} = \text{R\$}4.364,01$$

Considerando os custos das tarifas praticadas pela concessionária Coelba, haverá uma economia estimada de **R\$ 4.364,01**.

O período de retorno simples é previsto para **36 anos e 3 meses**, ou seja, não há viabilidade, pois o tempo previsto ultrapassa a vida útil dos equipamentos nessa modalidade tarifária horo sazonal verde.

Este período foi calculado levando-se em conta que a geração solar economiza apenas a energia no horário fora de ponta e não interfere na demanda contratada. Este período de retorno pode ser substancialmente menor na medida em que os preços dos módulos fotovoltaicos e dos inversores forem sendo reduzidos no mercado brasileiro e também no caso de consumidores que não estejam enquadrados na tarifa horo sazonal de média tensão e, sim, nas tarifas bem mais elevadas da baixa tensão.

13 CONCLUSÃO

Com a aprovação da Resolução Normativa n.º 482 (ANEEL, 2012), sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica tendem a se tornar cada vez mais atrativos no Brasil. Com o crescente aumento da preocupação em relação aos aspectos ambientais e maior eficiência energética, os sistemas fotovoltaicos integrados ao edifício e interligados à rede elétrica estão se tornando uma alternativa promissora para o futuro das edificações.

O uso dos SFVCR surge como opção tecnológica para a geração distribuída, por ser modular, e gerar energia no local do consumo, eliminando assim a necessidade das extensas linhas de transmissão. Para a edificação em questão, a aplicação de uma instalação FV do porte de 90 módulos e 3 inversores demonstrou um prazo muito longo para o retorno do investimento, quando aplicada à tarifa horo sazonal verde. A partir do momento em que o governo do Brasil sinalizar com incentivos, o que já ocorre na Alemanha, teremos a viabilidade da geração fotovoltaica distribuída em médio prazo.

Em 24 de janeiro de 2013, a ANEEL aprovou a redução das tarifas de energia elétrica anunciada pela Presidenta Dilma Rousseff. No caso da Concessionária Coelba, é previsto um desconto de 22,56% para consumidores atendidos em Alta Tensão. Com essa redução ampliamos mais ainda o tempo de retorno do investimento.

Para os sistemas interligados à rede elétrica, pode haver vários tipos de medição e tarifação de energia provenientes da geração fotovoltaica, um motivo para estudos e pesquisas futuras, pois trabalhos como este têm em comum a preocupação com o meio ambiente e a sustentabilidade do planeta Terra.

A conclusão a que se chega é que a geração fotovoltaica distribuída ainda não é competitiva de forma ampla e geral, mas pode ser competitiva para

instalações de baixa tensão com preço de energia mais caro, competitividade esta que se torna cada vez maior com a redução dos preços dos módulos e dos inversores.

REFERÊNCIAS

ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira.** Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br>>. Acesso em: 06 jan. 2013.

ALTA TENSÃO. **Análise da Qualidade de Energia Elétrica:** Relatório Técnico. Relatório Técnico. Impresso. Feira de Santana/BA. 2012.

ALVARENGA, C. A. **Energia Solar.** Textos Acadêmicos. Curso de Pós-Graduação Lato Sensu. Universidade Federal de Lavras, MG. Editora UFLA/FAEPE. Lavras, 2011.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 05 nov. 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **ANEEL aprova regras para facilitar a geração de energia fotovoltaica nas unidades consumidoras .** Brasília, 2012 .Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 08 nov. 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Brasília:** ANEEL, 2011. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa n.º 482, de 17 de abril 2012.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em 09 dez 2012.

BLUESOL. **Vantagens Econômicas da Energia Fotovoltaica.** Disponível em: <<http://www.blue-sol.com>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

BENEDITO, R. S. **Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os Aspectos Técnicos, Econômico e Regulatório.** Dissertação Mestrado, USP. São Paulo, 2009.

CÂMARA, C. F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Monografia. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br>>. Acesso em: 20 set. 2012.

CERQUEIRA, N. A.; SOUZA, V. B. de. **Energia Fotovoltaica como uma solução para a crise energética**. VIII Congresso Nacional Excelência em Gestão. 8 e 9 junho, 2012. Disponível em: <<http://www.excelenciaemgestao.org>>. Acesso em: 27 dez. 2012.

CONCEIÇÃO, L. A. **Proposta de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede para Eficientização do Uso da Energia Elétrica no CT/UFRJ**. Rio de Janeiro, 2011. Monografia. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br>>. Acesso em: 02 out. 2012.

COSTA, S. P. **Eficiência Energética em Edificações e o Uso de Fontes Alternativas de Energia em Projetos Residenciais Urbanos**. Lavras, 2007. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br>>. Acesso em : 03 out. 2012.

COSTA, H. S.; DINIZ, S. **Geração de eletricidade solar nos telhados das edificações urbanas**. Artigo. 10 jul. 2009. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br>>. Acesso em: 30 dez 2012.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão**. Disponível em: <<http://www.cgge.org.br>>. Acesso em: 22 set. 2012.

COELBA. Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia. **Tarifas de Energia**. Disponível em <<http://www.coelba.com.br>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

CRESESB. **Energia Solar Princípios e Aplicações**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 18 dez. 2012.

ELETOBRÁS/PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Eficiência Energética nas Edificações**. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<http://www.eletobras.com.br/procel>>. Acesso em: 15 dez. 2012.

ELETOBRÁS/PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Comissão Interna de Conservação de Energia**. Rio de Janeiro, 2004.

Disponível em: <<http://www.eletrabras.com.br/procel>>. Acesso em: 16 dez. 2012.

EPE: Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio Janeiro, 2012. Disponível em:<<http://www.solenerg.com.br>>. Acesso em: 26 set. 2012.

GALDINO, M. A. **A Experiência de Dois Anos de Operação do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede do CEPEL**. XIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2005. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes>>. Acesso em: 05 nov. 2012.

GREENPRO: **Manual sobre tecnologias, projeto e instalação**. Energia Solar Térmica e Energia Fotovoltaica. Disponível em: <<http://www.greenpro.de>>. Acesso em 06 nov. 2012.

INEE: Instituto Nacional de Eficiência Energética. Geração Distribuída. Disponível em: <<http://www.inee.org.br>>. Acesso em: 12 nov. 2012.

KYOCERA. **Cotação de preços dos módulos e inversores**. Disponível em: <<http://www.kyocerasolar.com.br>>. Acesso em: 17 jan. 2013.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: consumo e geração de energia**. Vol.2. UFSC, LaBEE. Florianópolis, 2010. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br>>. Acesso em: 18 nov. 2012

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo, 1997. <<http://www.labee.ufsc.br>>. Acesso em: 18 nov. 2012

LISITA JUNIOR, O. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: Estudo de caso – 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP**. Monografia. São Paulo, 2005.

MACÊDO, W. N.; ZILLES, R. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. I CBENS - Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza, 2007. Disponível em <http://www.ufpa.br/gedae/CBENS2007_04.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2013.

MACÊDO, W. N. **Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. Tese (Doutorado em Energia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. Disponível em: <www.teses.usp.br>. Acesso em: 08 jan. 2013.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RUTHER, R. **Pré— Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA_SC – ENTAC**, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: 16 out. 2012

MMA: Ministério do Meio Ambiente. **Energia Solar**. Disponível Em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 21 nov. 2012.

MPX. MPX Energia S.A. **Usina Fotovoltaica Central na América Latina**. Disponível em: <<http://www.mpx.com.br>> Acesso em: 29 nov. 2012.

OLIVEIRA, A. R.; CAMPOS, H. M.; AMARANTE, J. G. **Estudo da Eficiência Energética do Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Curitiba**. Monografia. Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://www.utfpr.com.br>>. Acesso em: 18 dez. 2012.

OLIVEIRA, S. H. F. **Geração Distribuída de Eletricidade: inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Energia). São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://lsf.iee.usp.br/lsf/pdf/doutorado>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

_____. Programa **SUNDATA, informações sobre os dados do nível de radiação solar**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundatn.htm>. Acesso em: 07 jan. 2013

RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração de energia fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública**. 1. ed., Florianópolis: Editora UFCS/LABSOLAR, 2004. 104 p.

SANTOS, A. H. M. et al. **Conservação de Energia: Eficiência de Equipamentos e Instalações**. Eletrobrás/Procel. 3. ed. Itajubá, MG: Editora FUPAI, 2006. 597 p.

SOLENERG. **Cálculos do Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica**. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br>>. Acesso em 08 jan. 2013.

SOUZA, M. N. **A Crise Energética e a Radiação Solar**. Disponível em:
<<http://www.mauriciosnovaes.blogspot.com/2008>>. Acesso em: 28 out. 2012.

SMA. **Módulos Fotovoltaicos Kyocera e Inversor**. Disponível em:
<<http://www.sma.de>>. Acesso em 13 jan. 2013.

TAVARES, P. O. **Aplicação do Conceito de Sustentabilidade em Construções Residenciais**. Monografia Disponível em:
<<http://www.especializacaocivil.demc.ufmg.br>>. Acesso em: 11 out. 2012.

TREVISAN, A. S. **Efeitos da Geração Distribuída em Sistemas de Distribuição de Baixa Tensão**. Trabalho de Conclusão de curso. Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011. Disponível em:
<<http://www.eletrica.ufpr.br>>. Acesso em: 27 out. 2012

URBANETZ JUNIOR, J.; CASAGRANDE JUNIOR, E. F. **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. VIII CBPE: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 12 a 15 janeiro 2012. Disponível em:<<http://www.utfpr.edu.br>>. Acesso em 21 nov. 2012

VIANA, T. de S. et al. **Integração de Sistemas Fotovoltaicos à Arquitetura**. IX ENCAC: Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007. Disponível em:
<<http://www.lepten.ufsc.br>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

VILLALVA, M. G. **Residências produzem sua própria eletricidade com a energia do sol**. Artigo. UNESP, campus de Sorocaba. Disponível em:<<http://www.cruzeirodosul.inf.br>>. Acesso em: 02 out. 2012.

XAVIER, G. A. **Simulação de Micro-Redes de Energia com Geração Fotovoltaica e Armazenamento de Energia**. Dissertação. Viçosa, 2011. Disponível em:
<<http://www.tede.ufv.br>>. Acesso em: 30 nov. 2012

ZILLES, R. et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Editora Oficina de Textos. São Paulo, 2012. 208 p.

Outras referências

<http://www.altatensão.com.br>. <Acesso em: 31 jan. 2013>.

<http://www.blue-sol.com>. Energia Solar. <Acesso em: 08 já. 2013>.

<http://www.comunitexto.com.br>. Alemanha bate recorde em energia solar.
<Acesso em : 17 jan. 2013>.

<Http://www.google.com.br/imagem>. < Acesso em: 31 jan. 2013>.

<http://www.ims.ind.br>. Medidor PowerNet P 600. <Acesso em: 31 jan. 2013>

<http://www.sma.de>. <Acesso em: 03 jan. 2012>.

<http://www.uesb.com.br>. <Acesso em: 10 jan. 2012>.

<http://universidadeemmovimento.blogspot.com.br/2012/04/uesb>. <Acesso em:
31 jan. 2013>