

# **PROPOSTA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE NO ESTÁDIO DO MARACANÃ**

**Leonardo Dantas dos Santos**

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSARIOS PARA OBTENÇÃO DO GRÁU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovado por:

---

Jorge Luiz do Nascimento, Dr.Eng.  
(Orientador)

---

Walter Issamu Suemitsu, Dr.Ing.

---

Fábio Domingues de Jesus, D.Sc.

Rio de Janeiro  
Setembro de 2008

# LEONARDO DANTAS DOS SANTOS

## AGRADECIMENTOS

Durante todos estes anos muitas dificuldades foram vencidas na UFRJ. Realmente, a relativa facilidade em entrar para a Engenharia Elétrica desta universidade escondia um enorme desafio que viria pela frente. Durante muitas vezes, via amigos falarem em desistir, de como era difícil etc. Porém, apesar de tudo, seguimos em frente, e hoje me vejo, e vejo meus amigos, formandos da maior universidade do Brasil. As dificuldades impostas foram superadas, e temos a certeza de que todas elas nos fizeram mais bem preparados para o mercado de trabalho. Agradeço a todos os professores do Departamento de Engenharia Elétrica da UFRJ, e aos demais funcionários, pela certeza de que nos foi fornecido o que havia de melhor.

Aos meus amigos de universidade, agradeço pelos grandes momentos em que vivemos na UFRJ, momentos sérios, ou momentos de lazer. Vamos em frente!

Sobre este trabalho, agradeço aos professores Jorge Luiz do Nascimento, e Walter Issamu Suemitsu, que, mesmo com pouco tempo disponível, permitiram a realização deste projeto. Agradeço aos engenheiros Anísio da Silva Pamplona Côrte Real, e Fábio Domingues de Jesus, pela ajuda que me deram. Meu muito obrigado à Joana Cordiviola Navarro, pelos importantes contatos que me forneceu. Aos amigos da Chemtech, pela compreensão. E a todos que me ajudaram, e que, por um motivo ou outro, não tiveram seus nomes aqui citados.

## **AGRADECIMENTOS ESPECIAIS**

À minha mãe Sônia Regina, meu pai Antônio Carlos, minha irmã Fabiana Dantas, minha avó Yolanda, e a toda a minha família pelo incentivo e apoio.

## RESUMO

Vivemos num mundo onde, quer queiramos ou não, está diretamente voltado para o consumismo. Este consumismo vem, então, acompanhado por uma enorme demanda de energia para satisfazer suas necessidades, seja, por exemplo, na fabricação de bens de consumo, no transporte de pessoas e mercadorias, ou em serviços prestados para produtividade ou lazer.

Ao mesmo tempo, o mundo percebe, e cada vez mais, a importância de se preservar o meio ambiente. Para a preservação do nosso planeta, é chegada a hora de enfim pensarmos em ações e medidas que nos proporcionem um desenvolvimento seguro, mas que não nos traga prejuízos em relação à natureza. Este desenvolvimento é o já muitas vezes comentado *Desenvolvimento Sustentável*.

Sem dúvidas, a Energia Fotovoltaica é uma das melhores opções quando falamos de *energia limpa*. Porém, algumas dificuldades com este tipo de geração de energia elétrica ainda não permitem que esta tecnologia seja disseminada em grande volume. Ao que parece, esta disseminação é apenas uma questão de tempo.

Este trabalho vem propor um projeto de geração fotovoltaica para o Estádio Jornalista Mário Filho (Maracanã). Este sistema, nomeado aqui de *Sistema Fotovoltaico do Maracanã* (ou ainda *SFV-Maracanã*, daqui para frente assim chamada a instalação proposta), utilizaria a área disponível na cobertura do estádio para alocação de painéis fotovoltaicos que gerariam energia para o Complexo Esportivo do Maracanã. O estádio, então, “trocaria” energia com a concessionária local, sendo, dessa forma, um *sistema fotovoltaico conectado à rede*.

Neste texto, será explicado o que são e como funcionam os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, citando suas vantagens e desvantagens, as dificuldades de implementação, e alguns exemplos de sistemas deste tipo pelo mundo.

Ainda, serão apresentados os principais componentes que um sistema fotovoltaico conectado à rede possui, indicando suas principais características, e focando no que for indispensável para estudos de viabilidade e aplicabilidade do projeto.

Mais adiante, o projeto será apresentado com maiores detalhes no que se refere às características de montagem e sua formação. Neste ponto poderá ser calculada a capacidade de geração de energia do SFV-Maracanã, posicionando-o entre os demais sistemas existentes pelo mundo.

Em seguida, será analisada a viabilidade de um projeto deste tipo, tanto pelo lado técnico, mostrando os ganhos adquiridos por cada agente envolvido, quanto pelo lado econômico, fazendo um estudo para o presente e o futuro.

Por último, uma conclusão do exposto, com sugestão para trabalhos futuros, seguindo esta mesma linha, diretamente sobre o projeto do sistema do Maracanã.

# Índice

<b>CAPÍTULO 1 - Introdução</b>	<b>10</b>
1.1 Aumento Mundial da Demanda de Energia	10
1.2 Geração Global de Energia Elétrica	12
1.3 Geração de Energia Elétrica no Brasil	14
1.4 Potencial de Energia Solar no Brasil e seu Aproveitamento	17
<b>CAPÍTULO 2 - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede</b>	<b>25</b>
2.1 Definição	25
2.2 Vantagens	26
2.2.1 Vantagens relacionadas ao sistema	26
2.2.2 Vantagens relacionadas à rede	29
2.3 Desvantagens	34
2.4 Formas de Medição da Energia	35
2.4.1 Medição Única do Balanço de Energia	35
2.4.2 Medição Dupla	36
2.4.3 Medições Simultâneas	36
2.5 Geração Distribuída	37
2.6 Experiência mundial com sistemas fotovoltaicos conectados à rede	42
2.6.1 Sistemas de Grande Porte	43
2.6.2 Sistemas implementados em Edificações	43
2.6.3 Sistemas implementados em Estádios	45
<b>CAPÍTULO 3 - Principais Componentes do SFV-Maracanã</b>	<b>48</b>
3.1 Módulos Fotovoltaicos	48
3.2 Inversores	50
3.3 Demais componentes	52
<b>CAPÍTULO 4 - Formação do SFV-Maracanã e Capacidade</b>	<b>54</b>
4.1 Disposição dos Painéis Fotovoltaicos	54

4.1.1	Características da cobertura do Maracanã	54
4.1.2	Alocação dos Painéis sobre a cobertura	56
<b>4.2</b>	<b>Área de Módulos e Quantidade de Módulos Instalados (Capacidade)</b>	<b>58</b>
4.2.1	Premissas adotadas	58
4.2.2	Área de Módulos	59
4.2.3	Quantidade de Módulos Instalados	59
4.2.4	Capacidade do SFV-Maracanã (em Wp)	60
<b>4.3</b>	<b>Quantificação da Energia gerada pelo SFV-Maracanã</b>	<b>61</b>
4.3.1	Gerações Mensais e Anual	61
4.3.2	Representatividade da geração no consumo do Maracanã	68
<b>CAPÍTULO 5 - Estudos de Viabilidade do Projeto</b>		<b>70</b>
<b>5.1</b>	<b>Influência do SFV-Maracanã na Rede de Distribuição</b>	<b>70</b>
5.1.1	Alimentação do Maracanã	71
5.1.2	Fluxos de Potência quando da sobra de geração pelo SFV-Maracanã	72
5.1.3	Redução na Curva de Carga	76
<b>5.2</b>	<b>Custo de Implantação do SFV-Maracanã – Primeira Aproximação</b>	<b>84</b>
<b>5.3</b>	<b>Viabilidade Econômica do SFV-Maracanã</b>	<b>87</b>
<b>CAPÍTULO 6 - Conclusão</b>		<b>93</b>
<b>Bibliografia</b>		<b>96</b>

## Índice de Figuras

FIGURA 1 – EVOLUÇÃO DA DEMANDA MUNDIAL DE ENERGIA.....	12
FIGURA 2 – GERAÇÃO MUNDIAL DE ELETRICIDADE POR COMBUSTÍVEL.....	14
FIGURA 3 – PARTICIPAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS NA GERAÇÃO NO BRASIL E AMÉRICAS DO SUL E CENTRAL .....	16
FIGURA 4 – MÉDIA ANUAL DE RADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO COM ANGULAÇÃO DA LATITUDE .....	20
FIGURA 5 – MÉDIAS SAZONAIS DE RADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO COM ANGULAÇÃO DA LATITUDE .....	21
FIGURA 6 – POTENCIAL DIÁRIO DE ENERGIA (MÉDIA ANUAL) PARA O PERÍODO DE 10 ANOS DO ESTUDO .....	22
FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR NUMA BASE HORÁRIA.....	23
FIGURA 8 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE.....	25
FIGURA 9 – CURVAS DE DEMANDA, GERAÇÃO SOLAR E DEMANDA MENOS GERAÇÃO NO SETOR JURERÊ (20% PEN) ..	33
FIGURA 10 – CURVAS DE DEMANDA, GERAÇÃO SOLAR E DEMANDA MENOS GERAÇÃO NO CENTRO (20% PEN) .....	33
FIGURA 11 – MEDIÇÃO ÚNICA DO BALANÇO DE ENERGIA .....	35
FIGURA 12 – MEDIÇÃO DUPLA.....	36
FIGURA 13 – MEDIÇÕES SIMULTÂNEAS.....	37
FIGURA 14 – MODELO ATUAL DE GESTÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO .....	39
FIGURA 15 – ALGUNS ESTÁDIOS NO MUNDO QUE JÁ POSSUEM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM SUAS COBERTURAS .....	47
FIGURA 16 – PLANTA DA COBERTURA DO ESTÁDIO DO MARACANÃ .....	55
FIGURA 17 – DETALHE DA COBERTURA DO MARACANÃ, MOSTRANDO SEUS VÃOS E RESPECTIVAS ÁREAS.....	56
FIGURA 18 – CORTE TRANSVERSAL PARCIAL DO ESTÁDIO DO MARACANÃ, COM DISPOSIÇÃO DO MÓDULOS.....	57
FIGURA 19 – VISTA SUPERIOR MOSTRANDO AS FILEIRAS DE MÓDULOS.....	57
FIGURA 20 – MOVIMENTO APARENTE DO SOL NO CÉU NO INVERNO, REDUZINDO O APROVEITAMENTO.....	62
FIGURA 21 – CURVAS DE CARGA TÍPICAS DO MARACANÃ, PARA DIAS DE EVENTO E NORMAIS.....	69
FIGURA 22 – SAÍDA DO CIRCUITO LS2PJ DA SE PRINCIPAL .....	72
FIGURA 23 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO FLUXO DE POTÊNCIA ENTRE SE PRINCIPAL E SFV-MARACANÃ.....	73
FIGURA 24 – SAÍDA DO CIRCUITO LA2RB DA SE RESERVA.....	74
FIGURA 25 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO FLUXO DE POTÊNCIA ENTRE SE RESERVA E SFV-MARACANÃ .....	75
FIGURA 26 – GERAÇÃO DE POTÊNCIA DO SFV-MARACANÃ AO LONGO DO DIA, PARA CADA MÊS.....	77
FIGURA 27 – REGIÃO DA GRANDE TIJUCA COM SEUS BAIROS E SUB-BAIROS .....	79
FIGURA 28 – CURVAS DE CARGA TÍPICAS DA SE PRINCIPAL (TRAFO 40 MVA) DIA DE SEMANA E DOMINGO .....	80
FIGURA 29 – CURVAS DE CARGA TÍPICAS DA SE RESERVA (TRAFO 40 MVA) DIA DE SEMANA E DOMINGO.....	80
FIGURA 30 – REDUÇÃO NA CURVA DE CARGA DA SE PRINCIPAL (TRAFO 40 MVA) PARA FEVEREIRO.....	82
FIGURA 31 – REDUÇÃO NA CURVA DE CARGA DA SE PRINCIPAL (TRAFO 40 MVA) PARA JUNHO .....	82
FIGURA 32 – REDUÇÃO NA CURVA DE CARGA DA SE RESERVA (TRAFO 40 MVA) PARA FEVEREIRO .....	83
FIGURA 33 – REDUÇÃO NA CURVA DE CARGA DA SE RESERVA (TRAFO 40 MVA) PARA JUNHO.....	83
FIGURA 34 – PORCENTAGEM DE CADA COMPONENTE NA INSTALAÇÃO DE UM SIST. FOTOVOLT. CONECTADO REDE....	85
FIGURA 35 – EVOLUÇÃO DO PREÇO DOS MÓDULOS E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM TRÊS PAÍSES SELECIONADOS ..	86
FIGURA 36 – CUSTO DO MWH GERADO PELO SFV-MARACANÃ COM TAXAS DE DESCONTO DE 6% E 12% A.A.....	90



## Índice de Tabelas

TABELA 1 – PRINCIPAIS EFEITOS À SAÚDE, DEVIDO A ALGUNS METAIS PRESENTES EM PILHAS E BATERIAS.....	28
TABELA 2 – CAPACIDADE INSTALADA EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM DIVERSOS PAÍSES, AO FINAL DE 2007 .....	45
TABELA 3 – VALORES DAS EFICIÊNCIAS DAS TECNOLOGIAS DE MÓDULOS, PARA CONDIÇÕES STC E NOCT .....	49
TABELA 4 – POTÊNCIA INSTALADA E CAPACIDADE DO LADO CA DO SFV-MARACANÃ, EM FUNÇÃO DA TECNOLOGIA ..	61
TABELA 5 – ENERGIA GERADA ANUALMENTE POR CADA VÃO, TOTAL DE CADA MÊS, TOTAL ANUAL. ....	65
TABELA 6 – GERAÇÃO DE POTÊNCIA DO SFV-MARACANÃ AO LONGO DO DIA, PARA CADA MÊS.....	78
TABELA 7 – VALORES DE REFERÊNCIA PARA INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, EM 2007 .....	84

# CAPÍTULO 1 - Introdução

Neste capítulo será apresentado o assunto principal do trabalho, tentando formalizar uma justificativa para investimentos como o do tipo proposto aqui, e fazendo uma breve apresentação de aproveitamentos da energia solar.

## **1.1 Aumento Mundial da Demanda de Energia**

No mundo inteiro, verifica-se uma situação de crescente demanda de energia, de forma a suprir, principalmente, o crescimento dos países chamados *em desenvolvimento*. Dentre estes países, citamos os das Américas do Sul e Central, Ásia, Eurásia, e África.

Quando queremos analisar características que envolvem comparações entre países, é inevitável fazer a distinção entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Para efeito de formação de blocos, institutos de pesquisa e governos costumam fazer comparações entre o grupo dos países da OECD<sup>1</sup> e os não membros da OECD (não-OECD).

---

<sup>1</sup> Organisation for Economic Co-operation and Development (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico). A OECD reúne os governos dos países comprometidos com a democracia e a livre economia de mercado. Fazem parte da OECD 30 países atualmente; são eles: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Coreia do Sul, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Eslovaca, República Tcheca, Suíça, Suécia e Turquia. Também possui participação a União Européia [Organisation for Economic Co-operation and Development, 2008].

De forma a solidificar a afirmação do primeiro parágrafo, podemos analisar o relatório *International Energy Outlook – 2007 (IEO2007)*, elaborado pelo Energy Information Administration (EIA)<sup>2</sup>.

Segundo o IEO2007, é projetado um aumento de 57% da energia comercializada em todo o planeta entre os anos de 2004 e 2030. Ainda segundo o relatório, o maior aumento de demanda se dará entre os países não membros da OECD.

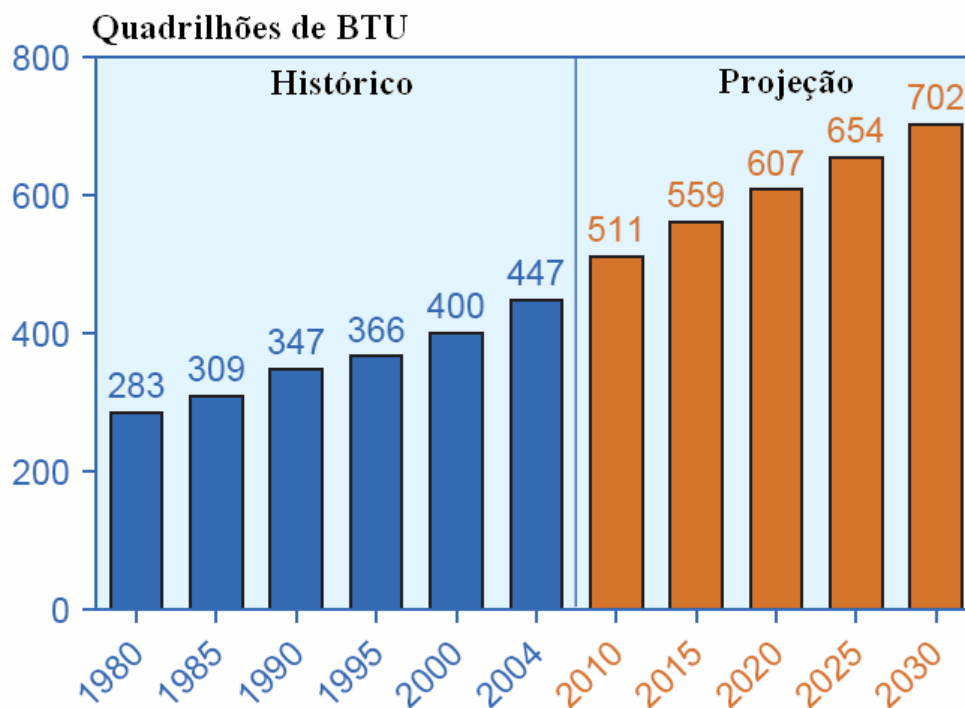
Os países membros da OECD já se encontram em posições de maturidade em muitos aspectos. Os países não-OECD têm um maior aumento projetado nas suas demandas de energia, isso porque estes países têm maiores taxas de crescimento econômico e populacional projetadas, devido até mesmo ao atraso em seu desenvolvimento, em relação aos países da OECD.

Pelo IEO2007, os países não-OECD têm uma taxa de crescimento da demanda energética projetada de 2,6% ao ano, de 2004 a 2030. Para este mesmo período, a taxa de crescimento da demanda dos países membros da OECD é de apenas 0,8% ao ano. Uma projeção da evolução da demanda entre 1980 e 2030 pode ser vista na Figura 1.

Projeções do IEO2007 mostram também que o consumo dos países não-OECD deverá ultrapassar o dos países da OECD por volta de 2010, e que em 2030 a demanda dos países não-OECD será superior em 35%. A maior parte desse crescimento do consumo será devido aos países da Ásia como China e Índia, porém, uma fatia considerável desta energia será também devido ao crescimento de regiões como as Américas do Sul e Oriente Médio.

---

<sup>2</sup> Criado pelo Congresso Americano em 1977, é um organismo estatístico independente dentro do Departamento de Energia dos Estados Unidos. Suas publicações possuem boa credibilidade perante a comunidade internacional.



**Figura 1-** Evolução da Demanda Mundial de Energia. Fonte: International Energy Outlook, 2007.

De fato, todos os continentes do planeta sofrerão um grande aumento em sua demanda de energia durante as próximas duas décadas, e daí a necessidade de nos prepararmos da melhor forma para este acontecimento.

## **1.2 Geração Global de Energia Elétrica**

Segundo as projeções do IEO2007, a geração global de energia elétrica irá praticamente dobrar entre os períodos de 2004 e 2030, sendo que, em 2030, a geração dos países não-OECD deverá ser 30% maior do que a dos países membros da OECD.

A geração mundial de eletricidade terá uma taxa de aumento de 2,4% por ano, passando de 16,424 trilhões de kWh em 2004 para 30,364 trilhões em 2030, sendo que a taxa de

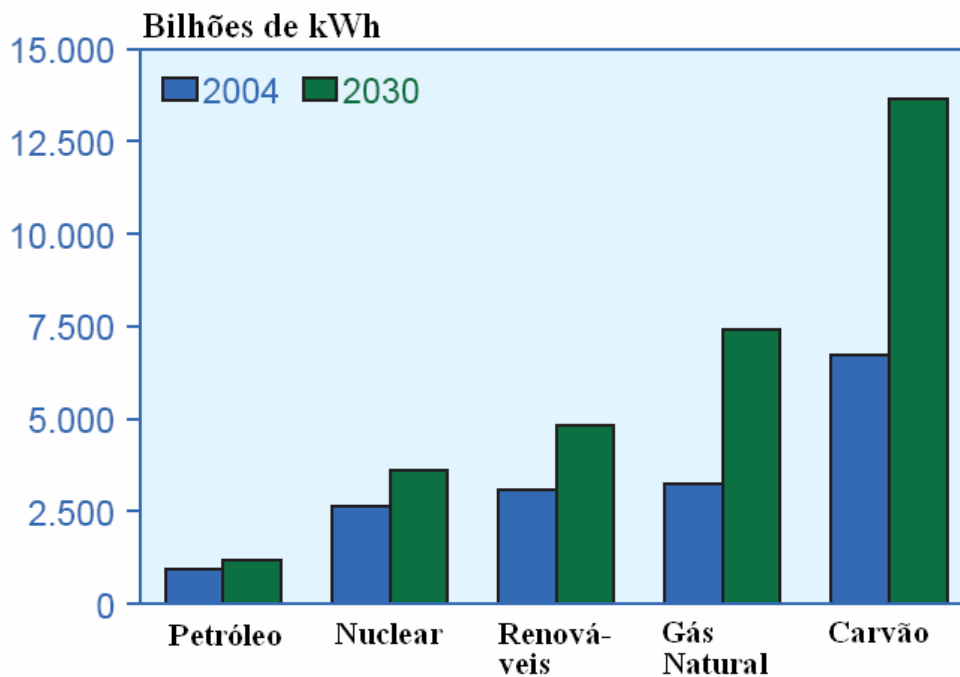
aumento da geração dos países não-OECD será quase o triplo dos países membros da OECD.

A maior parte deste aumento da energia estará voltado para edificações residenciais e comerciais, sendo este último ainda maior, refletindo um maior fortalecimento do setor de serviços [Canal Energia, 2008].

Com relação aos tipos de combustíveis usados para suprir este aumento de geração de energia elétrica, o IEO2007 aponta que o carvão deverá ter ainda a maior participação no cenário da geração elétrica. Porém, existe uma crescente pressão da comunidade a favor do meio ambiente, sendo contra formas de geração que emitam consideráveis níveis de poluentes ao planeta.

Sendo assim, o gás natural surge como uma outra força neste aumento da geração de energia elétrica, por ter uma combustão mais “limpa”, com baixa presença de contaminantes e sem emissão de partículas [CTGÁS, 2008]. A Figura 2 mostra a projeção do aumento global de geração de eletricidade por combustível.

De posse dessas informações, vemos que as energias renováveis ainda não deverão ocupar o espaço que lhes deveria ser assegurado no cenário da geração de energia elétrica. O carvão aparece em grande quantidade na Figura 2 devido principalmente a países como Estados Unidos, China e Índia, nações ricas em reservas de carvão, e grandes poluidoras do planeta.



**Figura 2-** Geração mundial de eletricidade por combustível. Fonte: International Energy Outlook, 2007.

### **1.3 Geração de Energia Elétrica no Brasil**

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial de geração de energia elétrica, principalmente quando nos referimos à geração por meio de fontes renováveis (principalmente hidrelétricas). O país é realmente referência neste assunto, como também é em tecnologias desenvolvidas e utilizadas em Transmissão de Energia.

Atualmente, o Brasil possui em operação 1728 unidades geradoras de energia elétrica, que geram 101.500.426 kW de potência. Nos próximos anos, 41.224.171 kW deverão ser adicionados na planta geradora, em mais 137 unidades em construção e mais 471 outorgadas [ANEEL, 2008].

O sistema de geração de energia elétrica brasileiro é composto basicamente de usinas termelétricas e usinas hidrelétricas, representando 21,57% e 73,96%, respectivamente<sup>3</sup>. Como vemos, o Brasil é um país de geração predominantemente hídrica, e, segundo estudos do IEO2007, continuará sendo, pois será ainda de longe a fonte renovável mais usada. Uma projeção da porcentagem de participação de cada fonte de energia é mostrada na Figura 3, para o Brasil e restante da América do Sul e Central, para 2030.

A energia gerada por hidrelétricas é uma energia renovável, mesmo que, em certas ocasiões, os seus reservatórios passem por períodos de níveis baixos de água, o que pode ser provocado por períodos longos de estiagem. Mesmo assim, a geração hídrica é posta em estudo como sendo uma fonte renovável, assim como a energia solar e a eólica.

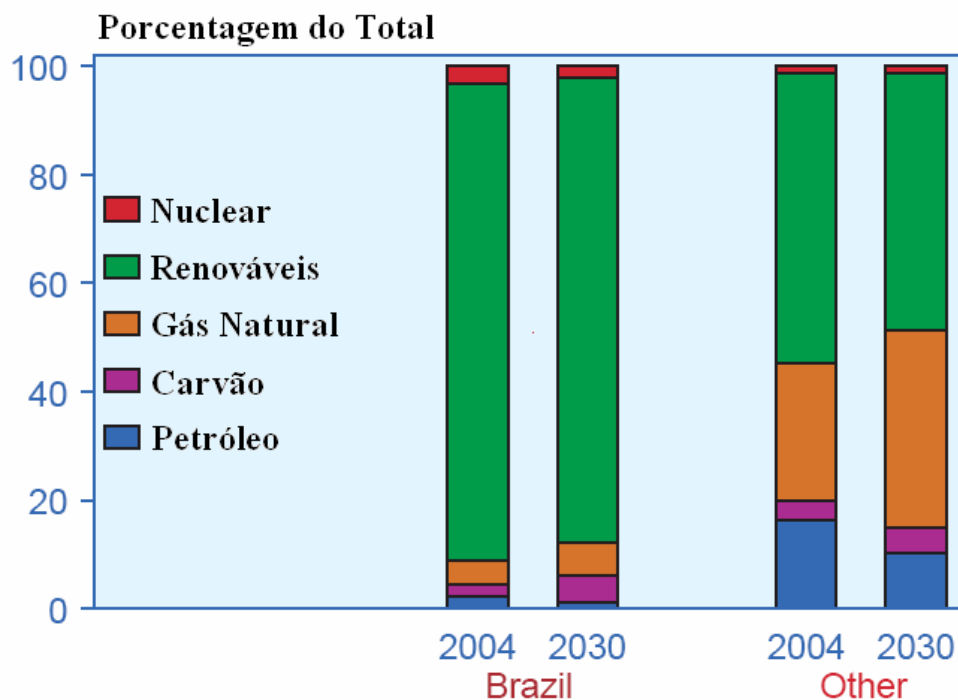
O Brasil tem um dos maiores potenciais de energias renováveis do mundo, sendo essa uma grande vantagem sob diversos pontos de vista, dentre eles o ambiental. Temos enormes potenciais hídricos, de energia solar e eólica.

Mesmo a energia hidrelétrica sendo considerada uma fonte renovável, muitos estudiosos consideram que esta forma de geração de energia elétrica também proporciona danos consideráveis ao meio ambiente, como o desequilíbrio ecológico causado pelo alagamento de áreas bastante extensas, e ainda mudanças de ordem climática.

Por outro lado, vemos a energia solar como uma forma das mais ambientalmente corretas de geração de energia. Um dos problemas que ainda encontra a energia solar (mais acentuado na fotovoltaica) é o seu alto custo de geração, quando comparado com as formas convencionais de geração de eletricidade.

---

<sup>3</sup> Excluem-se destas porcentagens as Centrais Geradoras Hidrelétricas e as Pequenas Centrais Hidrelétricas.



**Figura 3-** Participação dos combustíveis na geração de energia elétrica do Brasil e demais países das Américas do Sul e Central. Fonte: International Energy Outlook, 2007.

Este trabalho trata especificamente da energia elétrica gerada por células fotovoltaicas, chamada daqui para frente de energia fotovoltaica. Consideraremos as opções disponíveis neste modelo de geração elétrica comparando-o sempre com as formas convencionais de geração de energia. Não se tem intenção de tentar mostrar que a energia fotovoltaica será, num futuro longínquo ou próximo, uma energia predominante de qualquer país, embora fosse esta uma ótima opção, mas sim caracterizar a energia fotovoltaica como uma opção de energia renovável que venha a complementar as demais formas de energia em uso, tentando introduzi-la ao máximo numa matriz energética, de forma a reduzir os danos ambientais gerados por outras formas de geração, e ainda promover uma diversificação das formas de geração.

O SFV-Maracanã é um projeto que tem como objetivo principal servir como exemplo para que outras edificações consumidoras de energia possam seguir o mesmo caminho, e então criar um amadurecimento da tecnologia fotovoltaica no Brasil, tornando seus custos cada vez mais competitivos.



Como vimos, o mundo precisará de uma quantidade quase duas vezes maior de energia elétrica em pouco mais de duas décadas, e assim sendo, a energia fotovoltaica poderia contribuir de forma ambientalmente correta para este aumento da demanda global. O Brasil deverá então estar amadurecido em se tratando de energias renováveis, e não só pelas hídricas, mas também pelas solares e eólicas, dentre outras.

Um projeto deste tipo, implantado em um estádio como o Maracanã, com certeza traria a tona a discussão sobre o tema no dia-a-dia das pessoas envolvidas ou não com o assunto, aproveitando-se assim da visibilidade que o estádio tem no Brasil e também fora dele.

#### ***1.4 Potencial de Energia Solar no Brasil e seu Aproveitamento***

Quando se fala em energia solar, devemos ter em mente, que esta é, para nós humanos, uma fonte inesgotável de energia. Na nossa escala de tempo, a energia solar pode ser considerada infinita. Além do mais, a energia proveniente do sol é, na maioria das vezes, a fonte primária de outras energias, como, por exemplo, quando fornece energia para a evaporação de água para formação de nuvens de chuva, e aquecimento de camadas de ar formando os ventos, que impulsionarão tais nuvens até os reservatórios das hidrelétricas. Poderíamos citar muitos outros exemplos de fontes de energia derivadas do sol.

Anualmente, a Terra recebe do sol  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia. Esta quantia é cerca de 10.000 vezes o consumo dos habitantes do planeta em 1 ano [Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 2004]. Percebemos assim, que um futuro próspero de geração elétrica por energia limpa está a nos esperar. É inquestionável que a energia solar, quando bem aproveitada, é uma das melhores, senão a melhor fonte de energia renovável, seja por meio de aproveitamento de sua luz, foco deste trabalho, ou seja por meio do seu calor. A questão então passa a ser como disponibilizar uma geração solar que seja atrativa do ponto de vista econômico e financeiro, pois parece ser unanimidade

entre especialistas no assunto que este é ainda o maior obstáculo ao desenvolvimento da geração fotovoltaica.

O Brasil é um país privilegiado quando se fala em disponibilidade de energia solar, estando localizado, em sua maior parte, na região intertropical. Por estar próximo da linha do Equador, recebe uma grande quantidade de radiação solar, principalmente no Nordeste.

A energia solar tem se mostrado muito eficiente quando se trata de alimentar eletricamente regiões de difícil acesso de linhas de transmissão, ou quando o custo de implantação destes sistemas de transmissão não é compensado pelo baixo retorno financeiro devido a comunidades de baixa renda ou pouco habitadas. Deste modo, sistemas isolados são construídos, permitindo o acesso a energia elétrica por parte destas comunidades. Hoje, já existem muitos projetos nacionais de geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos, principalmente para o atendimento de comunidades isoladas do Norte e Nordeste. Programas de incentivo e investimento do governo estimulam a implantação desses sistemas. Dentre eles, podemos citar o *Programa Nacional de Eletrificação “Luz no Campo”* e o *Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – PRODEEM*, instituído pelo Governo Federal em dezembro de 1994 [Atlas de energia elétrica do Brasil, 2005].

Mesmo com o sucesso da implementação de sistemas do tipo mencionado anteriormente, a energia solar como fonte de geração de eletricidade não pode ficar restrita a este uso. Desta forma, campos de geração fotovoltaica ligados aos sistemas interligados começam a surgir, mas sendo ainda no Brasil praticamente experimentais.

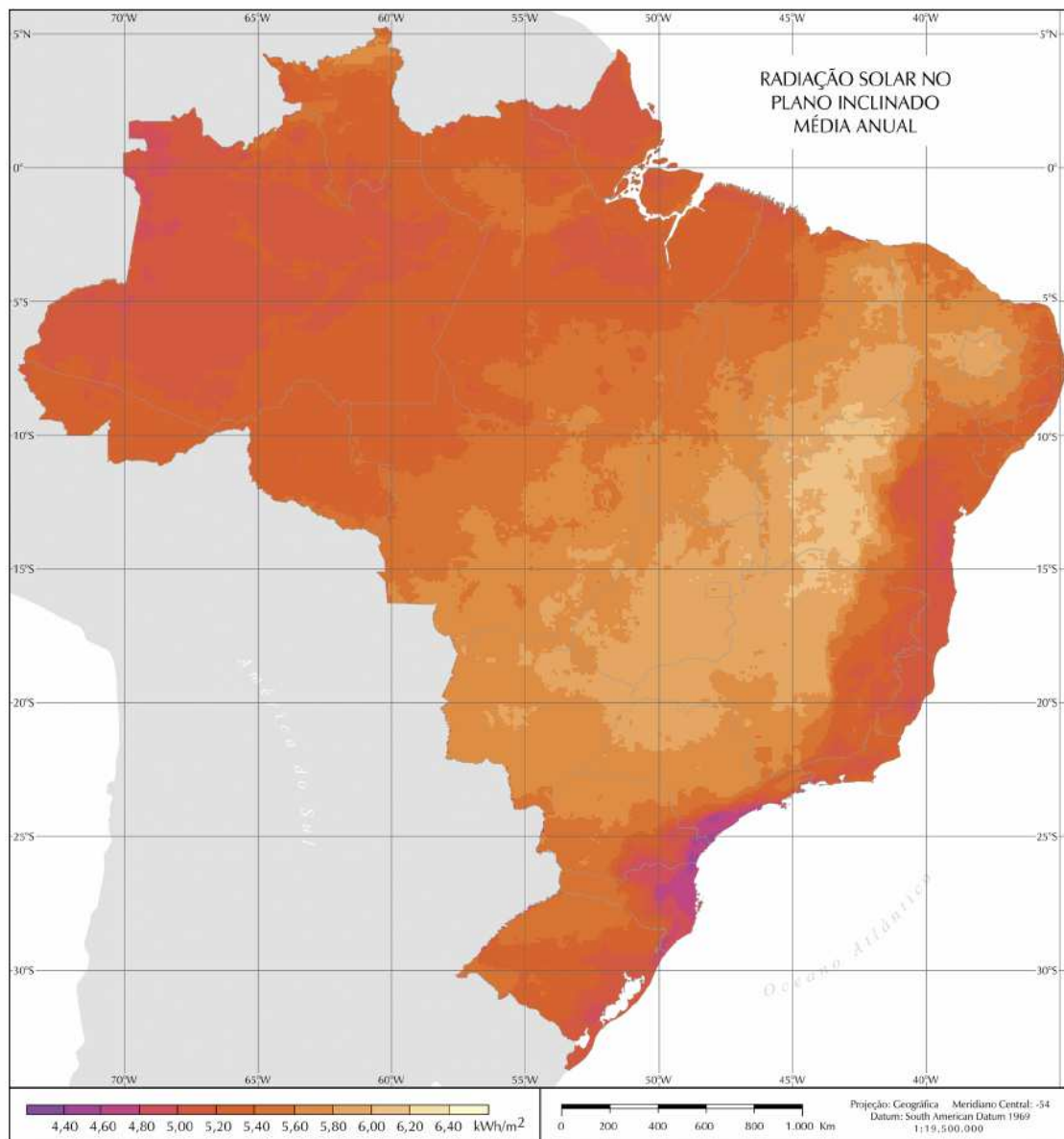
Para um aproveitamento ótimo de um sistema fotovoltaico, é indispensável o conhecimento do comportamento do clima da região onde se quer instalar o parque gerador, ainda com relação aos níveis de radiação solar, geralmente através de médias de valores instantâneos, levando-se em consideração características históricas. Para isto, alguns estudos são elaborados, e se tornam referências quando de projetos desta

natureza. Um destes estudos é o *Atlas Brasileiro de Energia Solar*, que tem como objetivo suprir parte das informações necessárias ao trabalho com energia fotovoltaica, por meio de divulgação do levantamento da disponibilidade de energia solar no território brasileiro, utilizando um modelo de transferência radiativa alimentado por dados climatológicos e de 10 anos de informações extraídas de imagens de satélite geostacionário, e validado por dados coletados em estações de superfície [Atlas brasileiro de energia solar, 2006]. Os métodos utilizados nos estudos e suas validações estão presentes no próprio Atlas brasileiro de energia solar, não fazendo parte do escopo deste trabalho.

Para fins de familiarização dos níveis de energia obtidos em território brasileiro através da radiação solar, estão mostradas nas Figuras 4, 5 e 6, respectivamente, média anual de radiação solar no plano inclinado com angulação igual a latitude do local, as médias sazonais de radiação solar no plano inclinado, e o potencial diário de energia (média anual) para o período de 10 anos do estudo.

Os valores de radiação diária média anual contidos nas Figuras 4, 5 e 6 são obtidos por meio de curvas de valores instantâneos, como as mostradas na Figura 7. Nesta figura, vemos a radiação solar incidente na estação meteorológica Santos Dumont, na cidade do Rio de Janeiro, ao longo de 24 horas, para 12 dias diferentes do ano de 1999, a saber, os primeiros dias de cada mês.

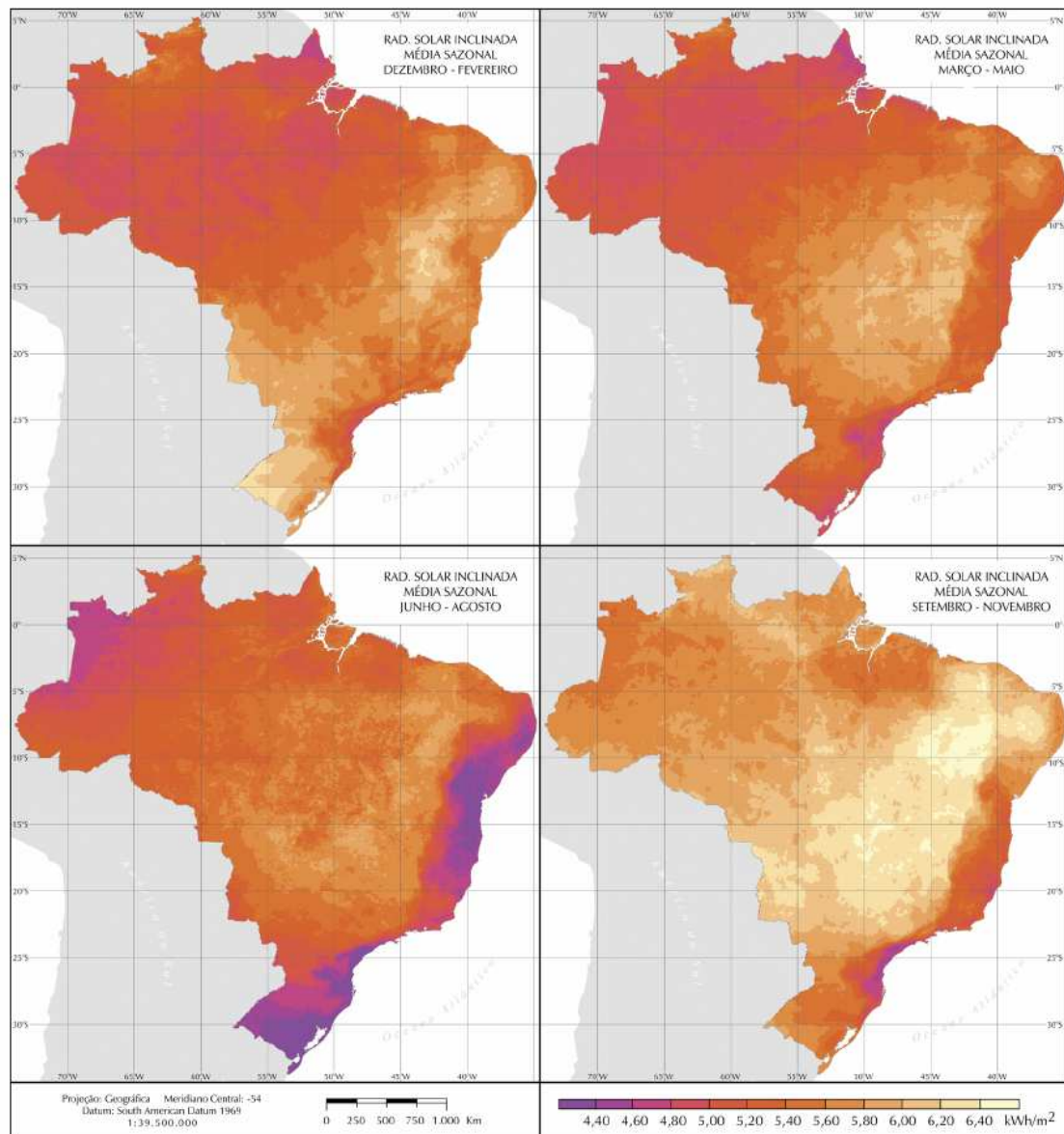
Na prática, estes valores podem ser colhidos em intervalos de tempo menores, como de dez em dez minutos.



**Figura 4-** Média anual de radiação solar no plano inclinado com angulação igual à latitude do local.  
 Fonte: Atlas brasileiro de energia solar, 2006.

Uma base de dados pode ser montada contendo uma curva para cada dia do ano, ao longo de vários anos. Integrando-se qualquer curva de qualquer dia, ao longo das 24 horas, obtém-se o valor de energia acumulada devido à radiação solar em Wh/m<sup>2</sup> (ou kWh/m<sup>2</sup>) para o dia em questão.

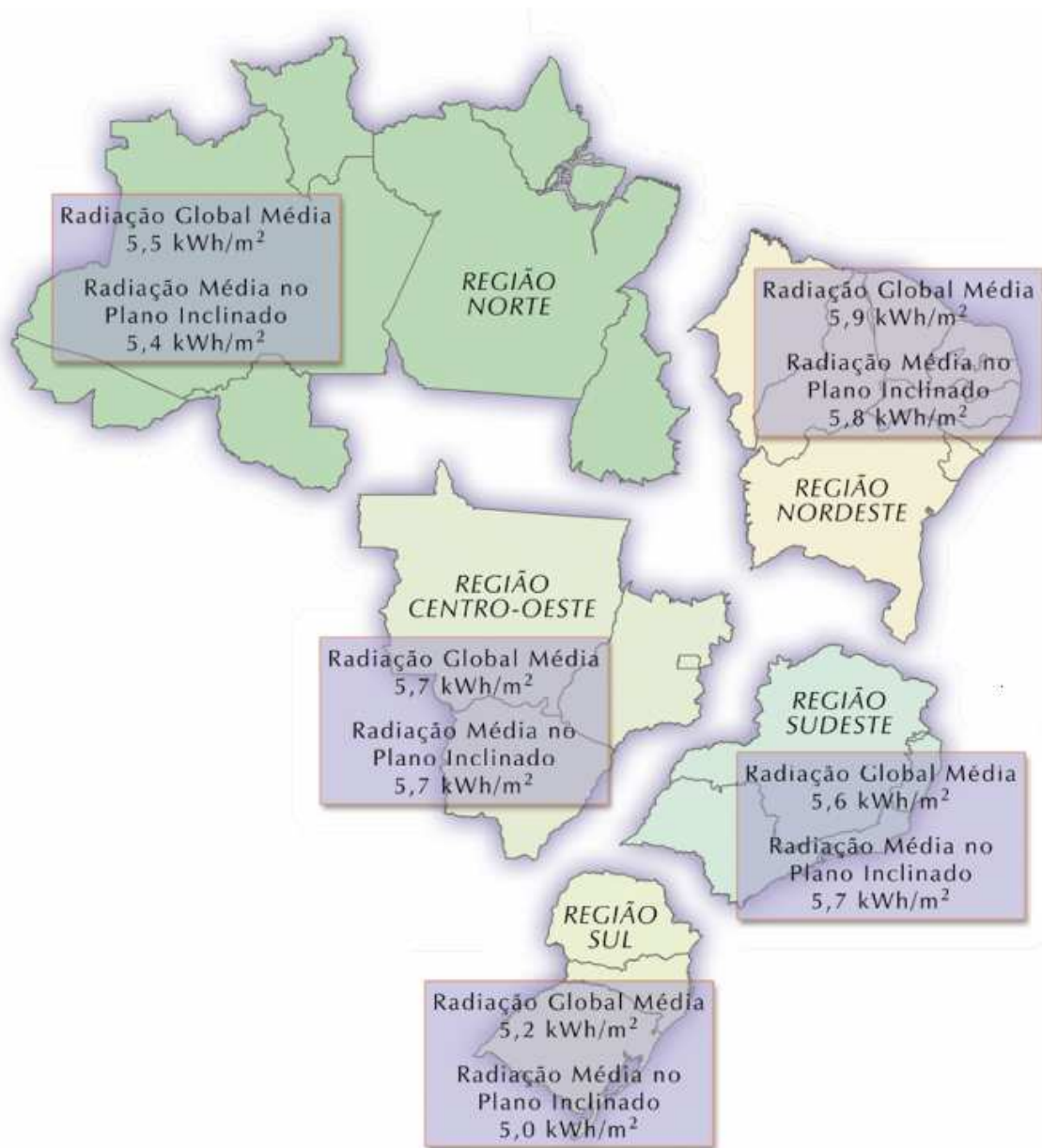
Médias deverão ser feitas considerando períodos como mês, estações do ano, ano etc., de forma a se ter um valor diário médio de energia em kWh/m<sup>2</sup>.dia, que pode ser, respectivamente, uma média mensal, sazonal, anual etc.



**Figura 5-** Médias sazonais de radiação solar no plano inclinado com angulação igual à latitude do local. Fonte: Atlas brasileiro de energia solar, 2006.

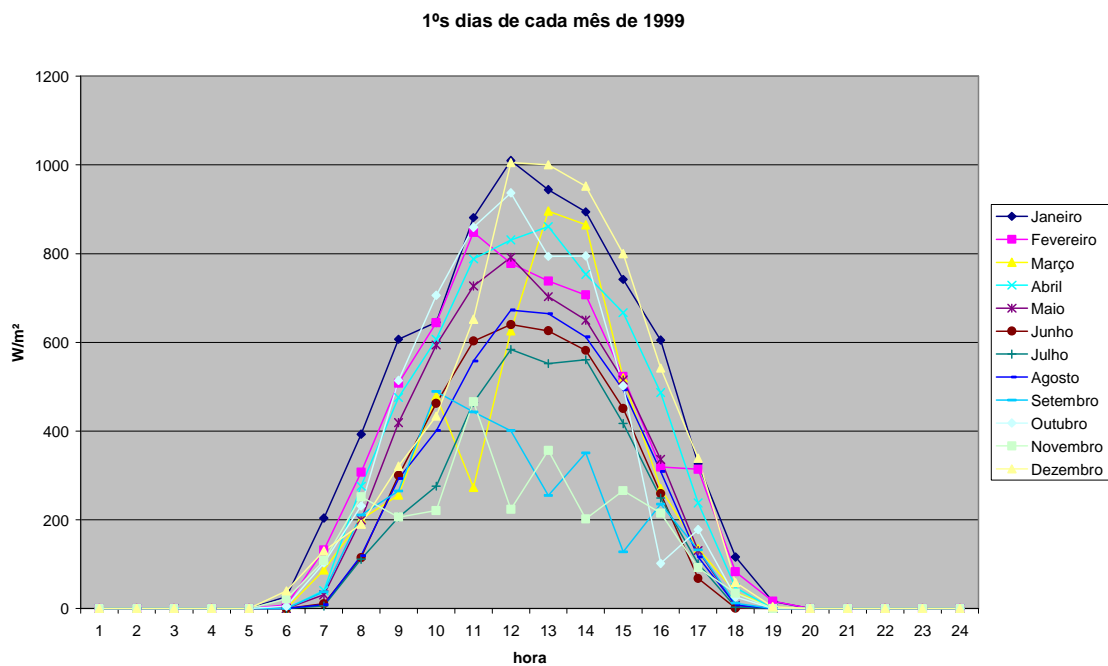
As curvas com base horária sofrem grandes variações devido a mudanças climáticas, e daí a importância de se calcular médias para estas curvas. Na verdade, o que vai ser

mais importante em um projeto, no fim, serão as curvas médias de radiação, ou os valores diários médios de energia acumulada.



**Figura 6-** Potencial diário de energia (média anual) para o período de 10 anos do estudo. Fonte: Atlas brasileiro de energia solar, 2006.

Estudos mostram que, no Brasil, os painéis fotovoltaicos fixos<sup>4</sup>, para obterem o máximo rendimento ao longo do ano, devem estar orientados para o Norte geográfico, e ser colocado inclinado com relação à horizontal de um ângulo próximo ao da latitude do local, conseguindo assim captar um máximo de energia considerando que não irão se mover ao longo do ano [Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 2004]. Diante deste fato, justifica-se a produção e apresentação de mapas solarimétricos feito por medições em um plano inclinado com a angulação de latitude.



**Figura 7-** Distribuição da radiação solar numa base horária. Cada curva refere-se ao primeiro dia de cada mês do ano de 1999. Dados colhidos na estação meteorológica Santos Dumont, no Rio de Janeiro. Fonte: Adaptado a partir de dados do SWERA, 2008.

Na Figura 7, vemos uma característica muito importante da geração fotovoltaica de sistemas conectados à rede, que é o seu perfil de curva atingir valores altos durante o

---

<sup>4</sup> Alguns painéis possuem movimentação de forma a acompanharem o movimento aparente do sol no céu ao longo do dia (eixo leste-oeste), ao longo dos meses (eixo norte-sul), ou com os dois movimentos combinados (2 eixos ou altazimutal) [Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 1999].

dia, justamente quando os consumidores comerciais e industriais mais irão solicitar potência.

Esta característica será mais comentada adiante, ela é uma das aplicações mais promissoras da geração fotovoltaica conectada à rede num modelo de geração distribuída próxima da carga, se aplicando portanto no caso do SFV-Maracanã.



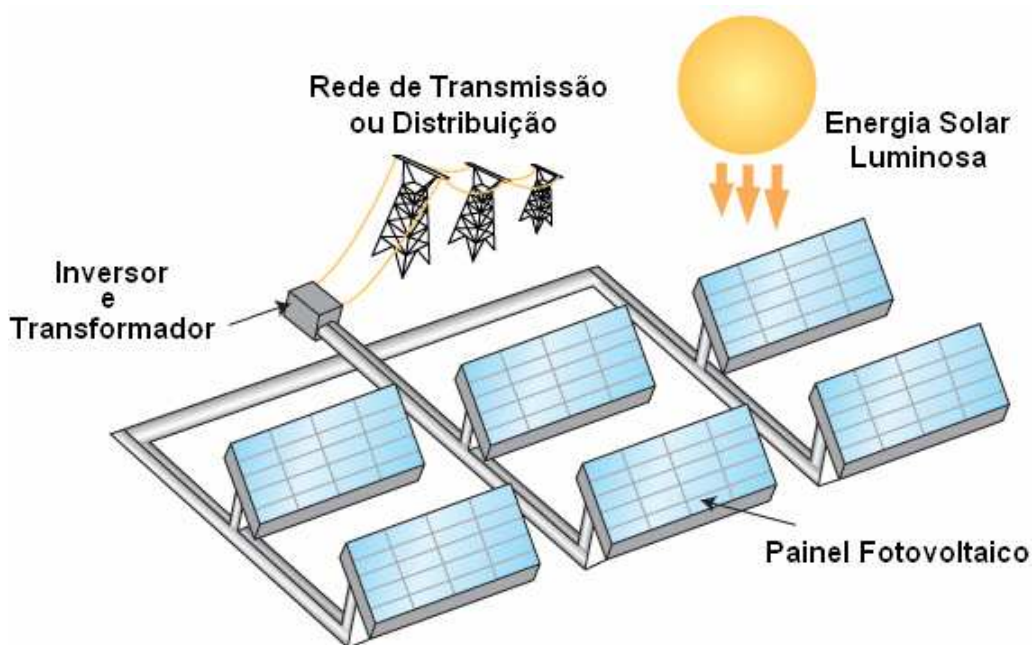
# CAPÍTULO 2 - Sistemas Fotovoltaicos

## Conectados à Rede

Neste capítulo serão descritas as características principais dos sistemas fotovoltaicos conectados a rede, como se aplicam, os exemplos de implantações pelo mundo, além de citações sobre suas vantagens e desvantagens.

### 2.1 Definição

São chamados *Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede* os sistemas cujo arranjo fotovoltaico representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectado [Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 2004]. A Figura 8 apresenta um diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico conectado à rede.



**Figura 8-** Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Fonte: Tennessee Valley Authority, <http://www.tva.gov>, acessado em 23 de agosto de 2008.

Estes sistemas possuem como característica diferenciada o fato de não possuírem sistemas armazenadores de energia. Assim, a potência gerada pelo sistema deve encontrar instantaneamente um consumidor, seja ele na edificação ao qual está instalada, ou um qualquer que seja alimentado pela rede. A rede então será o circuito que possibilitará a alimentação deste último consumidor pelo sistema fotovoltaico.

## **2.2 Vantagens**

Muitas vantagens podem ser obtidas instalando-se um sistema fotovoltaico conectado diretamente a rede. Estas vantagens vão além do próprio sistema, atingindo a sociedade e meio-ambiente, e ainda “aliviando” a própria rede na qual ele está inserido.

### **2.2.1 Vantagens relacionadas ao sistema**

Sistemas fotovoltaicos conectados a rede carregam a grande vantagem de não possuírem sistemas armazenadores de energia. Estes sistemas armazenadores tornam o custo da instalação consideravelmente maior, além de necessitarem de um espaço adicional no local da instalação, o que também pode ser introduzido no custo da instalação como área reservada para o sistema de armazenamento, e que, conseqüentemente, deixa de ser área produtiva. Alguns sistemas armazenadores de energia podem exigir uma área bastante extensa da instalação, como no caso de sistemas que utilizam bombeamento de água para reservatórios elevados, proporcionando à massa de água energia potencial gravitacional.

O caso mais comum, no entanto, é o uso de baterias para efetuar este armazenamento da energia gerada ao longo do dia. Mais uma vez neste caso há um outro agravante além do aumento de custo da instalação, o descarte das baterias.

Quando pensamos em instalações solares, estamos pensando, intrinsecamente à tecnologia, nos ganhos de preservação ambiental que teremos. O uso de células eletroquímicas (baterias) no armazenamento de energia vai contra esta política. De fato,

um dos principais problemas do uso das baterias é o seu destino final. As baterias contém metais pesados em seu interior, como o chumbo, o níquel, o cádmio, em grandes proporções de seu volume, além de eletrólitos tóxicos. Os metais pesados contidos nas baterias pode causar sérios riscos à saúde. A Tabela 1 identifica alguns dos problemas de saúde que podem vir a ocorrer por conta destes metais.

Na verdade, grande parte das baterias descartadas já são recolhidas por fabricantes para eventuais reciclagens, devido ao custo dos metais utilizados. Porém, este método de recuperação usado pelas empresas quase sempre é inadequado [Bocchi, Ferracin, Biaggio, 2000].

Além de tudo isso, as baterias mais comumente utilizadas em sistemas fotovoltaicos (chumbo-ácido) têm uma vida útil média de 6 anos, enquanto que inversores podem durar cerca de 10 anos, e os módulos 20 anos [Shayani, Oliveira, Camargo, 2006], e, sendo assim, pela necessidade de troca regular do banco ao longo da vida do sistema, as baterias passam a competir como um dos maiores custos da instalação fotovoltaica.

Com o uso de baterias, temos associado o controlador de carga, de forma a controlar o carregamento e descarregamento do banco de baterias. É mais um equipamento a ser instalado e posto sob vigilância da manutenção, elevando os custos de projeto e operacional.

Usando-se um sistema de armazenamento por baterias, temos também que, quando as baterias estiverem totalmente carregadas, o controlador de carga desconectará o arranjo fotovoltaico, o que fará com que a energia gerada a partir daí seja desperdiçada, enquanto que, num sistema conectado à rede, ela sempre irá encontrar um consumidor.

Assim, vemos que existem grandes vantagens no uso do sistema fotovoltaico conectado à rede, principalmente no tocante a valores de investimento.

<b>PRINCIPAIS EFEITOS À SAÚDE</b>	
<b>Cd</b> (* )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Câncer</li> <li>▪ Disfunções digestivas</li> <li>▪ Problemas pulmonares e no Sistema Respiratório</li> </ul>
<b>Pb</b> (* )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anemia</li> <li>▪ Disfunção renal</li> <li>▪ Dores abdominais (cólica, espasmo, rigidez)</li> <li>▪ Encefalopatia (sonolência, distúrbios metais, convulsão, coma)</li> <li>▪ Neurite periférica (paralisia)</li> <li>▪ Problemas pulmonares</li> <li>▪ Teratogênico</li> </ul>
<b>Co</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lesões pulmonares e no Sistema Respiratório</li> <li>▪ Distúrbios hematológicos</li> <li>▪ Possível carcinogênico humano</li> <li>▪ Lesões e irritações na pele</li> <li>▪ Distúrbios gastrintestinais</li> <li>▪ Efeitos cardíacos</li> </ul>
<b>Cr</b> (* )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Câncer do aparelho respiratório</li> <li>▪ Lesões nasais e perfuração do septo e na pele</li> <li>▪ Distúrbios no fígado e rins, podendo ser letal</li> <li>▪ Distúrbios gastrintestinais</li> </ul>
<b>Li</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disfunções renais e respiratórias</li> <li>▪ Disfunções do Sistema Neurológico</li> <li>▪ Cáustico sobre a pele e mucosas</li> <li>▪ Teratogênico</li> </ul>
<b>Mn</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disfunção cerebral e do Sistema Neurológico</li> <li>▪ Disfunções renais, hepáticas e respiratórias</li> <li>▪ Teratogênico</li> </ul>
<b>Hg</b> (* )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Congestão, inapetência, indigestão</li> <li>▪ Dermatite</li> <li>▪ Distúrbios gastrintestinais (com hemorragia)</li> <li>▪ Elevação da pressão arterial</li> <li>▪ Inflamações na boca e lesões no aparelho digestivo</li> <li>▪ Lesões renais</li> <li>▪ Distúrbios neurológicos e lesões cerebrais</li> <li>▪ Teratogênico, mutagênico e possível carcinogênico</li> </ul>
<b>Ni</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Câncer</li> <li>▪ Lesões no Sistema Respiratório</li> <li>▪ Distúrbios gastrintestinais</li> <li>▪ Teratogênico, genotóxico e mutagênico</li> <li>▪ Dermatites</li> <li>▪ Alterações no Sistema Imunológico</li> </ul>
<b>Ag</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Argíria (descoloração da pele e outros tecidos)</li> <li>▪ Dores estomacais e distúrbios digestivos</li> <li>▪ Problemas no Sistema Respiratório</li> <li>▪ Necrose da medula óssea, fígado, rins e lesões oculares</li> </ul>
<b>Zn</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alterações hematológicas</li> <li>▪ Lesões pulmonares e no Sistema Respiratório</li> <li>▪ Distúrbios gastrintestinais</li> <li>▪ Lesões no pâncreas</li> </ul>

\* Esses metais estão incluídos na Lista “TOP 20” da USEPA, entre as 20 substâncias mais perigosas à saúde e ao ambiente: Pb, Hg, Cd, Cr.

**Tabela 1-** Principais efeitos à saúde, devido a alguns metais presentes em pilhas e baterias. Fonte: “Impactos sanitários e ambientais devido aos resíduos gerados por pilhas e baterias usadas”, XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancun, México, 27 – 31 outubro, 2002.

## **2.2.2 Vantagens relacionadas à rede**

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede também trazem, além de vantagens no próprio sistema, como comentado anteriormente, vantagens para a rede na qual está ligado.

Os sistemas conectados à rede oferecem uma possibilidade de gerenciamento pelo lado da demanda, já que suas instalações encontram-se bem próximas às cargas que irão consumir sua energia [Oliveira, 2002].

Em adição, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede tornam a matriz energética mais diversificada. Em certo ponto, isto introduz no sistema uma maior confiabilidade, pois, se uma fonte de energia falhar, temos outras. Esta diversificação do parque gerador é sempre válida, pois ainda oferece recursos de opção de compra de energias mais baratas, o que, no modelo de mercado de energia atual, pode trazer uma maior competitividade entre as diversas fontes de geração de energia elétrica.

Reestruturações vêm sendo feitas no setor elétrico brasileiro, as quais o tornaram mais competitivo e eficiente. Com as reformas feitas nos anos 90, e com a reformulação do modelo empreendido em 2004, mediante a Lei nº 10.848, houve alterações significativas na comercialização de energia, com a criação de dois ambientes paralelos: Ambiente de Contratação Regulada – ACR e Ambiente de Contratação Livre - ACL. O ambiente regulado contempla a compra por empresas distribuidoras em leilões públicos para atender aos seus consumidores cativos; e o ambiente livre, compreende a compra de energia elétrica por entidades não-reguladas, tais como Consumidores Livres e Comercializadoras. Estas mudanças têm por objetivo estimular a competição no setor com vistas a incentivar a expansão da capacidade geradora e assegurar o fornecimento de energia aos consumidores cativos, a um preço menor [Senju, Silva, 2006].

Deste modo, vemos que o modelo atual do setor elétrico brasileiro favorece um futuro mercado onde teremos competições também entre as diversas fontes de geração de eletricidade.

Sistemas conectados à rede proporcionam ainda uma redução na exigência das linhas de transmissão e distribuição, devido à característica de aliviar picos de consumo, “trazendo para baixo” a curva de carga nos períodos diurnos, o que faz aumentar a disponibilidade do fornecimento e a vida útil dos equipamentos ligados à rede.

Para regiões com hábitos de consumo tipicamente diurnos, como em localidades de forte comércio e/ou indústria, a curva de carga possui um perfil onde altos valores são encontrados nos períodos da manhã e tarde, e baixos valores no períodos de pré-noite e noturno. Este tipo de curva de carga possui, então, o perfil parecido com o das curvas de geração fotovoltaica em base horária, mostradas na Figura 7. Ou seja, nos horários em que os painéis geram energia, as localidades comerciais e/ou industriais estão necessitando de energia. Se estas duas localidades (de geração e consumo) estiverem próximas e ligadas à mesma rede (geralmente de distribuição), haverá um fluxo da energia gerada nos painéis fotovoltaicos direto para os consumidores, evitando que um fluxo maior de energia venha a ser transferido pelo resto do sistema até atingir as cargas, o que, em horários de grande demanda, representam grandes correntes fluindo nas linhas.

Para ilustrar os comentários anteriores, analisemos estudo de caso feito na cidade de Florianópolis [Rüther et al., 2004].

Foram selecionados dois setores da cidade de Florianópolis: um com característica residencial, basicamente formado por edificações horizontais e com grande área de cobertura disponível, situado na praia de Jurerê; e outro com característica comercial, formado basicamente por edificações verticais e com uma restrita área de cobertura disponível, situado em uma área central da cidade.

Para cada setor estudado de Florianópolis, foram identificados os alimentadores que abastecem as áreas correspondentes (INE 02 no setor Jurerê e ICO 07 no setor Centro), verificados seus consumos energéticos anuais, calculadas as áreas totais de cobertura para a implementação do sistema solar fotovoltaico, já considerando a área disponível (ou seja, reduzindo-se a área total em função dos rendimentos dos equipamentos), e observados os respectivos picos de demanda.

De posse das curvas de carga (ou curvas de demanda), foi possível verificar a distinção de hábitos e comportamentos dos consumidores das duas regiões.

No setor residencial Jurerê (alimentador INE 02), o pico de demanda ocorre por volta de 21 horas, tendo durante o dia um consumo médio moderado. Isto se deve ao fato de que, por ser uma área residencial, as pessoas se encontram, normalmente, na rua durante o dia, retornando às suas casas à noite, onde há um pico de demanda provavelmente provocado por chuveiros elétricos.

Na área central (alimentador ICO 07), o pico de demanda é diurno, ou seja, ocorre entre 9 e 18 horas. Seu perfil de curva possui média alta durante o dia e baixa à noite. Isto está de acordo com uma curva de demanda típica para áreas comerciais ou industriais.

As curvas de carga foram obtidas para os dias de maior consumo correspondente de cada setor.

De posse do consumo total mensal de cada alimentador para um período de amostragem, e do valor de energia gerado por mês pela cobertura total da região dos painéis, foi possível determinar o percentual de suprimento de cada setor. Para o setor Jurerê, foi verificado que a energia gerada supria a demanda própria e que ainda haveria sobra de energia, a qual alimentaria um possível setor comercial ou industrial adjacente,

como o setor central em questão<sup>5</sup>. Para o setor central, dependendo da angulação dos painéis e tipo do material, a região não conseguiria a auto-suficiência energética.

Para os estudos de caso, foi considerado um *nível de penetração* de 20%<sup>6</sup>. Este valor vem diretamente do valor de potência instalada, calculado pela área disponível para alocação de painéis, e é importante para traçar a curva de geração de energia pelos painéis fotovoltaicos numa base horária, levando-se em conta também curvas de radiação solar como as da Figura 7.

Com todas estas informações, foram traçadas as projeções de redução dos picos de demanda (e ainda deslocamento para baixo da curva de carga na faixa do período diurno) para as duas regiões consideradas. A região de Jurerê está mostrada na Figura 9, enquanto que a região central é mostrada na Figura 10.

Vemos que, em ambos os casos, houve uma redução nos valores de demanda no período diurno, como consequência do fornecimento para a rede de energia vinda dos painéis solares.

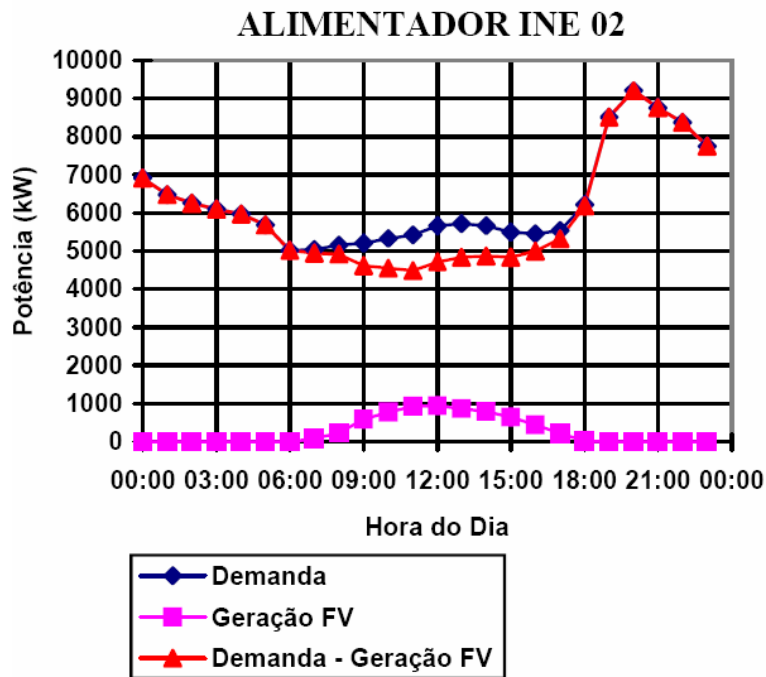
Para o setor Jurerê, o pico de demanda não pôde ser reduzido, pois ele ocorre à noite, quando não há geração fotovoltaica. Porém, como dito antes, o fato de haver sobra de energia no setor pode ser encarado como uma contribuição a localidades adjacentes com perfis de consumo diurno, ajudando a reduzir os picos de demanda destas regiões próximas.

---

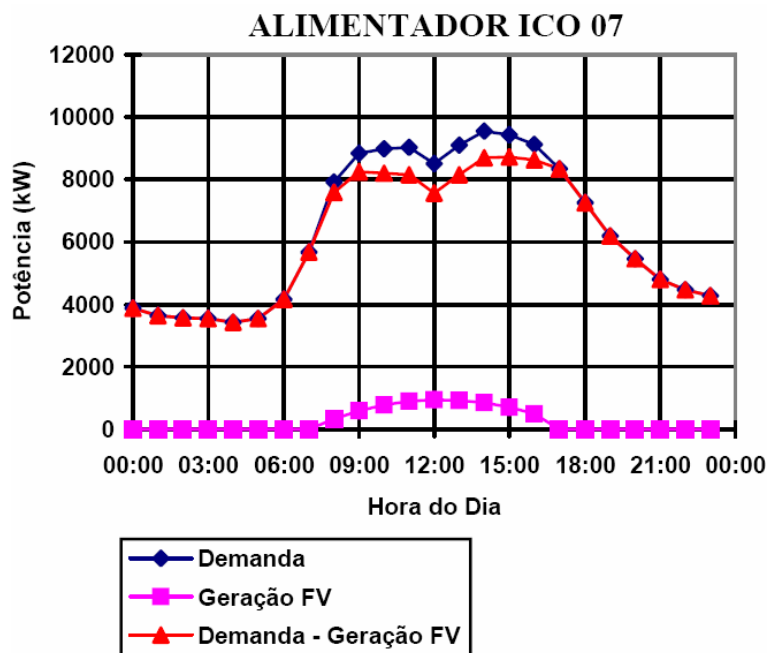
<sup>5</sup> Foram feitos alguns estudos de caso, considerando diferentes tecnologias dos painéis, e ainda a angulação dos mesmos, sendo considerada na horizontal e com angulação igual a latitude local e apontando para o norte geográfico. Em todos os casos, haveria sobra de energia no setor Jurerê.

<sup>6</sup> Nível de penetração é definido como sendo o valor percentual da potência fotovoltaica instalada em relação ao pico da curva de demanda.





**Figura 9-** Curvas de demanda, geração solar, e demanda menos geração solar no setor Jurerê, considerando a potência instalada como 20% da demanda máxima histórica do setor (nível de penetração). Fonte: Rütther et al., 2004.



**Figura 10-** Curvas de demanda, geração solar, e demanda menos geração solar no setor Centro, considerando a potência instalada como 20% da demanda máxima histórica do setor (nível de penetração). Fonte: Rütther et al., 2004.

Já para a região central, vemos que, efetivamente, há uma redução dos picos de demanda da curva, causada pela contribuição dos painéis fotovoltaicos da localidade ou da energia de sobra vinda de localidades próximas, como no caso de Jurerê.

Com isso, conseguimos com que haja uma menor exigência de linhas e equipamentos localizados a montante do ponto aonde esta energia vinda dos painéis será entregue, seja este ponto uma subestação ou um outro qualquer, e isto prolonga a vida útil dos materiais e equipamentos, além de permitir que se postergue eventuais ampliações da rede [Oliveira, 2002].

Foram omitidos alguns passos do estudo de caso aqui analisado. Para maiores detalhes, verificar Rütther et al., 2004. A metodologia apresentada anteriormente será implementada mais tarde para o estudo do SFV-Maracanã.

### **2.3 Desvantagens**

Existe, obviamente, quando falamos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, a grande desvantagem de não podermos armazenar a energia gerada ao longo do dia.

Se fosse este o caso, poderíamos até mesmo pensar em um sistema isolado da rede, onde a energia seria armazenada durante muitas horas, e sendo gasta em poucas. Para o caso de um estádio de futebol isto seria plausível, pois, em teoria, temos um consumo relativamente menor nos horários em que o estádio não está sendo utilizado (para eventos). Teríamos, então, muito tempo para carregar as baterias antes de usá-las novamente. No nosso caso, teríamos que considerar o “consumo do dia-a-dia” do Maracanã muitas vezes menor do que na ocorrência de eventos, o que não é verdade. Ainda que implantado, um número muito grande de baterias seria necessário.

O fato de não se usar nenhum dispositivo de armazenamento de energia tende a deixar o sistema mais oscilante, susceptível a eventos como cobertura por nuvens, o que provoca

alterações relativamente rápidas nos fluxos de potência. Com o uso de armazenadores de energia, isto não aconteceria.

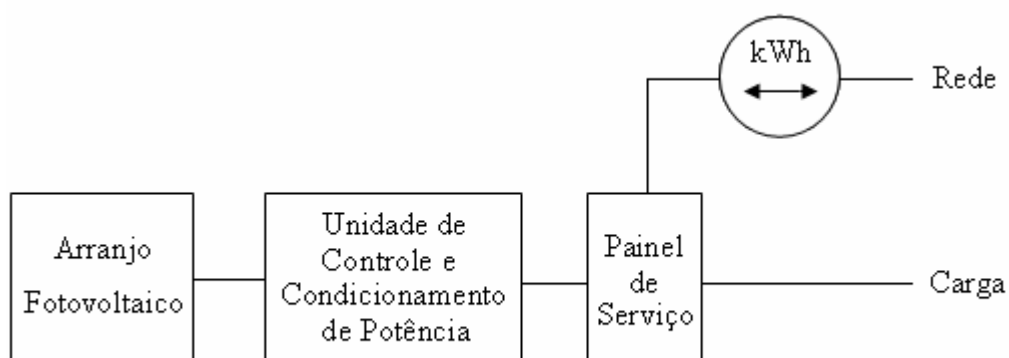
## 2.4 Formas de Medição da Energia

Serão apresentadas as três formas básicas quanto à forma de medição de energia. Na maioria das vezes, a escolha da forma de medição está relacionada com o contrato de compra e venda da energia entre as partes.

As formas de medição aqui apresentadas constam do Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 2004.

### 2.4.1 Medição Única do Balanço de Energia

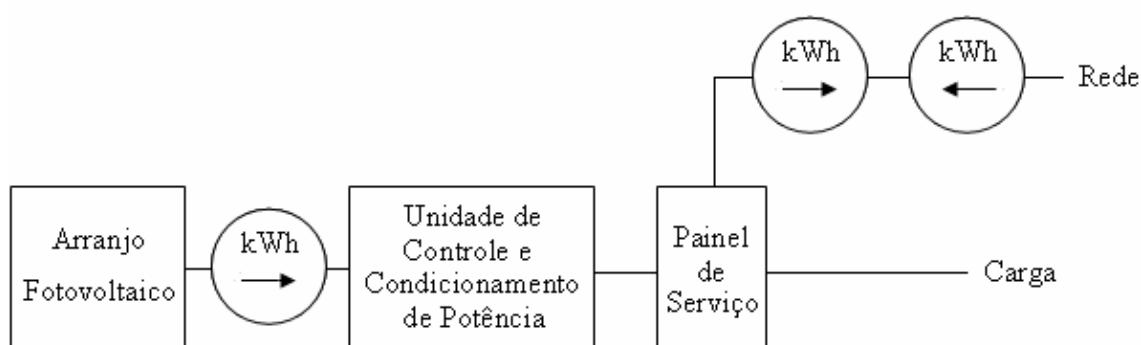
Opção aplicável quando a concessionária remunera a energia entregue pelo produtor fotovoltaico ao mesmo preço que este compra da concessionária. Basta, então, um único medidor, que registrará a entrada ou saída de energia elétrica. No fim de certo período, lê-se o valor da diferença entre a energia entregue à rede e a consumida. A Figura 11 mostra o arranjo deste tipo de medição.



**Figura 11-** Medição única do balanço de energia. Fonte: Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 2004.

## 2.4.2 Medição Dupla

Dessa vez, dois medidores operam, cada um num sentido, registrando separadamente a compra e a venda de energia à rede. Assim, consegue-se que tarifas diferentes seja atribuídas a cada uma das parcelas. Pode-se vender energia para a rede por um valor mais caro que a compra, ou vice-versa. Um terceiro medidor, opcional, registra quanto de energia é gerada pelo sistema fotovoltaico. Este tipo de medição está mostrado na Figura 12.

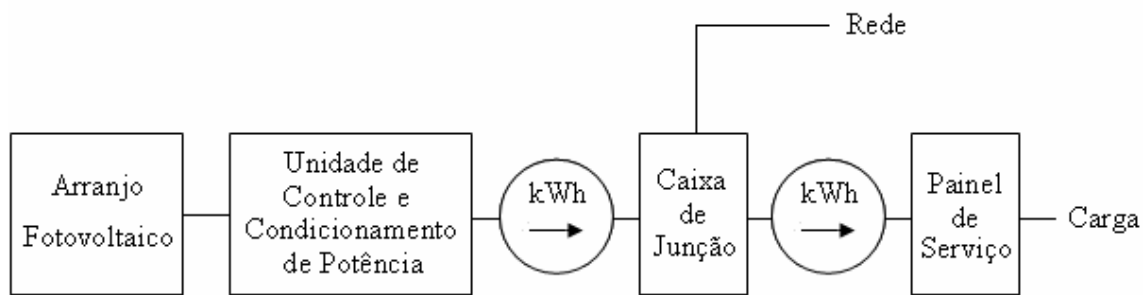


**Figura 12-** Medição dupla. Fonte: Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 2004.

## 2.4.3 Medições Simultâneas

Este tipo de medição é adotado quando se quer informações mais precisas sobre o consumo de energia e a produção fotovoltaica. A conexão à rede é feita antes da carga, evitando qualquer interferência do circuito de consumo local com a produção e/ou tarifação de energia gerada.

Por interesse do produtor, a caixa de junção deve garantir que toda a energia gerada possa fluir, e que dessa forma ela será computada e comprada pela concessionária, mesmo quando a rede não esteja apta a recebê-la. O esquema que mostra este tipo de medição está na Figura 13.



**Figura 13-** Medições simultâneas. Fonte: Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 2004.

## 2.5 Geração Distribuída

Antigamente, quando pensávamos em geração de energia elétrica, pensávamos em grandes usinas, estatais ou privadas, que geravam grandes pacotes de energia. Estas usinas possuíam características como estarem localizadas longe das áreas de consumo, pois deveriam estar onde haviam recursos energéticos disponíveis.

Estas grandes usinas, faziam parte de projetos audaciosos, que envolviam quantias extraordinárias de dinheiro, tanto para a sua construção, como para a construção de linhas de transmissão que pudessem escoar sua produção de energia, além de toda a infra-estrutura necessária para sua implementação. Até certo ponto, conseguia-se um grande ganho de escala com empreendimentos deste tipo, o que reduzia o valor da energia para os consumidores finais.

Atualmente, vemos uma nova mentalidade com relação ao mercado de geração e distribuição de energia, de tentar aproximar fisicamente estes dois segmentos, ou seja, trazer a geração para perto da carga. Esta nova visão têm cada vez mais influenciado o desenvolvimento de produtos de microenergia, que constantemente reforçam o mercado.

Estes produtos permitem que edificações residenciais ou comerciais produzam sua própria energia elétrica, de uma forma ambientalmente limpa.

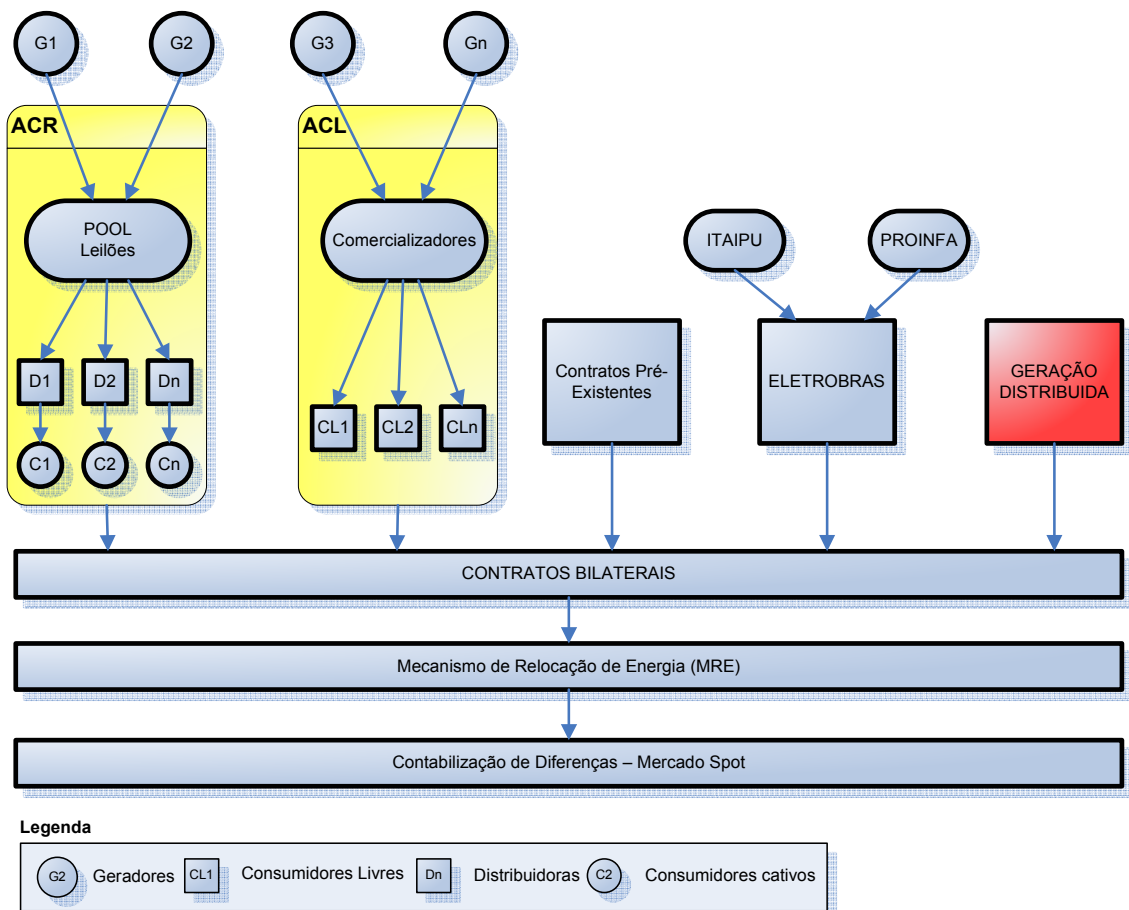
Tecnologias como as células combustíveis, turbinas eólicas, e os painéis fotovoltaicos, parecem estar se consagrando em definitivo no mercado mundial de geração de energia. Estas tecnologias, porém, ainda representam uma porcentagem ínfima da energia gerada, mas já estão a caminho de sua sustentabilidade, a medida em que mais destes produtos são comprados, fortalecendo a sua indústria, e assim barateando os custos de produção. Esta cadeia de acontecimentos vem se dando em ritmo acelerado nos últimos anos, o que projeta um futuro não tão distante de grandes possibilidades para as fontes renováveis não convencionais.

Pequenos sistemas microhidráulicos (PCHs) e de biomassa também vêm obtendo resultados importantes em ritmo acelerado, em especial no Brasil, e contribuem de forma intensa nesse horizonte de descentralização da geração de eletricidade. O novo marco regulatório do setor elétrico nacional, implantado em 2004<sup>7</sup>, possui reconhecimento formal da Geração Distribuída, e da possibilidade de sua participação efetiva no suprimento de energia às concessionárias. A Figura 14 mostra um diagrama esquemático do novo modelo do setor elétrico nacional.

A nova visão de geração descentralizada vem em contraponto aos grandes centros de geração por possuir grandes vantagens, como descrito a seguir [Cervantes, 2002].

---

<sup>7</sup> O novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro foi definido pela Lei 10.848/2004, que estabelece regras claras, estáveis e transparentes que possibilitam a efetiva garantia do suprimento para o mercado e a expansão permanente das atividades intrínsecas do setor (geração, transmissão e distribuição), sendo tal expansão vinculada à segurança e à busca da justa remuneração para os investimentos, assim como a universalização do acesso e do uso dos serviços – além da modicidade tarifária (tendo como principal instrumento o leilão para a contratação de energia pelas distribuidoras, com o critério de menor tarifa), em um horizonte de curto, médio e longo prazos [ONS, 2008].



**Figura 14-** Modelo atual (2008) de gestão do Setor Elétrico Brasileiro<sup>8</sup>. Fonte: Real, 2006.

Vantagens da geração distribuída para o consumidor:

- A alimentação disponível para o consumidor gerador pode, dependendo da tecnologia, se tornar menos oscilante em relação à frequência e/ou tensão. Esta

<sup>8</sup> Na Figura 14: ACR é “Ambiente de Contratação Regulada”, segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica entre agentes vendedores e agentes de distribuição, precedidas de licitação, ressalvados os casos previstos em lei, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos; ACL é “Ambiente de Contratação Livre”, segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica, objeto de contratos bilaterais livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos.

eventual qualidade e confiabilidade da energia pode justificar custos unitários de produção relativamente maiores;

- Economicamente, pode ser atrativo quando a energia gerada pelo consumidor gerador apresentar um custo de produção menor do que a energia disponível pela concessionária, ou por empresa comercializadora.

Vantagens da geração distribuída para o setor elétrico:

- Pode reduzir custos para a concessionária, pois a geração distribuída diminui as perdas nas linhas de transmissão e distribuição, proporciona maior estabilidade à tensão elétrica, reduz perdas reativas de potência e adia investimentos em subestações de transformação e em capacidade adicional para transmissão, conseguindo ainda um aumento na vida útil de equipamentos associados;
- Unidades de menor capacidade ajustam-se melhor a taxas variáveis de crescimento da demanda, reduzindo o risco associado a erros de planejamento, que podem resultar em sobre capacidade, e, também, podem proporcionar uma boa dose de flexibilidade a oscilações de preços ao sistema elétrico;
- Permite penetração em locais onde a expansão de linhas de transmissão e/ou distribuição é limitada.

Vantagens da geração distribuída para a sociedade:

- Aumenta a diversidade de fontes de energia, dando maior segurança no suprimento de eletricidade;
- Permite promoção do desenvolvimento local por meio do uso de recursos próprios da região onde a instalação é inserida, além da dinamização das



atividades econômicas, e ainda geração de empregos em função da maior produção industrial e volume de serviços;

- Minimização de impactos ambientais quando comparados com fontes de energia convencionais, pois as plantas de geração distribuída costumam usar combustíveis menos poluentes, como o vento, a radiação solar, os biocombustíveis, o gás natural etc.

As inovações tecnológicas do setor elétrico, bem como a liberação dos mercados, onde o maior ambiente competitivo, especialmente na geração, que trouxe ao cenário a aparição de novos agentes (os *produtores independentes* e os *autoprodutores*, vendendo ou não excedentes de energia para a rede, concorrendo livremente), constituem-se as principais forças impulsionadoras para a disseminação da geração distribuída, aliado ao fato de que cada vez é mais difícil o financiamento das grandes centrais de geração e lidar com os impactos ambientais decorrentes da sua implantação [Cervantes, 2002].

A geração distribuída já se encontra em estado bem avançado em países como os Estados Unidos, o Japão, os países da União Européia, dentre outros ditos desenvolvidos. Muitas instalações eólicas e solares, dentre as principais, já se encontram em operação nestes países há alguns anos. Esta cultura já começa a criar “raízes” nestes países, e políticas de incentivos governamentais ou não ganham força a cada dia. Muitos países já possuem uma quantia significativa de energia gerada em suas matrizes, e esta parcela de participação das energias renováveis por geração distribuída cresce rapidamente.

Mais a frente veremos alguns exemplos, dos muitos existentes, de produção de energia elétrica a partir de fontes não convencionais. É preciso que o Brasil dê maior importância a este segmento do mercado energético, de modo que não fique mais uma vez para trás quando se fala em inovações tecnológicas.

A geração distribuída não tem, no momento, pretensão de competir economicamente com as gerações convencionais, centralizadas. Esta ainda é uma disputa difícil, onde regras de mercado ainda apontam para a geração centralizada como mais atrativa pelo lado financeiro. Muitas vezes, esta conta não leva em consideração aspectos difíceis de valoração, tanto para a redução dos custos das energias não convencionais, como no acréscimo do custo das energias convencionais. Por exemplo, é difícil estimar-se economicamente o custo do alagamento de áreas imensas, e, assim, por muitas vezes esta comparação entre as fontes de energia se torna injusta [Oliveira, 2002]. Quando estes custos forem levados em consideração, talvez a geração distribuída por meio de fontes não convencionais de energia consiga enfim o espaço que lhe é de direito no mercado.

O futuro aponta para a descentralização da geração, o que parece ser um bom caminho para a maioria dos envolvidos no cenário da energia elétrica, mas sabemos que as grandes unidades geradoras ainda serão por muitos anos as fontes principais que alimentarão os consumidores. Cabe a nós, então, implementar gradativamente a geração distribuída nas suas mais diversas fontes de energia, afim de reduzir os custos de implementação, ganhar experiência, tornando-a mais competitiva no mercado e aumentando cada vez mais a participação das energias limpas na matriz energética.

## ***2.6 Experiência mundial com sistemas fotovoltaicos conectados à rede***

Como dito anteriormente, países da União Européia, Estados Unidos, Japão, e outros, já deram início à implantação de plantas de geração distribuída em grande número. Em se tratando de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, veremos neste item alguns exemplos de aplicação da tecnologia em determinadas edificações, e ainda, mais precisamente, em estádios, alvo de nosso estudo. Como veremos, a instalação de painéis fotovoltaicos em coberturas de estádios para troca de energia elétrica com a rede não é efetivamente uma novidade, pois já vem sendo praticada em alguns países.

### **2.6.1 Sistemas de Grande Porte**

As experiências mais antigas investiam em grandes centrais geradoras, não implantadas em edificações, mas sim em algum terreno disponível, pois essa era a visão da época. Acreditava-se que, com grandes plantas, se conseguiria o ganho de escala presente em outras formas de geração. Com o tempo, foi visto que isso não era verdade, ou seja, não será com instalações de grandes centrais fotovoltaicas que o custo do kWh fotografado<sup>9</sup> será significativamente menor [Oliveira, 2002].

Assim sendo, temos hoje grande parte dos investimentos voltados para instalações fotovoltaicas como plantas menores de geração distribuída, mas as grandes centrais produtoras continuam existindo e outras novas são previstas, como vemos, por exemplo, na Alemanha, país que se tornou referência neste tipo de tecnologia. Estas centrais têm uma potência instalada de poucos MWp (menos que 10 MWp tipicamente), com a maioria variando atualmente entre 1 e 6 MWp. Muitas destas centrais encontram-se na Alemanha (principalmente na Bavária), Espanha, Estados Unidos (principalmente na Califórnia), Japão, Holanda e Itália.

### **2.6.2 Sistemas implementados em Edificações**

Existem pelo mundo, atualmente, milhares de exemplos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede implantados em edificações. Mais precisamente, estes sistemas se encontram, principalmente, em países que há alguns anos já investem nesta tecnologia, como Japão, Estados Unidos e países da União Européia.

Leis governamentais de incentivo à produção fotovoltaica distribuída têm sido grandes aliadas no desenvolvimento destes sistemas nos países anteriormente citados. Dentre

---

<sup>9</sup> Energia elétrica gerada por painéis fotovoltaicos.

elas, podemos citar o *Act on Granting Priority to Renewable Energy Sources*, do ano 2000, na Alemanha, e o *Real Decreto*, na Espanha, promulgado em 1998. Estas leis foram fundamentais para que estes países se tornassem referências mundiais na geração distribuída por meio de painéis fotovoltaicos, o que reafirma a real necessidade de o governo brasileiro se empenhar em políticas motivacionais para o setor de energias renováveis não convencionais.

Dos milhares de exemplos que temos internacionalmente, muitos são *microgeradores*, consumidores comuns que instalam painéis fotovoltaicos nos telhados de suas residências, comercializando energia com a concessionária local.

Além deste segmento, temos os prédios comerciais e instalações governamentais, que se utilizam muitas vezes de uma grande área disponível em seus telhados para gerarem energia fotovoltaica, sendo também injetada na rede de distribuição e comercializada com a concessionária local.

Dentre as instalações fotovoltaicas conectadas à rede implantadas em edificações, podemos citar exemplos em construções das mais variadas atividades, como a igreja St. Jude's, na Califórnia, Estados Unidos, com 48 painéis instalados, gerando o equivalente a 48% de seu consumo; a fábrica da General Motors em Zaragoza, na Espanha, com uma área de 183 mil metros de telhados de fábrica cobertos de painéis fotovoltaicos; Hotel Resort Mauna Lani, no Hawaii, com 100 kWp instalados somente no telhado de seu prédio principal, valor que deverá crescer brevemente. Poderíamos ainda aqui citar milhares de exemplos, nos mais variados tipos de edificação, e com baixas ou altas potências instaladas. A Tabela 2 mostra a capacidade instalada em painéis fotovoltaicos em diversos países, ao final de 2007, e permite uma comparação da potência instalada em residências e nas demais edificações, e ainda comparar sistemas isolados com os conectados à rede.

No Brasil, a produção fotovoltaica conectada à rede está apenas “engatinhando”. As pouquíssimas unidades que existem se encontram quase que na totalidade em centros de

pesquisa e laboratórios de faculdades. Isso acontece devido a existência de barreiras de diversas ordens: econômica, financeira, política, e cultural (permanece muito ainda a idéia de geração centralizada em grandes unidades produtoras). A barreira técnica (montagem do sistema, operação e conexão com a rede elétrica) pode ser considerada vencida [Lisita Júnior, 2005].

Country	Cumulative off-grid PV capacity (kW)		Cumulative grid-connected PV capacity (kW)		Total installed PV power (kW)	Total installed per capita (W/Capita)	PV power installed in 2007 (kW)	Grid-connected PV power installed in 2007 (kW)
	domestic	non-domestic	distributed	centralized				
AUS	27 713	38 733	15 035	1 010	82 491	4,1	12 190	6 280
AUT	3 224		22 721	1 756	27 701	3,4	2 116	2 061
CAN	8 088	14 776	2 846	65	25 775	0,8	5 291	1 403
CHE	3 200	400	30 040	2 560	36 200	4,9	6 500	6 300
DEU	35 000		3 827 000		3 862 000	46,8	1 135 000	1 100 000
DNK	100	285	2 690	0	3 075	0,6	175	125
ESP	29 800		625 200		655 000	15,1	512 000	490 000
FRA	15 881	6 666	52 685	0	75 232	1,2	31 299	30 306
GBR	420	1 050	16 620	0	18 090	0,3	3 810	3 650
ISR	1 584	210	11	14	1 819	0,3	500	0
ITA	5 400	7 700	83 900	23 200	120 200	2,1	70 200	69 900
JPN	1 884	88 266	1 823 244	5 500	1 918 894	15,0	210 395	208 833
KOR	983	4 960	32 559	39 099	77 601	1,6	42 868	42 868
MEX	15 487	4 963	300	0	20 750	0,2	1 019	150
NLD	5 300		44 500	3 500	53 300	3,3	1 605	1 023
NOR	7 450	410	132	0	7 992	1,7	324	4
PRT	2 841		676	14 353	17 870	1,7	14 454	14 254
SWE	3 878	688	1 676	0	6 242	0,7	1 392	1 121
USA	134 000	191 000	465 000	40 500	830 500	2,8	206 500	151 500
Estimated total	265 368	396 972	6 019 835	1 158 557	7 840 732		2 257 638	2 129 778

**Tabela 2-** Capacidade instalada em painéis fotovoltaicos em diversos países, ao final de 2007. Fonte: IEA-PVPS, 2008.

### 2.6.3 Sistemas implementados em Estádios

No Brasil, um sistema fotovoltaico implantado na cobertura de um estádio e trocando energia com a rede seria uma novidade. Porém, em alguns países esta prática já é

realidade, sendo relativamente recente. Existe uma íntima relação entre energias limpas e atividades esportivas, como se pode ver nos exemplos que seguem.

O *National Indoor Stadium* de Pequim foi utilizado recentemente nos Jogos Olímpicos de 2008, e possui um total de 1.124 painéis solares instalados na sua cobertura, que podem suprir potência de até 100 kW. Outras instalações fotovoltaicas foram utilizadas nas Olimpíadas de 2008.

Para a Copa do Mundo de 2006, na Alemanha, o *Estádio de Nuremberg* foi equipado com painéis solares em sua cobertura. Um total de 758 painéis solares instalados nas partes sudeste, sul e oeste do telhado cobriam um total de mil metros quadrados. Assim, o estádio podia gerar até 140 kW de potência. Os painéis instalados na época eram de 185 kWp. Dois inversores de 60 kVA em configuração “master/slave” convertiam a corrente contínua dos painéis em 400 Vca, e eram equipados com avançados sistemas de monitoramento, que permitiam acompanhamento remoto. A orientação e a natureza dos telhados foram levados em conta na escolha dos inversores, afim de minimizar os impactos nas suas saídas. Os inversores eram os SINVERT, da Siemens, realizadora do projeto. Estes inversores são usados na produção de energia de grandes sistemas fotovoltaicos (acima de 30 kVA), apresentando grande eficiência e muitas opções de monitoramento.

Também em 2008, o campeonato de futebol europeu, a Eurocopa, realizado simultaneamente na Áustria e Suíça, contou com o maior estádio solar do mundo. O principal estádio da Suíça, *Stade De Suisse*, localizado em Bern, contava antes com 7.930 painéis solares. Adicionalmente, outros 2.808 painéis da companhia japonesa Kyocera foram instalados. O sistema possui atualmente 1,347 MW de potência em painéis, e estima-se que possa produzir anualmente cerca de 1,134 GWh de energia elétrica.

A Figura 15 mostra fotos dos estádios solares comentados anteriormente.



(a)



(b)



(c)

**Figura 15-** Alguns Estádios no mundo que já possuem painéis fotovoltaicos implantados em suas coberturas; (a) National Indoor Stadium de Pequim, (b) Estádio de Nuremberg na Alemanha e (c) Stade De Suisse, em Bern, na Suíça. Fonte: Internet, 2008.

Para o estádio principal dos Jogos Mundiais de 2009, em Kaohsiung, Taiwan, também está prevista a instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura. Segundo fontes do governo local, o estádio será o primeiro no mundo em conformidade com o *Green Building Code*, que é um certificado dado a construções ecologicamente corretas. O estádio seria também auto-suficiente em energia elétrica, produzindo 80% da eletricidade necessária durante sua operação, e 100% ou mais no restante do tempo.

## **CAPÍTULO 3 - Principais Componentes do**

### **SFV-Maracanã**

Um estudo de viabilidade tem como objetivo principal verificar se um determinado projeto satisfaz condições mínimas em termos técnicos, econômicos, políticos, sociais etc., de forma a que seja atrativo a uma iniciativa de investimento. Porém, mesmo para se chegar a uma conclusão se um projeto deve ou não seguir em frente, é preciso produzir um pré-projeto, que permita então chegar às conclusões de viabilidade.

O objetivo deste capítulo é fornecer as informações necessárias sobre componentes, afim também de se permitir efetuar estudo de viabilidade e aplicabilidade do SFV-Maracanã.

#### **3.1 Módulos Fotovoltaicos**

De forma a permitir com que haja uma certa liberdade na escolha dos módulos fotovoltaicos, com relação ao melhores custos benefícios, a época de compra e instalação dos componentes do sistema, serão aqui dispostos cinco tipos de tecnologia. O restante deste trabalho será feito baseado em um ou mais destes módulos aqui apresentados. Desta forma, alguns cenários serão criados e poderá então ser feita uma análise do sistema no presente e no tempo futuro.

Serão considerados cinco modelos de módulos fotovoltaicos, assumidos como representativos das cinco principais tecnologias disponíveis no mercado [Rüther et al., 2004].

Para efeitos deste estudo, a característica mais importante a ser especificada é a eficiência do módulo, que permitirá calcular a capacidade de geração da planta em unidade de potência. Na prática, outras características como tensão e corrente nominal



serão definidas em *projetos de engenharia*, de modo a formar a tensão e corrente nominal do sistema, conforme esquemas de ligação.

A Tabela 3 mostra cinco módulos representantes de cinco tecnologias diferentes, com suas respectivas eficiências típicas [Rüther et al., 2004].

A performance dos módulos de a-Si é praticamente independente da temperatura da célula, daí o valor zero para o coeficiente de temperatura para a eficiência ( $TCO_{EFF}$ ). Os outros tipos de módulos têm suas eficiências dependendo da temperatura de operação da célula.

Dados fornecidos pelo fabricante			NOCT ( $^{\circ}C$ )	EFF <sub>NOCT</sub> (%)
Tecnologia	EFF <sub>STC</sub> (%)	TCO <sub>EFF</sub> (%/ $^{\circ}C$ )		
<b>m-Si</b>	13,50	-0,40	45	12,42
<b>a-Si</b>	6,30	0,00	45	6,30
<b>p-Si</b>	11,60	-0,40	45	10,67
<b>CdTe</b>	6,90	-0,20	45	6,62
<b>CIS</b>	8,20	-0,45	45	7,46

**Tabela 3-** Valores das eficiências das tecnologias de módulos, considerando uma temperatura padrão de 25°C (STC), e considerando uma temperatura média de operação das células de 45°C (NOCT). Fonte: Rüther et al., 2004.

Em STC<sup>10</sup>, uma atividade do módulo bem diferente da encontrada na prática é exigida. As características STC raramente são experimentadas pelo módulo, e são largamente

---

<sup>10</sup> Standard Test Conditions: 1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C de temperatura da célula, espectro AM 1,5.

exploradas pelos fabricantes, que as representam geralmente em laboratório. Estas características de teste, por exemplo, incluem operação da célula em 25°C. Porém, sabe-se que a célula apresenta temperatura de operação consideravelmente superior à temperatura ambiente. Para resultados mais realistas, os fabricantes costumam apresentar valores de desempenho NOCT<sup>11</sup>.

Assim, na Tabela 3, vemos, além da eficiência STC, a eficiência recalculada de cada tecnologia, por meio de seus coeficientes de temperatura para a eficiência estimados, para um valor padrão NOCT de operação de 45°C. Embora as células possam atingir valores de operação de até 60°C, 70°C, em dias de forte irradiação, estes valores médios em NOCT são comumente utilizados em projetos. Os valores de  $TCO_{EFF}$  determinam qual a porcentagem de redução da eficiência STC para cada °C aumentado na temperatura de operação das células.

### **3.2 Inversores**

Os inversores possuem papel tão importante em um sistema fotovoltaico conectado à rede quanto os módulos. São equipamentos constituintes de dispositivos de chaveamento, que fazem a conversão da tensão contínua dos módulos em alternada. Normalmente, são encontrados no mercado inversores que admitem tensões de entrada de 12, 24, 48, ou 120 Vcc, e fornecem na saída tensões de 120, 127, 220 Vca, operando com frequências de 50 ou 60 Hz.

Quanto à qualidade da conversão, esta geralmente é determinada pela carga que o inversor deve alimentar. Alguns inversores fornecem na saída tensões com formas de

---

<sup>11</sup> Nominal Operating Cell Temperature: considera a eficiência dos módulos como função da temperatura do ambiente e da velocidade do vento, assumindo uma temperatura da célula de aproximadamente 45°C, que corresponde a uma temperatura ambiente de 20°C [Rüther et al.,2004].

onda retangular ou quadradas, com alto nível de harmônicos e baixo rendimento. Obviamente, estes são os inversores mais baratos.

Para serviços em instalações fotovoltaicas conectadas à rede, deve-se escolher um inversor com alta qualidade da onda de saída, ou seja, uma onda quase senoidal, com baixos níveis de harmônicos. Assim, cumpre-se obrigação tanto com a concessionária quanto com a instalação, não comprometendo por demais o orçamento dos equipamentos. Inversores de onda senoidal possuem baixíssimos níveis de harmônicos, mas possuem preço muito elevado.

Como a energia que sobrar no sistema será injetada na rede, uma corrente com altos níveis de harmônicos pode ser prejudicial à outros consumidores, e aos equipamentos da própria rede. Assim, o THD da corrente fornecida pelo inversor deve estar dentro dos limites estipulados pelas normas técnicas pertinentes. Uma das normas mais aplicadas é a *IEEE Standard 519 – 1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. A tensão em geral não apresenta maiores problemas com relação a harmônicos neste caso, mas também deve atender às normas.

Os sistemas fotovoltaicos conectados a rede devem possuir equipamentos de segurança que previnam que eles operem em *ilhamento*, ou seja, quando a energia da concessionária “cair” por algum problema, ou for desligada intencionalmente, o sistema fotovoltaico deve ser desconectado da rede. Isto é importante para a segurança dos funcionários de manutenção da concessionária, pois se deve ter certeza absoluta de que nenhuma fonte está fornecendo energia para a rede em ocasiões de contatos pessoais para reparos. Esta função está normalmente atribuída ao inversor, assim como outros controles e monitorações de segurança.

Atualmente, quase todos os inversores presentes no mercado possuem tais funções, monitorando e atuando contra: sobre-tensões, quedas de tensão, variações na frequência, distorções harmônicas na tensão e corrente, e outros; se adequando às normas técnicas

pertinentes, e, conseqüentemente, às normas das empresas de distribuição de energia. [Oliveira, 2002].

Com relação à eficiência, hoje em dia existem inversores com valores acima de 90%. Entretanto, para efeitos de cálculo no restante deste projeto, vamos considerar a eficiência dos inversores como sendo de 90%.

Algumas empresas, como a Siemens, possuem linhas de inversores projetados especificamente para atuar em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, como é o caso do SINVERT Solar, com potências de 400 kVA.

### **3.3 Demais componentes**

Outros componentes fazem parte de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Entretanto, a maioria destes componentes não tem nenhuma diferença significativa em relação a situações convencionais de qualquer instalação elétrica. Apenas alguns cuidados devem ser tidos lembrando-se do fato de se estar trabalhando em metade do circuito com corrente contínua.

Dentre os demais componentes podemos citar:

- Estrutura de suporte para fixação dos módulos e/ou painéis;
- Cabeamento do sistema (na parte CA e CC);
- Dispositivos de proteção (tanto no lado CC quanto no CA);
- Dispositivos de medição (de energia e outras grandezas elétricas);
- Sistema de aterramento.

Todos os componentes metálicos não condutores do sistema devem estar devidamente aterrados, conforme as normas específicas do assunto, de forma a garantir a segurança das pessoas.

A interface com a rede da concessionária merece maior atenção quanto ao projeto do sistema de proteção. Em geral, este sistema é mais complexo e mais caro que o normal, necessitando de dispositivos não encontrados nas ligações de um consumidor comum.

Os componentes descritos neste item têm sua especificação dada em um projeto posterior, de engenharia, onde são detalhadas as instalações, calculadas distâncias, seções de condutores e seu encaminhamento, arranjo de equipamentos em subestações, sistemas de proteção etc.

# **CAPÍTULO 4 - Formação do SFV-Maracanã**

## **e Capacidade**

No capítulo 4 deste trabalho é descrito o modo como os módulos serão distribuídos na edificação, permitindo-se assim que se saiba a área efetivamente produtora de energia, por meio da quantidade de módulos do sistema. De posse destas informações, pode-se chegar à potência instalada, e à quantidade de energia gerada por mês ou por ano pelo sistema.

### **4.1 Disposição dos Painéis Fotovoltaicos**

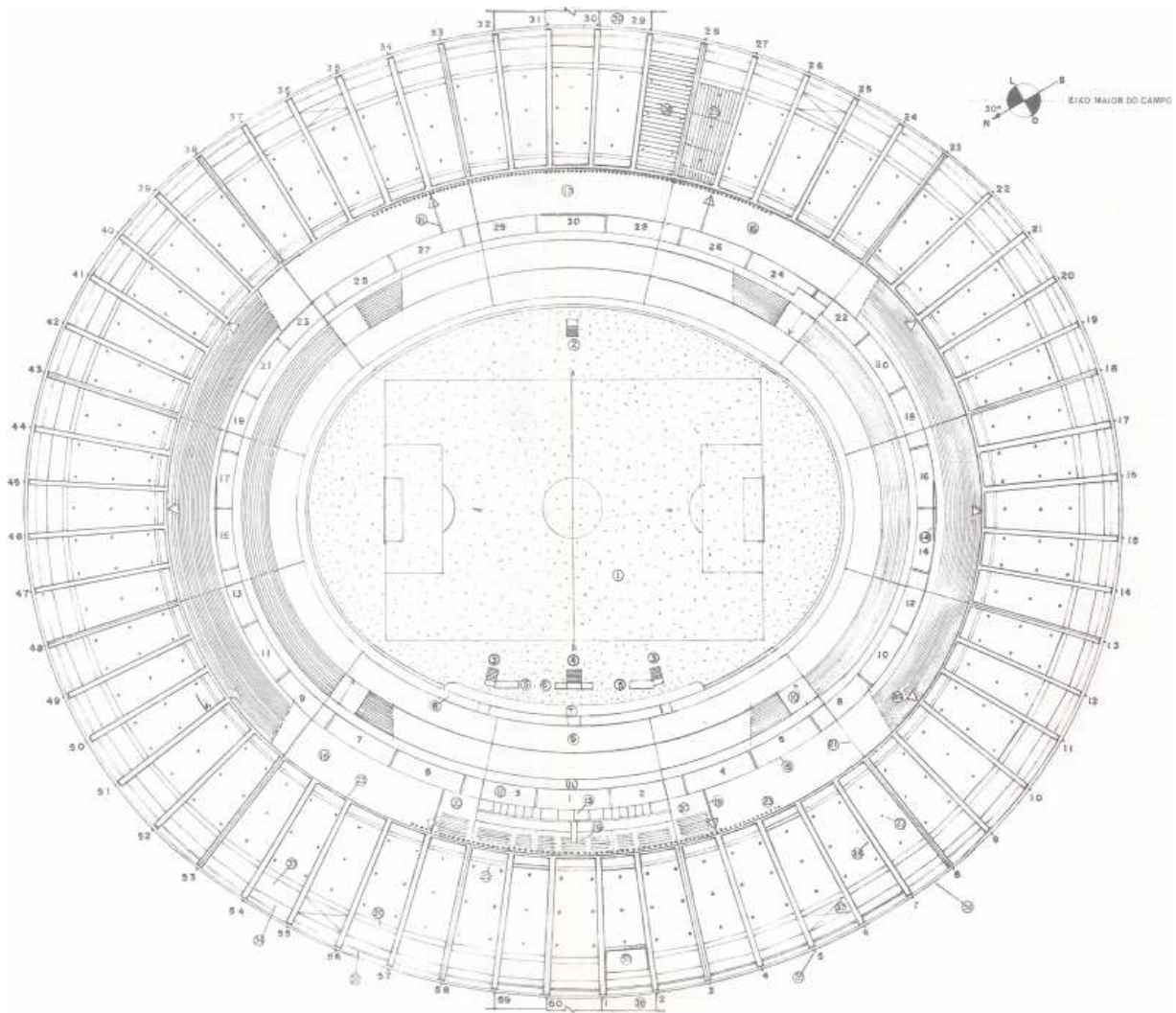
Neste item será mostrado como o SFV-Maracanã será implantado sobre a cobertura do estádio. Esse arranjo sobre a edificação é fator determinante em um projeto.

#### **4.1.1 Características da cobertura do Maracanã**

O Maracanã tem uma cobertura atípica para estádios de futebol. A Figura 16 mostra a planta da cobertura do estádio.

Por se tratar de um estádio antigo, seu telhado é feito de concreto, o que seria uma boa vantagem para o projeto do SFV-Maracanã, pois, a princípio, suportaria o peso dos módulos e de toda a estrutura metálica necessária para mantê-los nas posições e angulações determinadas.

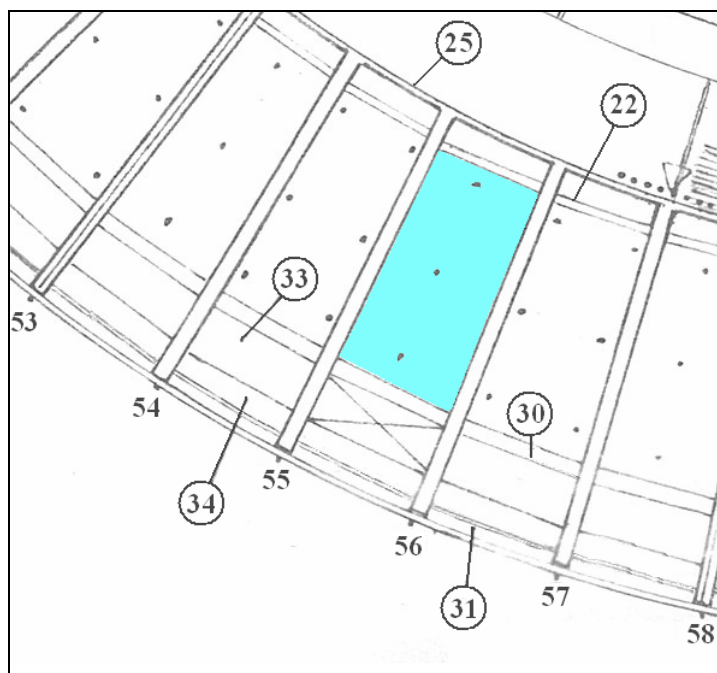
Pode-se dizer que a cobertura é dividida em 60 áreas iguais (algumas poucas com pequenas diferenças). Estas áreas são denominadas “vãos”, ou “intercolunas”. A Figura 17 mostra o detalhe destes vãos, com suas principais áreas: 22, é o passadiço de circulação; 25, anel interno da marquise; 30, calhas internas; 31, calhas externas; 33, laje inclinada impermeabilizada; 34, laje em curva impermeabilizada.



**Figura 16-** Planta da Cobertura do Estádio do Maracanã. Fonte: Maracanã, 2008.

A área destacada na Figura 17 mostra o espaço disponível para alocação dos painéis fotovoltaicos, em cada um dos 60 vãos. Poderia ser pensada uma adaptação de painéis nas áreas 33 e 34, porém, levando-se em conta que o Maracanã representa muito mais do que um estádio de futebol, sendo um “cartão postal” do Rio de Janeiro, a alocação de painéis nestas áreas poderia causar um impacto visual negativo na arquitetura do estádio, tanto para vistas aéreas quanto para a visão do solo. Ainda, o Maracanã é um patrimônio tombado, e, por isso, futuras modificações previstas na sua cobertura não

incluem alterações na original, e sim apenas a complementação com lonas sintéticas que avançariam para dentro do estádio, aumentando a proteção dos espectadores.



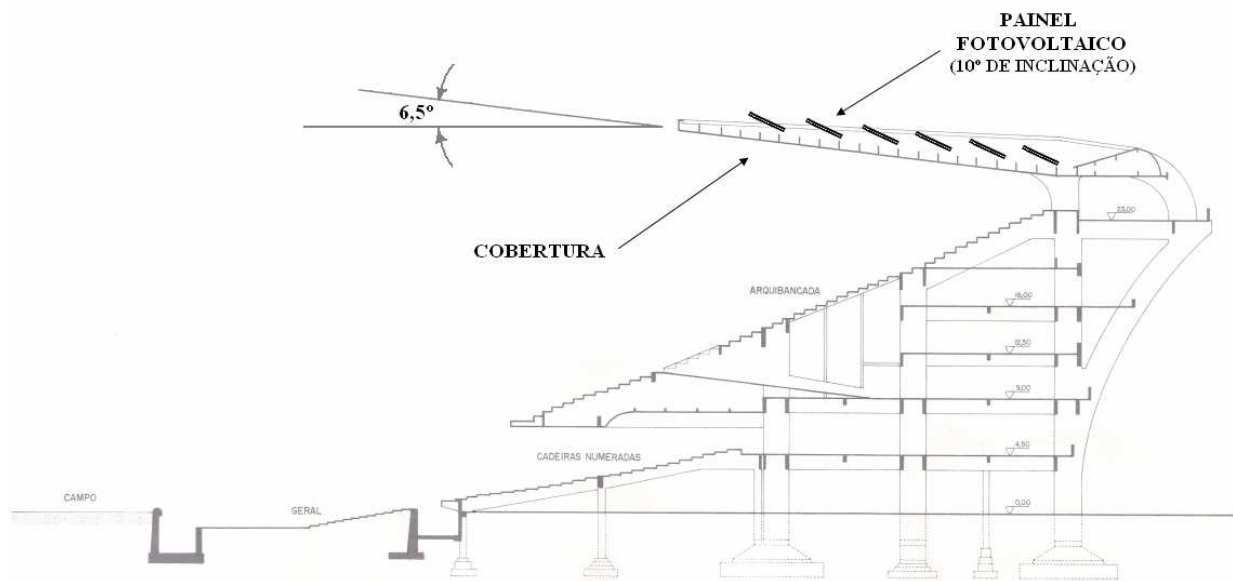
**Figura 17-** Detalhe da cobertura do Maracanã, mostrando seus vãos e as suas respectivas áreas. Fonte: Maracanã, com adaptações do original.

A cobertura do Maracanã possui um decaimento para a chuva. A inclinação em relação à horizontal é de aproximadamente  $6,5^\circ$ .

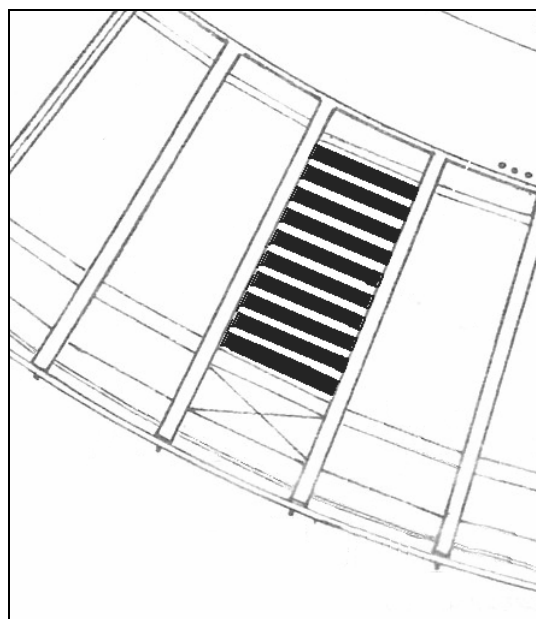
#### **4.1.2 Alocação dos Painéis sobre a cobertura**

Os módulos poderiam ser arranjados sobre o telhado, acrescentando-se uma pequena inclinação adicional de  $3,5^\circ$  na cabeceira, fazendo com que a inclinação suas inclinações em relação ao solo, em cada área de vão, seja de  $10,0^\circ$ , que é um valor recomendado como mínimo [CRESESB, 2008], para que haja um bom escoamento da água da chuva e lavagem natural dos módulos. A Figura 18 mostra um corte transversal parcial do Maracanã, com ilustração adicional de como seria a disposição dos módulos em cada área disponível de cada vão. A Figura 19 mostra uma vista superior das fileiras de módulos (figuras meramente ilustrativas).





**Figura 18-** Corte Transversal Parcial do Estádio do Maracanã com disposição dos módulos em cada área disponível de cada vão (meramente ilustrativo). Fonte: Maracanã (com modificações do original), 2008.



**Figura 19-** Vista superior mostrando as fileiras de módulos (meramente ilustrativo). Fonte: Maracanã (com modificações do original), 2008.

## **4.2 Área de Módulos e Quantidade de Módulos Instalados (Capacidade)**

Nem toda a área disponível para o sistema fotovoltaico pode ter alocação de painéis. É necessário que haja alguns espaços disponíveis para permitir manutenção de equipamentos tanto do SFV-Maracanã quanto os de outras funções do estádio.

Aqui, será calculada a área efetiva de geração de energia elétrica, e, como consequência, a quantidade de módulos. Daí temos a capacidade do SFV-Maracanã em kWp.

### **4.2.1 Premissas adotadas**

Para efeitos de projeto do Sistema Fotovoltaico do Maracanã, as premissas abaixo descritas serão adotadas:

- Considera-se como área disponível para alocação do SFV-Maracanã, em cada vão, a área em destaque na Figura 17, chamada  $A_{DISP}$ ;
- Da área disponível por vão ( $A_{DISP}$ ), 14% será reservado para corredores de manutenção do sistema e de outros equipamentos do estádio, o que resulta uma área efetiva de módulos de 86% da área disponível, chamada  $A_{MOD}$ ;
- Considera-se que todos os 60 vãos do estádio receberão a mesma área de módulos  $A_{MOD}$ ;
- As distâncias dos corredores de manutenção (que é a distância entre as fileiras de módulos), devido à pequena inclinação dos módulos, serão suficientes para que não haja sombreamento de uma fileira sobre a outra, tanto no início da manhã quanto no fim de tarde;

## 4.2.2 Área de Módulos

Temos 60 vãos com disposição de módulos. Cada vão tem a forma trapezoidal com medidas de 13,0m na base maior, 11,0m na base menor, e 24,98m de altura. Temos então  $A_{DISP} = 299,76m^2$ .

Como 14% desta área será reservada para espaços de manutenção, temos a área de módulos  $A_{MOD}$  igual a  $257,79m^2$ .

A área total de geração do estádio é  $A_{GER}$ .

$$A_{GER} = 60 \times 257,79m^2 \cong 15.468m^2$$

## 4.2.3 Quantidade de Módulos Instalados

A quantidade de módulos instalados dependerá do modelo escolhido. Como foi deixada como optativa a escolha do módulo, entre cinco tecnologias disponíveis (ver item “Módulos Fotovoltaicos” no capítulo 3), teremos a quantidade de módulos dependente desta escolha. Com valores típicos de área de módulo variando entre  $1,5m^2$  (policristalino) e  $0,80m^2$  (monocristalino), temos uma quantidade de módulos prevista entre 10.300 e 19.300 módulos, aproximadamente. Estes valores são apenas informativos, não influenciando no restante dos cálculos.

#### 4.2.4 Capacidade do SFV-Maracanã (em Wp)

A potência fotovoltaica instalada do SFV-Maracanã vai depender também da tecnologia utilizada para os módulos, pois está diretamente relacionada com as suas eficiências de conversão de energia.

Sabendo que a área de geração  $A_{GER}$  é de 15.468m<sup>2</sup>, a potência instalada  $P_{INST}$  é dada por [Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 2004]:

$$P_{INST} = 1000 \frac{W}{m^2} \times EFF_{STC} \times A_{GER} \quad (1)$$

Este valor é usado normalmente para comparação entre sistemas fotovoltaicos.

Para efeitos de comparação de energia gerada e injetada na rede, estamos mais interessados na potência disponível do lado CA, usando condições NOCT. Deste modo, devemos levar em consideração também a eficiência dos inversores ( $EFF_{INV}$ ), de valor típico 0,90. Chamamos esta capacidade de geração do SFV-Maracanã do lado CA de  $CAP_{CA}$ , que é calculada por

$$CAP_{CA} = 800 \frac{W}{m^2} \times EFF_{NOCT} \times A_{GER} \times EFF_{INV} \quad (2)$$

A Tabela 4 fornece os valores de potência instalada em módulos ( $P_{INST}$ ) e capacidade do lado CA ( $CAP_{CA}$ ), em função da tecnologia escolhida.

Por esta tabela, podemos observar que, usando-se módulos de silício monocristalino, conseguiríamos uma potência instalada de 2,1 MWp, e, com silício policristalino, uma potência de 1,8 MWp.

Para efeito de comparação, o maior estádio solar atualmente (2008), o Stade De Suisse, em Bern, Suíça, possui uma capacidade instalada de 1,347 MWp, 64,1% da potência do SFV-Maracanã se fossem utilizados módulos de silício monocristalino.

Tecnologia	EFF <sub>STC</sub>	P <sub>INST</sub> (MWp)	EFF <sub>NOCT</sub>	CAP <sub>CA</sub> (MWp)
m-Si	0,135	2,1	0,1242	1,4
a-Si	0,063	1,0	0,063	0,7
p-Si	0,116	1,8	0,1067	1,2
CdTe	0,069	1,1	0,0662	0,7
CIS	0,082	1,3	0,0746	0,8

**Tabela 4-** Valores de Potência Instalada em Módulos e Capacidade do lado CA do sistema SFV-Maracanã, em função da tecnologia escolhida para os módulos.

Poderíamos conseguir ganhos significativos reduzindo-se a área de manutenção, que para este cálculo, foi considerada 14% da área disponível para alocação de módulos.

### **4.3 Quantificação da Energia gerada pelo SFV-Maracanã**

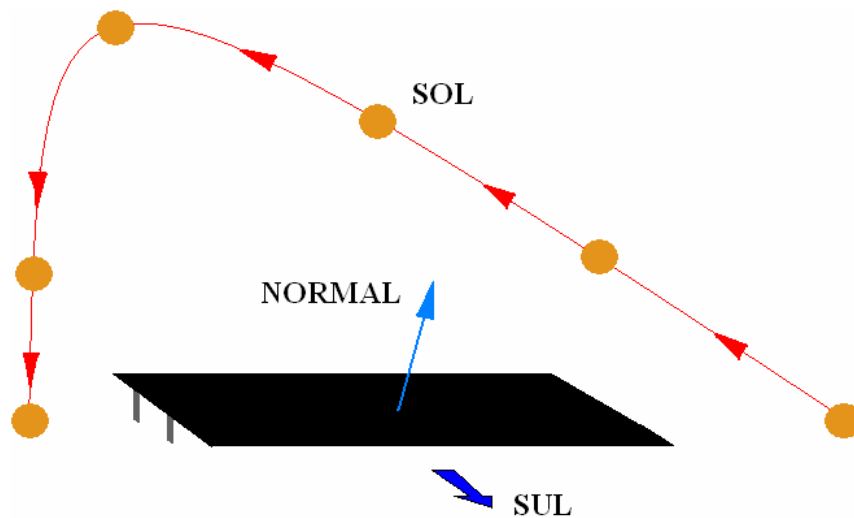
Para efeitos de quantificação da redução de consumo de energia via concessionária, e do conseqüente percentual de independência que o sistema proporciona, deve ser calculado o montante de energia gerada nos meses, e o seu somatório anual.

#### **4.3.1 Gerações Mensais e Anual**

A disposição atípica dos módulos seguindo o contorno da cobertura do estádio faz com que haja uma certa perda de energia ao longo dos dias. Esta perda acontece porque

quase todos os painéis terão desvio azimutal<sup>12</sup>, uns mais, outros menos. Esta característica será novamente considerada mais adiante.

Porém, isto não chega a ser um grande problema já que a inclinação dos módulos é de apenas 10° em relação ao solo. Esta perda é mais acentuada no inverno, pois a *altura solar* é menor. Assim os painéis orientados para o sul geográfico têm uma maior redução em seu aproveitamento energético. Este efeito é ilustrado na Figura 20.



**Figura 20-** Movimento aparente do sol no céu no inverno, reduzindo o ângulo entre os raios solares e o plano de boa parte dos painéis voltados para o sul geográfico, o que reduz o aproveitamento.

Para o cálculo da energia gerada ao longo dos meses e, por conseguinte, o somatório anual, é utilizado o programa RADIASOL<sup>13</sup>, largamente utilizado por pesquisadores e instaladores, e que nos fornece dados de radiação solar no plano inclinado respectivo a

---

<sup>12</sup> Desvio em relação ao Norte geográfico.

<sup>13</sup> Desenvolvido por pesquisadores da UFRGS, fornece informações sobre a intensidade da radiação solar em superfícies inclinadas, por meio de cálculos e uma base de dados de estações meteorológicas.

cada módulo. Os valores utilizados neste caso são da estação meteorológica da Praça XV, no centro do Rio de Janeiro, ponto disponível mais próximo do Maracanã.

Como dito anteriormente, o Maracanã possui 60 vãos e, daí, os módulos instalados em cada um destes vãos terão um determinado desvio azimutal, com exceção de apenas um vão, onde os módulos apontam para o norte geográfico.

Para o nosso estudo, podemos considerar o Maracanã com formato circular<sup>14</sup>. Sendo assim, não importa qual vão tem os painéis apontando para o norte, pois, pela simetria, para efeitos de geração total de energia, isto não fará nenhuma diferença, devido também ao fato de todos os vãos possuírem a mesma disposição de painéis relativa à sua área disponível.

Desta forma, para cada vão, será gerada uma quantidade diferente de energia ao longo do mês, denominada de  $E_{MÊS}$ . Esta quantidade é dada por

$$E_{MÊS} = G_{DMP} \times D \times A_{MOD} \times EFF_{NOCT} \times EFF_{INV} \quad (3)$$

Onde:

$G_{DMP}$  é a quantidade de radiação diária incidente no plano do painel (valor médio mensal em kWh/m<sup>2</sup>.dia);

$D$  é o número de dias do respectivo mês;

$A_{MOD}$  é a área de módulos de cada vão (igual em todos os vãos);

$EFF_{NOCT}$  é a eficiência dos módulos em condições nominais (considerando todos como sendo de silício monocristalino, de valor 0,1242);

---

<sup>14</sup> Na verdade, o Maracanã tem seu formato dado pela união de 4 trechos de círculo.

$EFF_{INV}$  é a eficiência dos inversores ( considerando um valor típico de 0,90).

O cálculo aqui será feito considerando-se a escolha do módulo de silício monocristalino, pois é o que possui maior eficiência entre os cinco apresentados.

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos para a energia gerada por cada vão, em cada mês. A tabela mostra ainda o total de energia anual para cada vão, o total de energia do sistema para cada mês, e o total anual de energia gerada pelo SFV-Maracanã.

Observa-se na Tabela 5 que, como era esperado, o vão 31, que é o vão onde os módulos estão apontando exatamente para o sul geográfico, é o vão que menos contribui anualmente, com 48,37 MWh. Da mesma forma, o vão que mais contribui para a geração do sistema é o vão 1, que tem seus módulos orientados exatamente para o norte geográfico. Este vão contribui com 51,93 MWh por ano.

Pode parecer pouca diferença, mas se levarmos em conta que são 60 vãos, a diferença no resultado final de energia gerada pelo sistema anualmente será significativa, quando comparada com cálculos aproximados, onde, por exemplo, considerem a inclinação dos módulos como zero, ou despreze os desvios azimutais, assumindo que todos os módulos apontem para uma mesma direção. O pequeno percentual de diferença dos resultados pode mascarar uma grande quantidade de energia, pois estamos trabalhando com GWh.

Essa maior exatidão nos cálculos se refletirá também nos totais gerados de cada mês, permitindo uma melhor comparação. Percebe-se que o mês com pior geração de energia é junho, com 175,13 MWh gerados pelo sistema. Em contrapartida, o mês em que foi gerada a maior quantidade de energia é janeiro, com 320,22 MWh.

Estes valores mensais de geração do sistema são obtidos por valores diários de radiação em cada mês, e estes valores diários são calculados a partir da média de radiação nos dias daquele mês considerado, durante vários anos.



VÃO	DESVIO AZIMUTAL (°)	MÊS																								TOTAL ANUAL DO VÃO (MWh)
		JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ		
		G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	
1	0	5934	5,3008	5828	4,7023	5534	4,9435	4422	3,8227	4376	3,9090	3708	3,2055	4406	3,9358	4544	4,0591	4486	3,8780	5020	4,4843	5350	4,6249	5668	5,0632	51,93
2	6	5934	5,3008	5829	4,7031	5534	4,9435	4419	3,8201	4373	3,9064	3703	3,2011	4402	3,9323	4542	4,0573	4484	3,8763	5020	4,4843	5351	4,6258	5669	5,0641	51,91
3	12	5934	5,3008	5830	4,7039	5532	4,9417	4414	3,8158	4367	3,9010	3699	3,1977	4396	3,9269	4537	4,0529	4483	3,8754	5019	4,4834	5352	4,6267	5669	5,0641	51,89
4	18	5939	5,3052	5828	4,7023	5528	4,9381	4409	3,8115	4356	3,8912	3691	3,1908	4382	3,9144	4528	4,0448	4479	3,8720	5016	4,4807	5353	4,6275	5670	5,0649	51,84
5	24	5941	5,3070	5827	4,7015	5522	4,9327	4401	3,8045	4343	3,8796	3678	3,1795	4365	3,8992	4520	4,0377	4473	3,8668	5016	4,4807	5353	4,6275	5675	5,0694	51,79
6	30	5941	5,3070	5827	4,7015	5514	4,9256	4393	3,7976	4322	3,8608	3662	3,1657	4341	3,8778	4507	4,0261	4468	3,8625	5013	4,4781	5354	4,6284	5677	5,0712	51,70
7	36	5943	5,3088	5823	4,6982	5505	4,9176	4382	3,7881	4302	3,8429	3644	3,1501	4315	3,8545	4489	4,0100	4461	3,8564	5011	4,4763	5354	4,6284	5681	5,0748	51,61
8	42	5949	5,3142	5822	4,6974	5496	4,9095	4370	3,7777	4277	3,8206	3620	3,1294	4285	3,8277	4467	3,9903	4452	3,8486	5007	4,4727	5356	4,6301	5683	5,0766	51,49
9	48	5952	5,3169	5818	4,6942	5486	4,9006	4357	3,7665	4250	3,7965	3596	3,1086	4250	3,7965	4445	3,9707	4445	3,8426	5002	4,4682	5355	4,6293	5690	5,0828	51,37
10	54	5955	5,3195	5815	4,6918	5472	4,8881	4339	3,7509	4217	3,7670	3568	3,0844	4212	3,7625	4421	3,9492	4433	3,8322	4999	4,4656	5359	4,6327	5693	5,0855	51,23
11	60	5961	5,3249	5812	4,6894	5462	4,8791	4323	3,7371	4184	3,7375	3540	3,0602	4172	3,7268	4393	3,9242	4423	3,8236	4994	4,4611	5359	4,6327	5697	5,0891	51,09
12	66	5964	5,3276	5808	4,6861	5445	4,8640	4304	3,7207	4149	3,7063	3506	3,0308	4129	3,6884	4366	3,9001	4411	3,8132	4986	4,4539	5358	4,6318	5704	5,0953	50,92
13	72	5968	5,3311	5803	4,6821	5431	4,8515	4285	3,7043	4111	3,6723	3478	3,0066	4080	3,6446	4335	3,8724	4399	3,8028	4982	4,4504	5359	4,6327	5708	5,0989	50,75
14	78	5973	5,3356	5799	4,6789	5415	4,8372	4264	3,6861	4074	3,6393	3443	2,9764	4033	3,6026	4303	3,8438	4385	3,7907	4975	4,4441	5363	4,6362	5713	5,1034	50,57
15	84	5977	5,3392	5795	4,6756	5399	4,8229	4244	3,6688	4033	3,6026	3410	2,9479	3988	3,5624	4270	3,8143	4372	3,7795	4971	4,4405	5361	4,6344	5719	5,1087	50,40
16	90	5980	5,3419	5789	4,6708	5383	4,8086	4222	3,6498	3995	3,5687	3375	2,9176	3938	3,5178	4239	3,7867	4357	3,7665	4964	4,4343	5362	4,6353	5722	5,1114	50,21
17	96	5983	5,3445	5783	4,6660	5364	4,7916	4202	3,6325	3954	3,5321	3341	2,8882	3889	3,4740	4207	3,7581	4343	3,7544	4956	4,4271	5362	4,6353	5726	5,1150	50,02
18	102	5988	5,3490	5781	4,6644	5348	4,7773	4180	3,6135	3916	3,4981	3308	2,8597	3842	3,4320	4174	3,7286	4329	3,7423	4949	4,4209	5361	4,6344	5730	5,1185	49,84
19	108	5989	5,3499	5773	4,6579	5330	4,7612	4159	3,5953	3875	3,4615	3272	2,8286	3796	3,3909	4141	3,6991	4316	3,7311	4944	4,4164	5364	4,6370	5733	5,1212	49,65
20	114	5993	5,3535	5767	4,6531	5315	4,7478	4140	3,5789	3840	3,4302	3242	2,8026	3748	3,3480	4109	3,6705	4301	3,7181	4939	4,4120	5362	4,6353	5738	5,1257	49,48
21	120	5994	5,3544	5762	4,6490	5299	4,7335	4119	3,5608	3804	3,3981	3211	2,7758	3707	3,3114	4082	3,6464	4289	3,7077	4932	4,4057	5364	4,6370	5739	5,1266	49,31
22	126	5996	5,3562	5758	4,6458	5284	4,7201	4101	3,5452	3770	3,3677	3183	2,7516	3665	3,2739	4053	3,6205	4277	3,6974	4925	4,3994	5361	4,6344	5744	5,1311	49,14

Tabela 5- Energia gerada anualmente por cada vão, energia total em cada mês, e energia gerada anualmente pelo SFV-Maracanã.

VÃO	DESVIO AZIMUTAL (°)	MÊS																								TOTAL ANUAL DO VÃO (MWh)
		JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ		
		G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	
23	132	5999	5,3588	5754	4,6426	5267	4,7050	4084	3,5305	3740	3,3409	3156	2,7283	3627	3,2400	4027	3,5973	4264	3,6861	4920	4,3950	5360	4,6336	5747	5,1337	48,99
24	138	5999	5,3588	5748	4,6377	5254	4,6933	4067	3,5158	3712	3,3159	3132	2,7075	3594	3,2105	4001	3,5740	4252	3,6757	4914	4,3896	5360	4,6336	5748	5,1346	48,85
25	144	6002	5,3615	5744	4,6345	5244	4,6844	4054	3,5046	3687	3,2936	3111	2,6894	3563	3,1828	3979	3,5544	4244	3,6688	4910	4,3860	5361	4,6344	5750	5,1364	48,73
26	150	6001	5,3606	5741	4,6321	5235	4,6764	4042	3,4942	3663	3,2721	3093	2,6738	3536	3,1587	3961	3,5383	4235	3,6610	4906	4,3825	5359	4,6327	5754	5,1400	48,62
27	156	6000	5,3597	5737	4,6288	5225	4,6674	4031	3,4847	3647	3,2578	3079	2,6617	3513	3,1381	3947	3,5258	4227	3,6541	4902	4,3789	5360	4,6336	5755	5,1409	48,53
28	162	6002	5,3615	5736	4,6280	5217	4,6603	4023	3,4778	3633	3,2453	3064	2,6487	3497	3,1238	3932	3,5124	4223	3,6507	4898	4,3753	5359	4,6327	5756	5,1418	48,46
29	168	6005	5,3642	5735	4,6272	5213	4,6567	4017	3,4726	3622	3,2355	3056	2,6418	3485	3,1131	3923	3,5044	4219	3,6472	4898	4,3753	5360	4,6336	5755	5,1409	48,41
30	174	6004	5,3633	5735	4,6272	5210	4,6540	4012	3,4683	3618	3,2319	3051	2,6375	3478	3,1069	3918	3,4999	4219	3,6472	4897	4,3744	5358	4,6318	5756	5,1418	48,38
31	180	6002	5,3615	5734	4,6264	5208	4,6522	4012	3,4683	3614	3,2283	3052	2,6384	3474	3,1033	3918	3,4999	4216	3,6446	4896	4,3735	5358	4,6318	5758	5,1436	48,37
32	-174	6004	5,3633	5735	4,6272	5210	4,6540	4012	3,4683	3618	3,2319	3051	2,6375	3478	3,1069	3918	3,4999	4219	3,6472	4897	4,3744	5358	4,6318	5756	5,1418	48,38
33	-168	6005	5,3642	5735	4,6272	5213	4,6567	4017	3,4726	3622	3,2355	3056	2,6418	3485	3,1131	3923	3,5044	4219	3,6472	4898	4,3753	5360	4,6336	5755	5,1409	48,41
34	-162	6002	5,3615	5736	4,6280	5217	4,6603	4023	3,4778	3633	3,2453	3064	2,6487	3497	3,1238	3932	3,5124	4223	3,6507	4898	4,3753	5359	4,6327	5756	5,1418	48,46
35	-156	6000	5,3597	5737	4,6288	5225	4,6674	4031	3,4847	3647	3,2578	3079	2,6617	3513	3,1381	3947	3,5258	4227	3,6541	4902	4,3789	5360	4,6336	5755	5,1409	48,53
36	-150	6001	5,3606	5741	4,6321	5235	4,6764	4042	3,4942	3663	3,2721	3093	2,6738	3536	3,1587	3961	3,5383	4235	3,6610	4906	4,3825	5359	4,6327	5754	5,1400	48,62
37	-144	6002	5,3615	5744	4,6345	5244	4,6844	4054	3,5046	3687	3,2936	3111	2,6894	3563	3,1828	3979	3,5544	4244	3,6688	4910	4,3860	5361	4,6344	5750	5,1364	48,73
38	-138	5999	5,3588	5748	4,6377	5254	4,6933	4067	3,5158	3712	3,3159	3132	2,7075	3594	3,2105	4001	3,5740	4252	3,6757	4914	4,3896	5360	4,6336	5748	5,1346	48,85
39	-132	5999	5,3588	5754	4,6426	5267	4,7050	4084	3,5305	3740	3,3409	3156	2,7283	3627	3,2400	4027	3,5973	4264	3,6861	4920	4,3950	5360	4,6336	5747	5,1337	48,99
40	-126	5996	5,3562	5758	4,6458	5284	4,7201	4101	3,5452	3770	3,3677	3183	2,7516	3665	3,2739	4053	3,6205	4277	3,6974	4925	4,3994	5361	4,6344	5744	5,1311	49,14
41	-120	5994	5,3544	5762	4,6490	5299	4,7335	4119	3,5608	3804	3,3981	3211	2,7758	3707	3,3114	4082	3,6464	4289	3,7077	4932	4,4057	5364	4,6370	5739	5,1266	49,31
42	-114	5993	5,3535	5767	4,6531	5315	4,7478	4140	3,5789	3840	3,4302	3242	2,8026	3748	3,3480	4109	3,6705	4301	3,7181	4939	4,4120	5362	4,6353	5738	5,1257	49,48
43	-108	5989	5,3499	5773	4,6579	5330	4,7612	4159	3,5953	3875	3,4615	3272	2,8286	3796	3,3909	4141	3,6991	4316	3,7311	4944	4,4164	5364	4,6370	5733	5,1212	49,65
44	-102	5988	5,3490	5781	4,6644	5348	4,7773	4180	3,6135	3916	3,4981	3308	2,8597	3842	3,4320	4174	3,7286	4329	3,7423	4949	4,4209	5361	4,6344	5730	5,1185	49,84

Tabela 5 (continuação)- Energia gerada anualmente por cada vão, energia total em cada mês, e energia gerada anualmente pelo SFV-Maracanã.

VÃO	DESVIO AZIMUTAL (°)	MÊS																								TOTAL ANUAL DO VÃO (MWh)
		JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ		
		G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	G <sub>DMP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	E <sub>MÊS</sub> (MWh)	
45	-96	5983	5,3445	5783	4,6660	5364	4,7916	4202	3,6325	3954	3,5321	3341	2,8882	3889	3,4740	4207	3,7581	4343	3,7544	4956	4,4271	5362	4,6353	5726	5,1150	50,02
46	-90	5980	5,3419	5789	4,6708	5383	4,8086	4222	3,6498	3995	3,5687	3375	2,9176	3938	3,5178	4239	3,7867	4357	3,7665	4964	4,4343	5362	4,6353	5722	5,1114	50,21
47	-84	5977	5,3392	5795	4,6756	5399	4,8229	4244	3,6688	4033	3,6026	3410	2,9479	3988	3,5624	4270	3,8143	4372	3,7795	4971	4,4405	5361	4,6344	5719	5,1087	50,40
48	-78	5973	5,3356	5799	4,6789	5415	4,8372	4264	3,6861	4074	3,6393	3443	2,9764	4033	3,6026	4303	3,8438	4385	3,7907	4975	4,4441	5363	4,6362	5713	5,1034	50,57
49	-72	5968	5,3311	5803	4,6821	5431	4,8515	4285	3,7043	4111	3,6723	3478	3,0066	4080	3,6446	4335	3,8724	4399	3,8028	4982	4,4504	5359	4,6327	5708	5,0989	50,75
50	-66	5964	5,3276	5808	4,6861	5445	4,8640	4304	3,7207	4149	3,7063	3506	3,0308	4129	3,6884	4366	3,9001	4411	3,8132	4986	4,4539	5358	4,6318	5704	5,0953	50,92
51	-60	5961	5,3249	5812	4,6894	5462	4,8791	4323	3,7371	4184	3,7375	3540	3,0602	4172	3,7268	4393	3,9242	4423	3,8236	4994	4,4611	5359	4,6327	5697	5,0891	51,09
52	-54	5955	5,3195	5815	4,6918	5472	4,8881	4339	3,7509	4217	3,7670	3568	3,0844	4212	3,7625	4421	3,9492	4433	3,8322	4999	4,4656	5359	4,6327	5693	5,0855	51,23
53	-48	5952	5,3169	5818	4,6942	5486	4,9006	4357	3,7665	4250	3,7965	3596	3,1086	4250	3,7965	4445	3,9707	4445	3,8426	5002	4,4682	5355	4,6293	5690	5,0828	51,37
54	-42	5949	5,3142	5822	4,6974	5496	4,9095	4370	3,7777	4277	3,8206	3620	3,1294	4285	3,8277	4467	3,9903	4452	3,8486	5007	4,4727	5356	4,6301	5683	5,0766	51,49
55	-36	5943	5,3088	5823	4,6982	5505	4,9176	4382	3,7881	4302	3,8429	3644	3,1501	4315	3,8545	4489	4,0100	4461	3,8564	5011	4,4763	5354	4,6284	5681	5,0748	51,61
56	-30	5941	5,3070	5827	4,7015	5514	4,9256	4393	3,7976	4322	3,8608	3662	3,1657	4341	3,8778	4507	4,0261	4468	3,8625	5013	4,4781	5354	4,6284	5677	5,0712	51,70
57	-24	5941	5,3070	5827	4,7015	5522	4,9327	4401	3,8045	4343	3,8796	3678	3,1795	4365	3,8992	4520	4,0377	4473	3,8668	5016	4,4807	5353	4,6275	5675	5,0694	51,79
58	-18	5939	5,3052	5828	4,7023	5528	4,9381	4409	3,8115	4356	3,8912	3691	3,1908	4382	3,9144	4528	4,0448	4479	3,8720	5016	4,4807	5353	4,6275	5670	5,0649	51,84
59	-12	5934	5,3008	5830	4,7039	5532	4,9417	4414	3,8158	4367	3,9010	3699	3,1977	4396	3,9269	4537	4,0529	4483	3,8754	5019	4,4834	5352	4,6267	5669	5,0641	51,89
60	-6	5934	5,3008	5829	4,7031	5534	4,9435	4419	3,8201	4373	3,9064	3703	3,2011	4402	3,9323	4542	4,0573	4484	3,8763	5020	4,4843	5351	4,6258	5669	5,0641	51,91
<b>TOTAL DO MÊS (MWh)</b>			<b>320,22</b>		<b>280,07</b>		<b>288,17</b>		<b>218,84</b>		<b>214,08</b>		<b>175,13</b>		<b>211,12</b>		<b>226,98</b>		<b>225,82</b>		<b>265,88</b>		<b>277,93</b>		<b>306,42</b>	<b>TOTAL ANUAL (GWh)</b>

Tabela 5 (continuação)- Energia gerada anualmente por cada vão, energia total em cada mês, e energia gerada anualmente pelo SFV-Maracanã.

Por último, vemos que o SFV-Maracanã conseguiria gerar durante um ano inteiro 3,011 GWh de energia.

Para efeito de comparação, lembremos que o maior estádio solar até o presente ano (Stade De Suisse) consegue gerar uma energia de 1,134 GWh anualmente, segundo publicado por seus mantenedores. O SFV-Maracanã conseguiria então uma quantidade de energia quase três vezes maior do que o Stade De Suisse a cada ano, se tornando, de longe, o maior estádio solar do mundo.

#### **4.3.2 Representatividade da geração no consumo do Maracanã**

O consumo médio anual do Maracanã pode ser determinado a partir de suas curvas de carga típicas, para dias de evento e dias normais. Estas curvas estão mostradas na Figura 21.

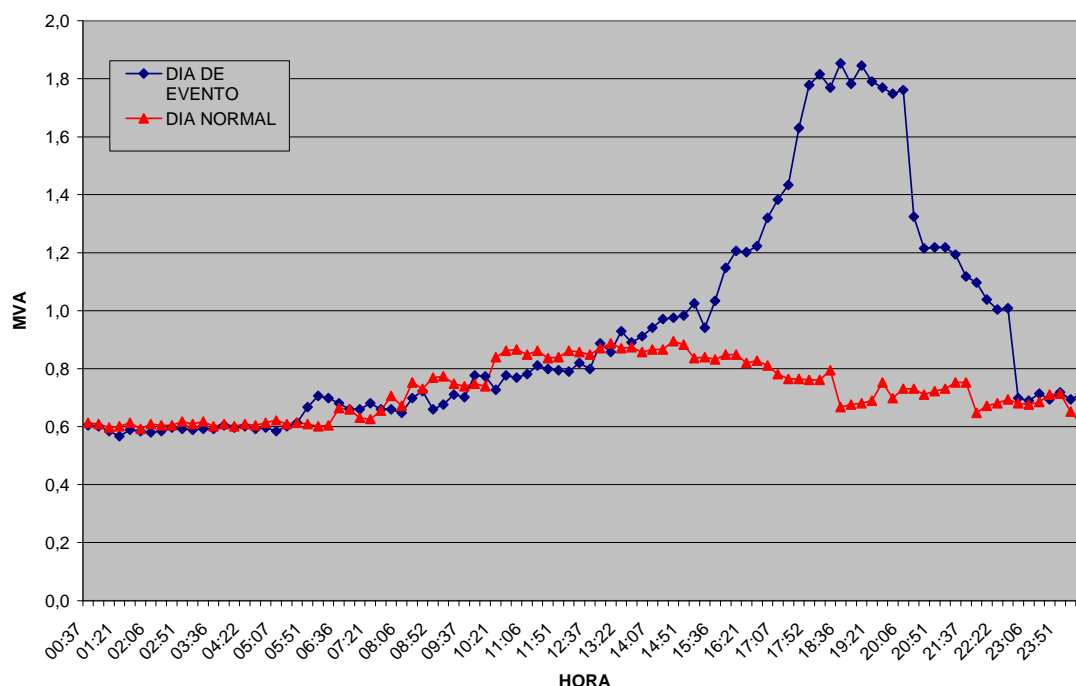
Para os dias de evento, traçamos valores médios de potência consumida para determinados intervalos de tempo. Se multiplicarmos estes valores médios pelos seus respectivos períodos de observação, teremos a energia consumida neste período. O que foi feito nada mais é do que a integração numérica da curva de carga para dias de evento, com passos relativamente grandes. O mesmo foi feito para a curva de carga típica de dias normais.

Com isto, temos valores médios de energia consumida ao longo de um dia normal e de um dia de evento.

Supondo 176 dias de evento por ano (tipicamente 4 por semana em 11 meses), o valor de consumo anual do Maracanã é estimado em aproximadamente 7,1 GWh.

Portanto, o SFV-Maracanã conseguiria gerar uma energia anual que corresponderia a 42,4% do consumo do estádio.

### CURVA DE CARGA TÍPICA DO MARACANÃ



**Figura 21-** Curvas de Carga típicas do Maracanã, para dias de evento e dias normais. Fonte: Adaptado a partir de dados de consumo.

A princípio, quando se fala em injetar a sobra de potência na rede, pode parecer que o estádio seria auto-suficiente em energia, e que ainda sobraria para fornecer à rede. Na verdade, deve-se pensar de forma instantânea. Por exemplo, em horários como 11:00h ou 13:00h, a potência gerada no estádio atenderia suas necessidades e ainda sobraria para ser injetada na rede. Já em qualquer horário da noite, obviamente o SFV-Maracanã não geraria nada, e toda a potência consumida no estádio viria da rede.

Assim, em um somatório anual de energia, vemos que, gerando menos da metade da energia que consome, o estádio ainda seria muito dependente da concessionária. Entretanto, são inegáveis os benefícios que um sistema como este traria. Muitos serão apresentados mais adiante.

## **CAPÍTULO 5 - Estudos de Viabilidade do Projeto**

Será analisado neste capítulo qual o impacto que o SFV-Maracanã poderia ter na rede de distribuição, tentando argumentar sobre questões que viabilizem tecnicamente o projeto. Em relação à parte econômica, veremos em qual ordem de grandeza pode ficar um investimento deste porte, e se ele seria atrativo aos investidores.

### ***5.1 Influência do SFV-Maracanã na Rede de Distribuição***

Para que se tenha a “simpatia” vinda de todos os lados quando da implementação de um projeto deste tipo, é preciso que se demonstre claramente a cada agente envolvido o que se pode esperar em relação à sua área de atuação.

As concessionárias de energia vêm claramente demonstrando uma certa posição de defesa com relação aos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, mesmo diante de tantas evidências de benefícios a todas as partes. Isto muitas vezes ocorre principalmente por desconhecimento da tecnologia, pois há uma tendência natural do ser humano em não mudar, em ficar estagnado, em “deixar tudo como está”. Mais tarde, geralmente vê-se que a novidade de fato traz grandes ganhos para todos, e daí sua disseminação se faz naturalmente.

Dessa forma, cabe aos especialistas no assunto geração fotovoltaica a demonstração dos ganhos que todos os envolvidos no processo podem ter, sempre de maneira clara e concisa.

Um investimento deve valer a pena sobre diversos pontos de vista, inclusive o financeiro, o qual será comentado mais adiante. Neste ponto do texto veremos os benefícios que o SFV-Maracanã poderá trazer para a concessionária de energia.

Uma das grandes vantagens de um sistema de geração distribuída (como é o caso do SFV-Maracanã), é a possibilidade de *Gerenciamento pelo Lado da Demanda* (GLD).

A geração distribuída pode, dessa forma, contribuir para uma redução dos valores mais altos da curva de carga, buscando uma linearização desta curva, utilizando a sobra da energia gerada durante o dia pelo estádio para injetar diretamente nos consumidores ao redor. Neste caso, isto traz grande vantagem devido à proximidade entre geração e carga.

Veremos até que ponto isto poderia ser conseguido com o SFV-Maracanã e os consumidores da região do entorno do estádio.

### **5.1.1 Alimentação do Maracanã**

A alimentação de energia elétrica é feita pela concessionária para todo o *Complexo Esportivo do Maracanã* (Estádio Mário Filho (Maracanã), Ginásio Gilberto Cardoso (Maracanãzinho), Parque Aquático Júlio Delamare e Estádio Olímpico Célio de Barros).

Existe uma subestação (SE) central que recebe a alimentação da concessionária, vinda por meio de dois alimentadores. A SE central está localizada sob uma das rampas de entrada do estádio de futebol, a da Avenida Maracanã (Rampa do Bellini). Sobre os alimentadores, temos um principal e um reserva.

Para este trabalho, chamaremos de “SE Principal” e “SE Reserva” as subestações as quais estão ligados os respectivos alimentadores.

Chamaremos também o alimentador principal de “LS2PJ” e o reserva de “LA2RB”.

## 5.1.2 Fluxos de Potência quando da sobra de geração pelo SFV-Maracanã

Analisaremos aqui como deve fluir pela configuração do sistema a potência gerada pelo SFV-Maracanã que eventualmente venha a sobrar (o complexo esportivo ainda apresenta altos consumos mesmo durante um dia sem jogos ou outros eventos).

O circuito LS2PJ (principal) vem por rede subterrânea desde a SE Principal. Esta SE possui dois transformadores de 40 MVA, tendo uma capacidade de atendimento, portanto, de 80 MVA. A seção 5 do barramento de 13,8 kV da SE Principal, da qual parte o circuito LS2PJ, é alimentada por um dos transformadores de 40 MVA, juntamente com as seções 6, 7 e 8. A Figura 22 mostra o detalhe da seção 5 do barramento de 13,8 kV, com o circuito de saída LS2PJ.

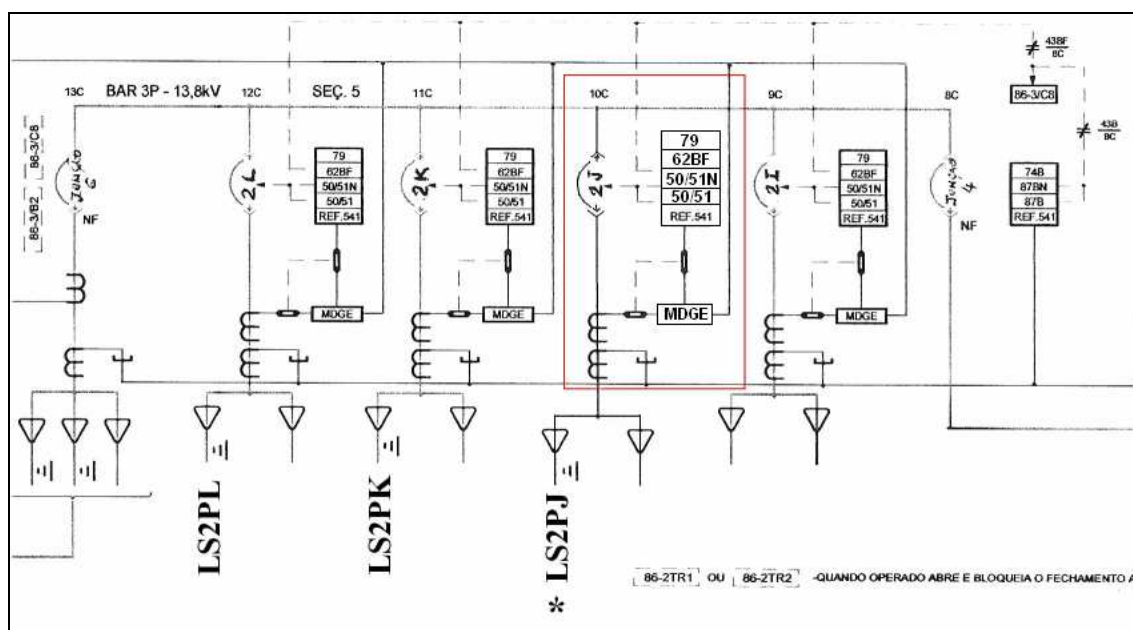


Figura 22- Saída do circuito LS2PJ da SE Principal. Seção 5 do barramento de 13,8 kV.

Este circuito é exclusivo para atendimento do Maracanã, portanto não existem outras cargas no caminho entre a SE Principal e a SE do Maracanã. Assim, vemos que, em momentos de sobra de energia gerada pelo estádio, o fluxo de potência estaria entrando na seção 5 do barramento da SE Principal pelo circuito LS2PJ, e se distribuindo para as

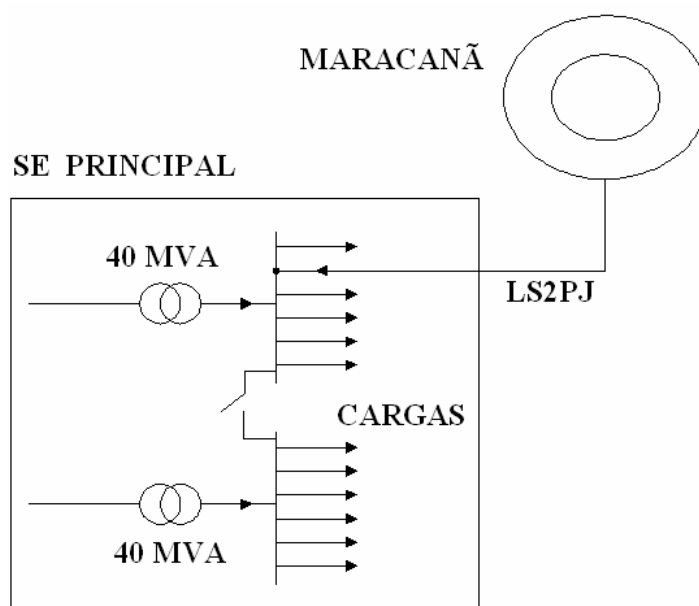


demais linhas de saída dos barramentos da SE Principal. Isto é claro, faria ser necessária uma modificação nos sistemas de proteção e medição do circuito LS2PJ.

Percebemos, então, que teríamos duas fontes de energia abastecendo as seções 5, 6, 7, e 8 da SE Principal: o transformador de 40 MVA, e o SFV-Maracanã.

Se considerarmos o SFV-Maracanã com 2,1 MWp (m-Si), e um fator de potência demandado de 0,92, teremos sua capacidade de até 2,3 MVA (com a maioria da geração consumida internamente).

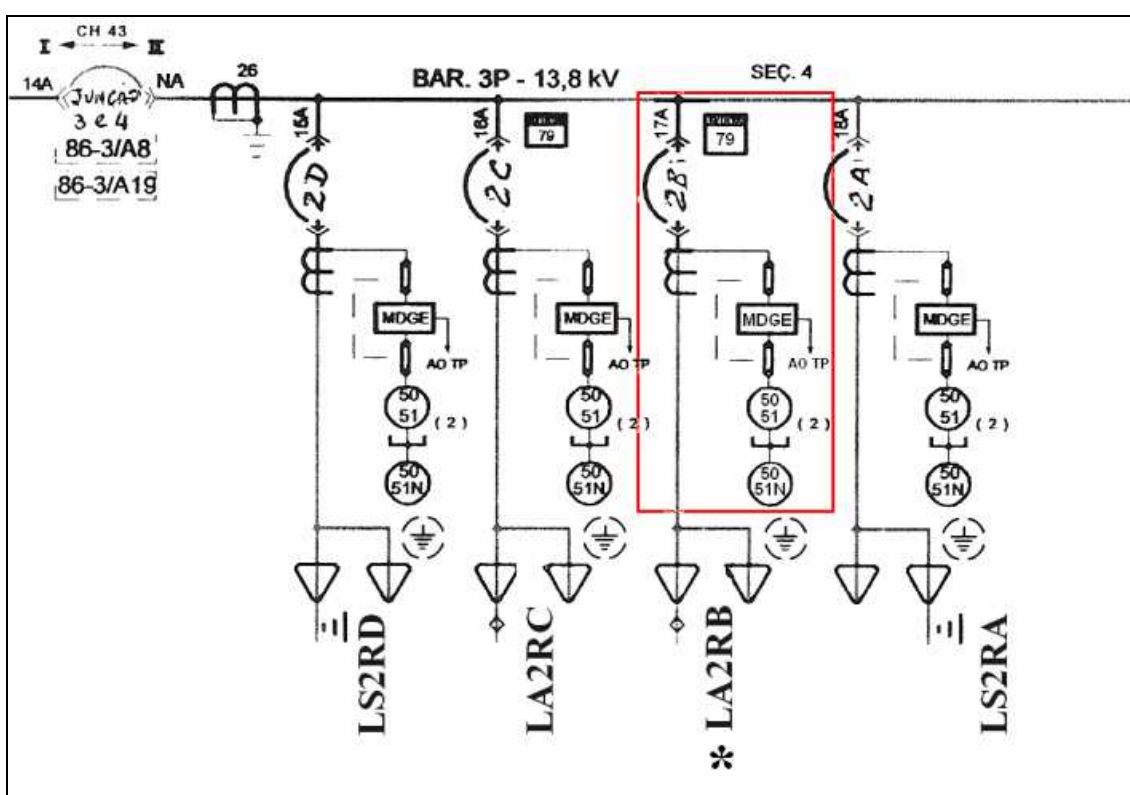
Pelo exposto anteriormente, o SFV-Maracanã forneceria potência no mesmo ponto de um transformador de 40 MVA (na SE Principal). As duas fontes de energia estariam equidistantes das cargas, o que poderia desfavorecer a entrega de potência do SFV-Maracanã diante do transformador, pois competiria com uma geração forte da concessionária de elevada potência. Seriam necessárias modificações no sistema de alimentação principal do Maracanã. A Figura 23 mostra um diagrama desta situação.



**Figura 23-** Diagrama esquemático mostrando o fluxo de potência das duas fontes (transformador de 40 MVA da SE Principal e SFV-Maracanã) para as cargas.

Já para o caso da SE Reserva, esta alimenta o Maracanã pelo circuito predominantemente aéreo LA2RB. Esta SE possui três transformadores de 40 MVA, totalizando 120 MVA de capacidade. A linha LA2RB está ligada na seção 4 do barramento de 13,8 kV, conforme mostra a Figura 24. Um dos transformadores de 40 MVA alimenta as seções 4, 5 e 6 do barramento.

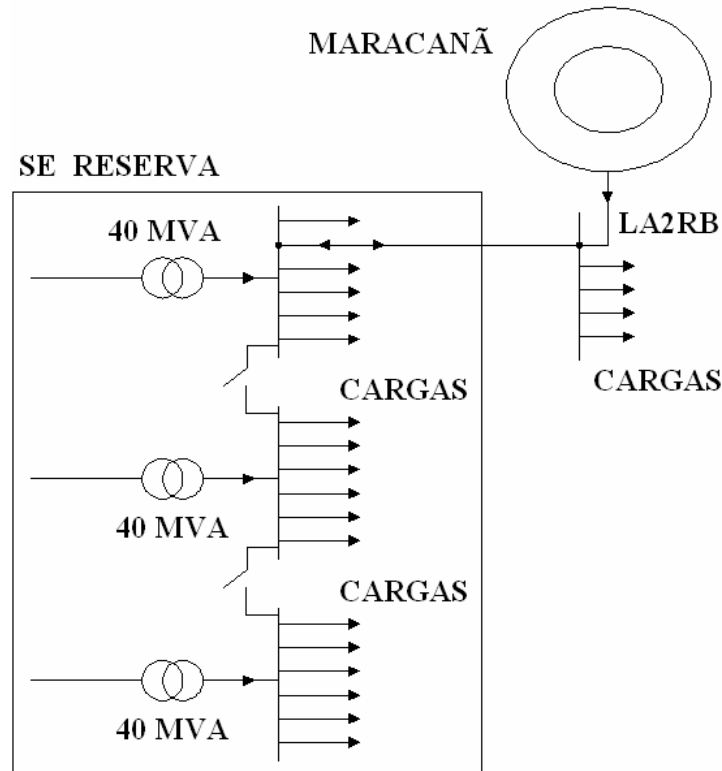
Diferentemente do primeiro caso, o circuito LA2RB possui outras cargas além do Maracanã. Em tempo, este circuito só alimenta o Maracanã em caso de falta da alimentação principal, ou em casos de manutenção.



**Figura 24-** Saída do circuito LA2RB da SE Reserva. Seção 4 do barramento de 13,8 kV.

Assim, temos agora cargas no caminho entre a SE Reserva e a SE do Maracanã. O estádio, como planta geradora (energia de sobra), encontraria cargas próximas na rede de distribuição para consumir a potência a ela fornecida.

A Figura 25 mostra um diagrama esquemático do fluxo de potência se a alimentação for feita pelo circuito LA2RB. Para potências como esta, a conexão com a rede de distribuição deve ser feita em alta tensão.



**Figura 25-** Diagrama esquemático da segunda situação, mostrando o fluxo de potência das duas fontes (transformador de 40 MVA da SE Reserva e SFV-Maracanã) para as cargas.

Um estudo mais detalhado de caso seria preciso num momento posterior. O que queria ser demonstrado aqui é a necessidade de reformulação nos circuitos de alimentação do estádio numa eventual implementação de uma planta geradora fotovoltaica, inclusive com um sistema mais aprimorado de proteção e medição na interface entre a rede de distribuição e o Maracanã.

### 5.1.3 Redução na Curva de Carga

Mais uma vez os módulos escolhidos serão os de silício monocristalino, neste estudo de redução na curva de carga da região, pois, o que se quer, é apenas dar uma ordem de grandeza do quanto pode-se aliviar a rede com o uso de uma planta de geração distribuída no Maracanã. Por isso, vamos aqui considerar 4 “fatias” da cobertura, e não 60, como fizemos no item 4.3.1. Para um estudo do qual queremos, uma pequena diferença na potência seria registrada se considerarmos os módulos nas posições reais (como no item 4.3.1). Cada fatia está apontando para um eixo geográfico: norte, sul, leste e oeste. Desta forma, consideramos que os módulos dispostos em cada fatia (15 vãos) têm inclinação de 10° com a horizontal, e apontam respectivamente para seus eixos geográficos. Os erros podem ser bem reduzidos com esta aproximação.

Com a ajuda do programa RADIASOL, obtemos os valores médios de radiação por dia, na base horária, em cada mês, e para cada uma das 4 fatias descritas anteriormente. Assim, cada fatia terá 12 gráficos, um pra cada mês. Considerando que queremos a geração total do estádio, para cada mês, as curvas de geração de cada fatia serão somadas. Em resumo, teremos 12 curvas de geração diária média para o SFV-Maracanã, uma para cada mês do ano. Estas curvas podem ser vistas em um mesmo gráfico na Figura 26, e serão usadas para a determinação da redução da curva de carga da região do Maracanã. Os valores das respectivas curvas da Figura 26 encontram-se disponíveis na Tabela 6. Observamos que a maior geração ocorre no mês de fevereiro, com pico pouco acima de 1,3 MW, seguido de março, dezembro, novembro e janeiro. A menor geração ocorre no mês de junho, com pico de 0,93 MW.

O Maracanã está localizado numa região do Rio de Janeiro chamada de Grande Tijuca. A Figura 27 mostra os bairros e sub-bairros que compõem esta região.

A Grande Tijuca é uma área com características não comuns, pois sua curva de carga possui um misto quanto ao seu tipo: residencial e comercial. Possui a grande maioria de imóveis como residências, porém seu comércio é muito desenvolvido, contando com vários shopping centers, universidades, escolas, prédios comerciais, galerias,

### GERAÇÃO SFV-MARACANÃ

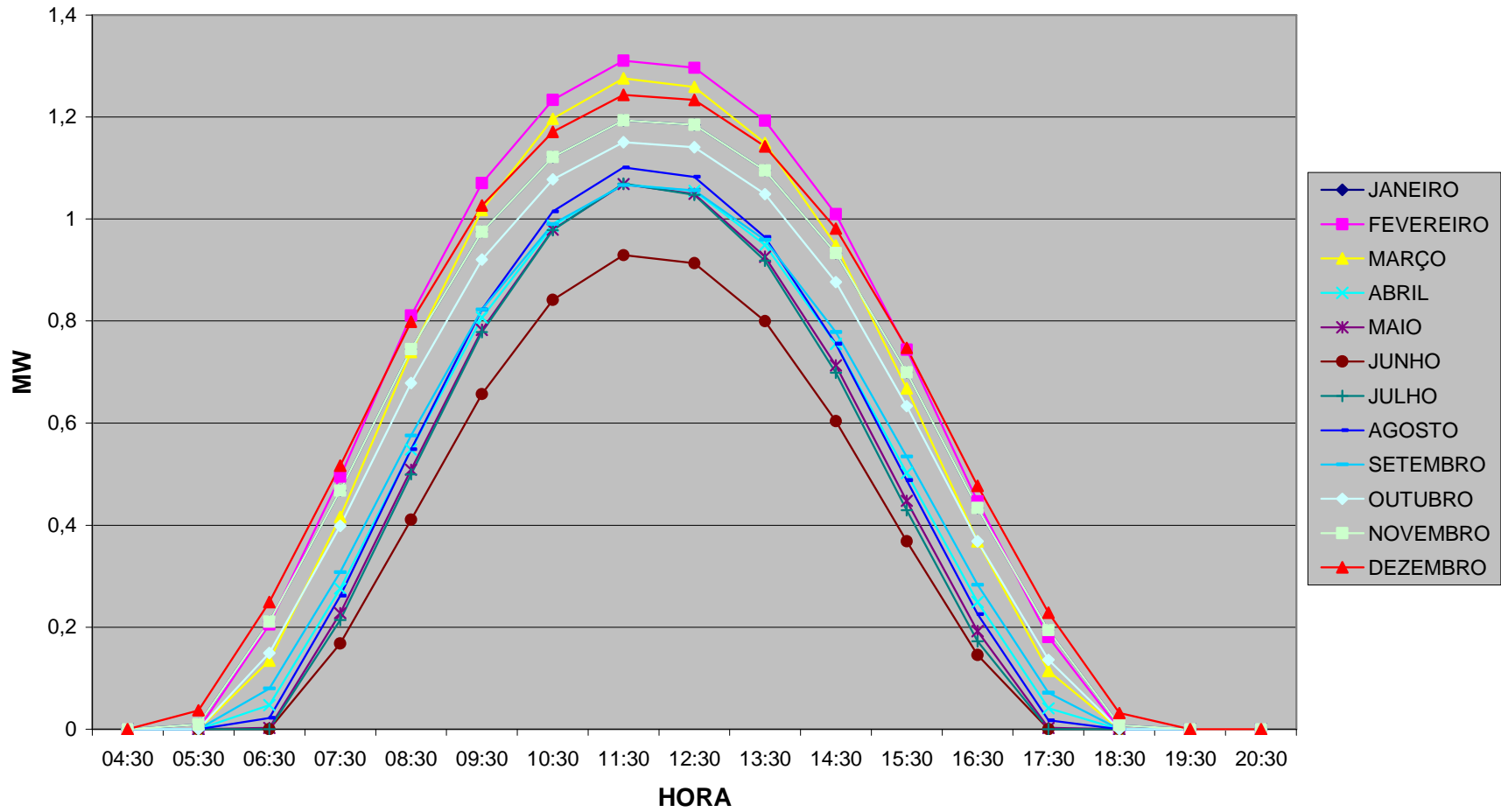


Figura 26- Geração de potência do SFV-Maracanã ao longo do dia, para cada mês.

HORA	GERAÇÃO ( MW )											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
04:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
05:30	0,026406	0,000173	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0092	0,0372
06:30	0,252976	0,205399	0,134229	0,0475	0,0024	0,0000	0,0000	0,0220	0,0796	0,1490	0,2106	0,2493
07:30	0,538488	0,494954	0,416244	0,2756	0,2276	0,1680	0,2141	0,2613	0,3076	0,3984	0,4677	0,5164
08:30	0,840739	0,811178	0,739164	0,5482	0,5088	0,4106	0,4997	0,5486	0,5754	0,6786	0,7452	0,7987
09:30	1,082674	1,070736	1,01776	0,8069	0,7830	0,6567	0,7785	0,8231	0,8226	0,9209	0,9748	1,0267
10:30	1,234664	1,23343	1,196666	0,9870	0,9793	0,8414	0,9785	1,0149	0,9905	1,0778	1,1218	1,1710
11:30	1,309755	1,310455	1,275726	1,0686	1,0687	0,9293	1,0696	1,1011	1,0668	1,1508	1,1938	1,2433
12:30	1,29726	1,296623	1,25938	1,0553	1,0494	0,9136	1,0474	1,0831	1,0561	1,1410	1,1847	1,2334
13:30	1,199299	1,193405	1,149435	0,9495	0,9263	0,7995	0,9182	0,9647	0,9593	1,0487	1,0951	1,1426
14:30	1,027505	1,009359	0,948288	0,7553	0,7129	0,6039	0,6986	0,7552	0,7784	0,8768	0,9332	0,9814
15:30	0,778497	0,744268	0,668356	0,5022	0,4478	0,3682	0,4294	0,4880	0,5342	0,6332	0,6993	0,7475
16:30	0,490235	0,446025	0,368462	0,2490	0,1921	0,1453	0,1725	0,2255	0,2830	0,3681	0,4341	0,4771
17:30	0,227121	0,180761	0,114425	0,0411	0,0024	0,0000	0,0000	0,0174	0,0716	0,1358	0,1939	0,2285
18:30	0,021533	0,000173	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0081	0,0317
19:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20:30	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

**Tabela 6-** Geração de potência do SFV-Maracanã ao longo do dia, para cada mês.

comércio de rua, hospitais etc. Enfim, consegue unir características de bairro residencial com características de bairro comercial. Isto pode ser observado nas Figuras 28 e 29.

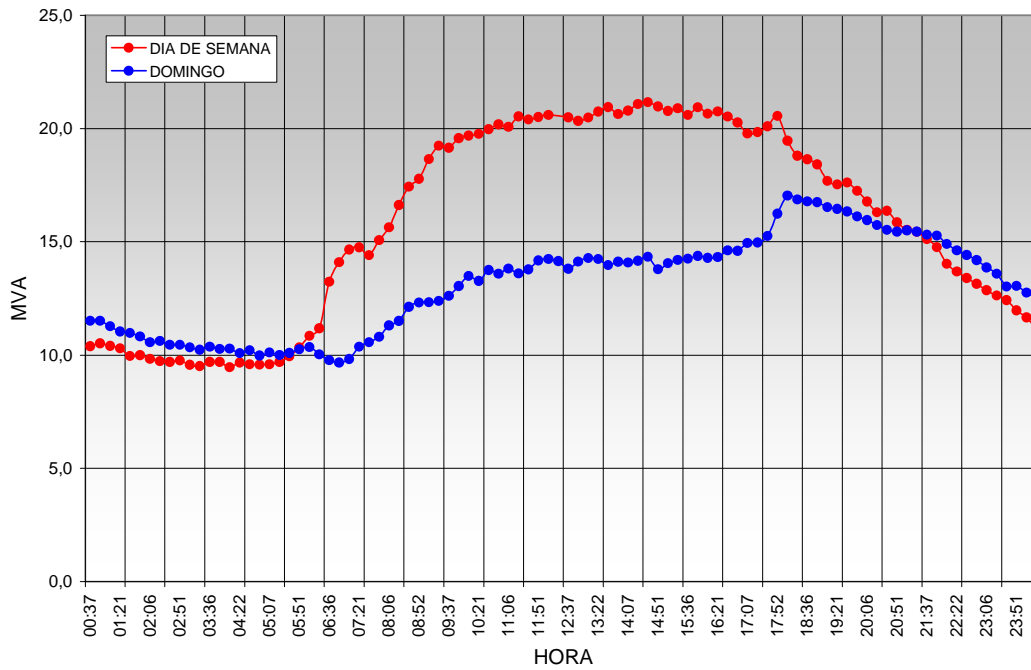


**Figura 27-** Região da Grande Tijuca com seus bairros e sub-bairros.  
Fonte: Internet, 2008.

Mesmo assim, vemos por estas figuras que uma curva típica de área comercial ainda predomina, e isto é o ideal para absorver a energia gerada durante o dia pelo SFV-Maracanã que não for internamente consumida pelo estádio.

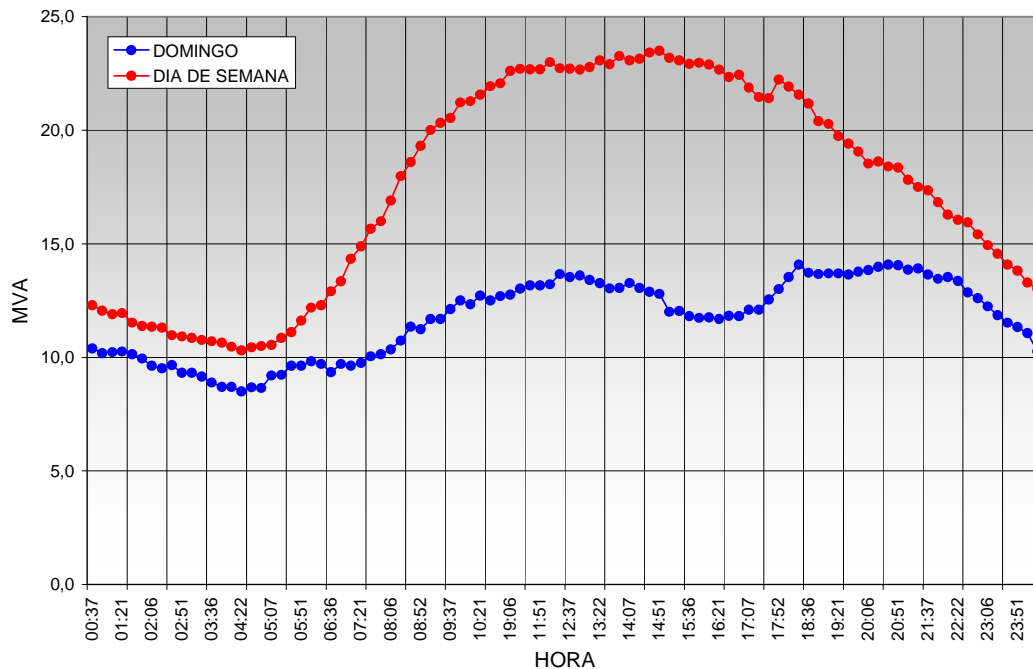
Na Figura 28, vemos a curva de carga típica da SE Principal de nosso estudo, tanto para dias de semana quanto para domingos. Vemos que em dias de semana seu comportamento é como de região comercial ou industrial. Já nos domingos, apresenta um comportamento típico de região residencial. As curvas mostradas na Figura 28 referem-se à demanda de um dos dois transformadores de 40 MVA da SE Principal, mais precisamente ao que alimenta o Maracanã (circuito LS2PJ).

### SE PRINCIPAL



**Figura 28-** Curva de carga típica da SE Principal (um dos transformadores de 40 MVA) para dia de semana e domingo. Fonte: Adaptado a partir de dados de consumo.

### SE RESERVA



**Figura 29-** Curva de carga típica da SE Reserva (um dos transformadores de 40 MVA) para dia de semana e domingo. Fonte: Adaptado a partir de dados de consumo.



Na Figura 29 vemos a curva de carga da SE Reserva, tanto em dia de semana quanto aos domingos. Os comentários sobre as curvas da SE Principal se aplicam aqui também. As curvas mostradas na Figura 29 referem-se à demanda de um dos três transformadores de 40 MVA da SE Reserva, novamente o que alimenta o Maracanã (circuito LA2RB).

Com o auxílio do SFV-Maracanã, as subestações e tudo que estiver a montante dela “enxergariam” uma carga menor. As reduções na curva de carga da SE Principal estão mostradas nas Figuras 30 e 31, para os meses de fevereiro e junho, respectivamente. Estes meses representam o melhor (fevereiro) e o pior caso (junho).

De forma similar, as Figuras 32 e 33 mostram a redução na curva de carga da SE Reserva, também para os meses de fevereiro e junho.

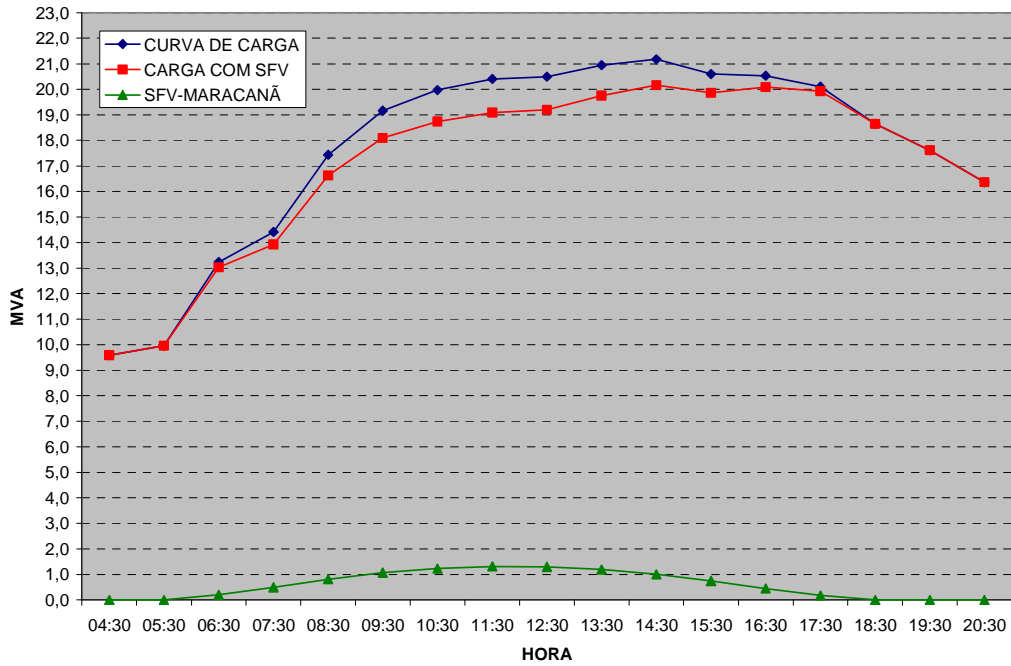
O estudo neste caso foi feito apenas na curva de carga típica para dias de semana, quando os picos de demanda são bem maiores. Da mesma forma, conseguiríamos resultados análogos para as curvas de domingo.

De fato houve uma redução nos picos de demanda em todos os casos para os dias de semana. Isto pode ser uma “arma” muito útil para a concessionária, pois reduz a exigência da carga sobre seus equipamentos e materiais, prolongando sua vida útil, e ainda consegue-se postergar eventuais ampliações na linha, conforme já foi dito antes.

Para os dias de fim de semana, geralmente os picos de demanda daquela região encontram-se no período da noite, e, neste caso, uma planta fotovoltaica não poderia auxiliar na redução dos picos de carga. Isto, porém, não reduz a utilidade de um projeto como este, pois a energia de fim de semana poderia ser negociada a preços mais atrativos com a concessionária.

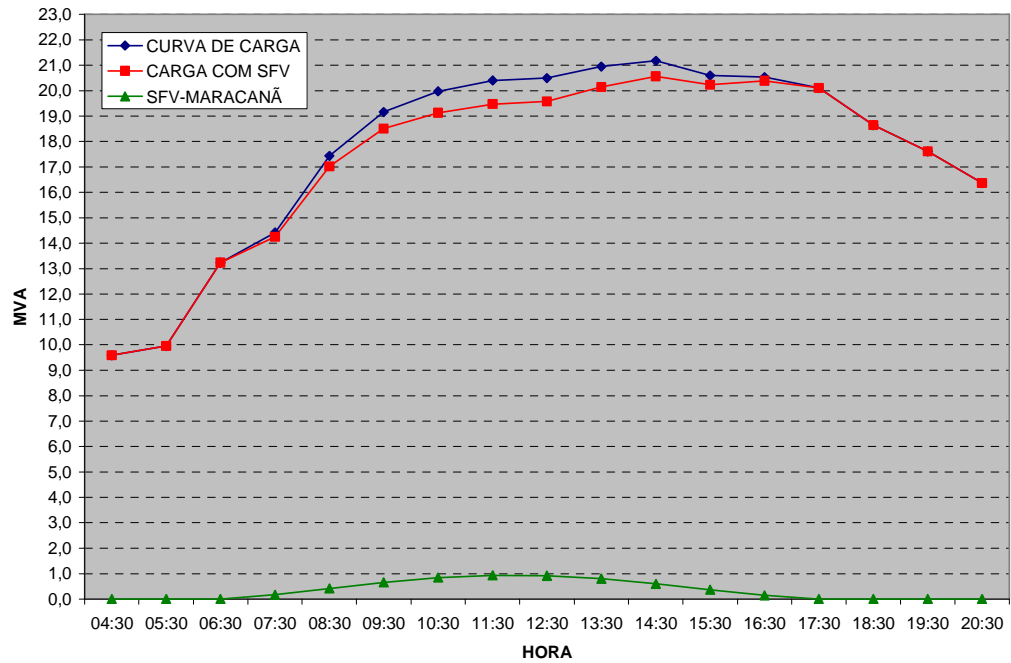
Este estudo foi feito com apenas uma edificação fotovoltaica (Maracanã). Se esta aplicação se estender a grandes construções, como shoppings, escolas, supermercados etc., ou até mesmo em residências, a redução da curva de carga pode atingir níveis muito significativos. O intuito aqui foi demonstrar esta possibilidade.

### REDUÇÃO NA CURVA DE CARGA - SE PRINCIPAL (FEVEREIRO)



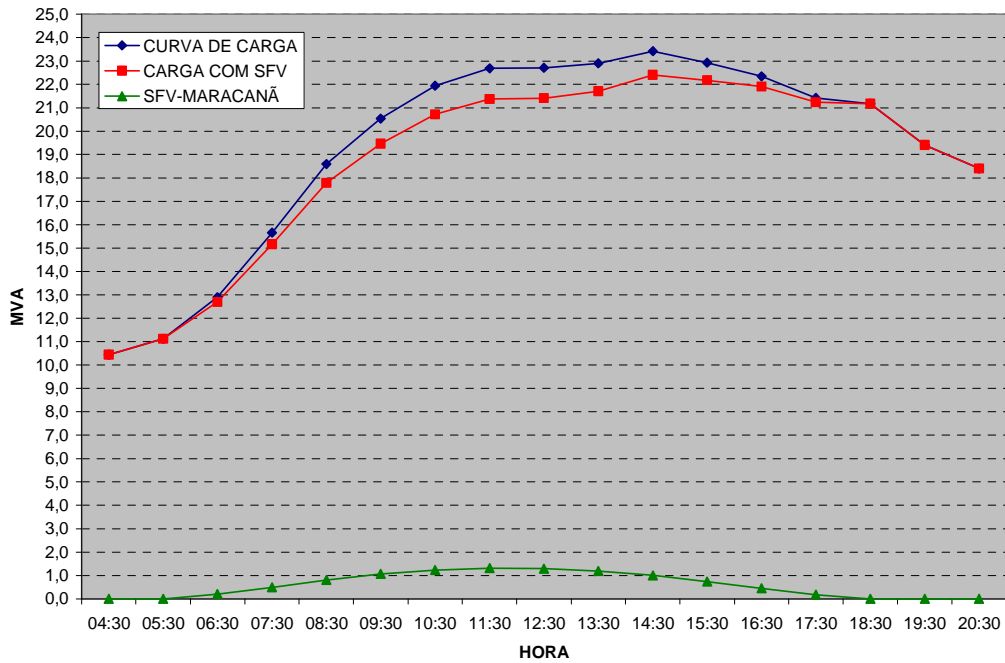
**Figura 30-** Redução na curva de carga típica da SE Principal (um dos transformadores de 40 MVA) para dia de semana no mês de fevereiro.

### REDUÇÃO NA CURVA DE CARGA - SE PRINCIPAL (JUNHO)



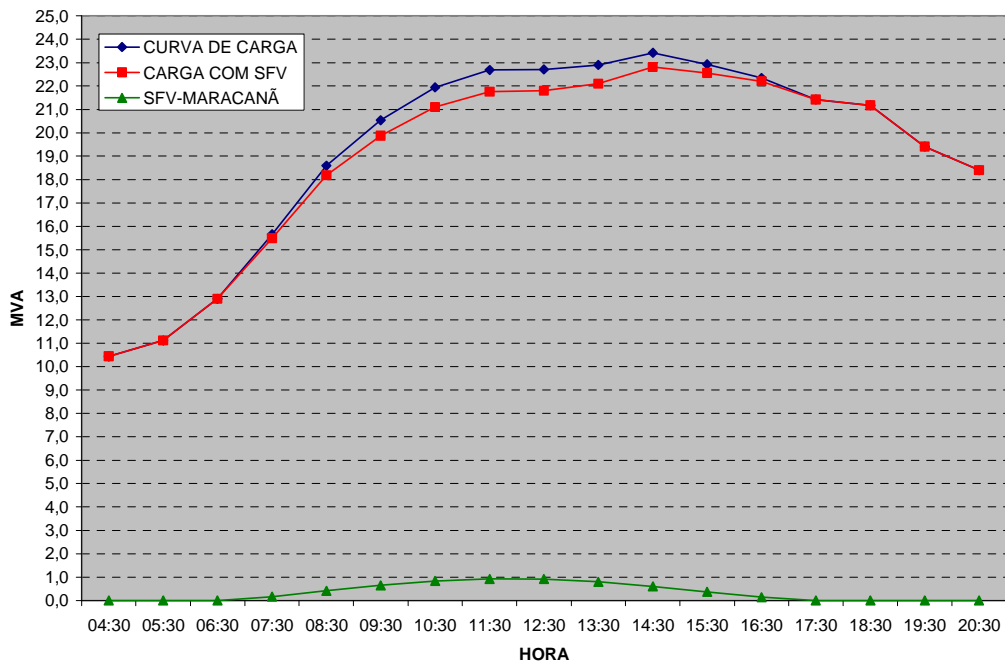
**Figura 31-** Redução na curva de carga típica da SE Principal (um dos transformadores de 40 MVA) para dia de semana no mês de junho.

### REDUÇÃO NA CURVA DE CARGA - SE RESERVA (FEVEREIRO)



**Figura 32-** Redução na curva de carga típica da SE Reserva (um dos transformadores de 40 MVA) para dia de semana no mês de fevereiro.

### REDUÇÃO NA CURVA DE CARGA - SE RESERVA (JUNHO)



**Figura 33-** Redução na curva de carga típica da SE Reserva (um dos transformadores de 40 MVA) para dia de semana no mês de junho.

## 5.2 Custo de Implantação do SFV-Maracanã – Primeira Aproximação

Geralmente, instalações de grande porte como é o caso do SFV-Maracanã têm sua primeira estimativa de custo dada por valores médios praticados no mercado internacional em Dólar (ou Euro) por Wp instalado. Neste caso, normalmente não se considera o fato de haver acréscimos no preço devido à importação, como se observa em CERVANTES, 2002. Contabilizando aumentos nos preços devido à importação, os custos de instalação se tornam ainda maiores. Este valor médio é utilizado devido ao fato de ser de difícil cálculo preliminar o custo total do sistema, por envolver um número grande de variáveis.

Considera-se aqui o custo de implantação do SFV-Maracanã. Neste caso, o custo de implantação mencionado refere-se ao custo de *turnkey* do sistema, ou seja, todo o investimento necessário para instalar os equipamentos e fazer a planta operar perfeitamente. Na Tabela 7 temos valores de referência para o investimento na instalação de sistemas fotovoltaicos para diversos países, no ano de 2007.

Country	Off-grid (EUR or USD per W)				Grid-connected (EUR or USD per W)			
	<1 kW		>1 kW		<10 kW		>10 kW	
	EUR	USD	EUR	USD	EUR	USD	EUR	USD
AUS	12,2 – 15,2	16,7 – 20,8	11 – 14	15 – 19,2	6,1 – 7,3	8,3 – 10	4,9 – 6,1	6,7 – 8,3
AUT	8 – 15	11 – 20,5	8 – 15	11 – 20,5	4,8 – 6	6,6 – 8,2	4,8 – 5,5	6,6 – 7,5
CAN	10,2	14	5,3	7,2	5,8	7,9	6,8	9,3
CHE	10,4 – 13,4	14,2 – 18,3	9,1 – 10,4	12,5 – 14,2	5,7 – 5,9	7,8 – 8	4,6 – 5,5	6,3 – 7,6
DEU					4,4 – 5,2	6 – 7,1	4,3	5,9
DNK	9,4 – 12	12,9 – 16,5	20,1 – 26,9	27,6 – 36,8	4,7 – 11,4	6,4 – 15,6	6,7 – 13,4	9,2 – 18,4
ESP	15 – 20	20,5 – 27,4	15 – 20	20,5 – 27,4	7 – 9	9,6 – 12,3	5,5 – 7	7,5 – 9,6
FRA	11 – 19	15 – 26	13 – 15	18 – 21	5,5 – 6,5	7,5 – 9	5,5	7,5
GBR	7,3 – 11	10 – 15	7,3 – 16,1	10 – 22	5 – 13,6	6,8 – 18,6	6,7 – 13	9,2 – 17,8
ISR	6 – 9	8,2 – 12,3						
ITA	10 – 14	13,7 – 19,2			6 – 7	8,2 – 9,6	5 – 6	6,8 – 8,2
JPN					4,3	5,9	3,9	5,4
KOR					6,6 – 7,2	9 – 9,8	6,4	8,7 – 8,8
MEX	10,8	14,8			5,8	7,9		
NOR	15,5 – 22,4	21,3 – 30,7			11,2 – 15	15,4 – 20,5		
PRT	8 – 10	11 – 13,7	8 – 10	11 – 13,7	5 – 6	6,8 – 8,2	4,2 – 5,5	5,8 – 7,5
SWE	10,3	14,1			5,2 – 6,5	7,1 – 8,9	6,5	8,9
USA	7,3 – 14,6	10 – 20	7,3 – 14,6	10 – 20	5,1 – 6,6	7 – 9	4 – 5,5	5,5 – 7,5

**Tabela 7-** Valores de referência na instalação de sistemas fotovoltaicos para diversos países, em 2007. Fonte: IEA-PVPS, 2008.

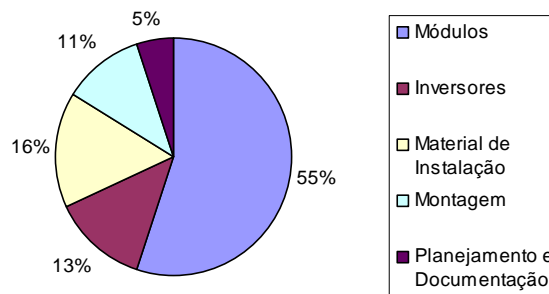
Os valores na Tabela 7 constam em Euro e Dólar, tanto para sistemas isolados como para os conectados à rede. A diferença geralmente é dada pelo uso de baterias e controladores de carga em sistemas isolados.

Para o nosso caso, será utilizado um valor médio nos Estados Unidos, de 6,5 US\$/W<sub>p</sub>. Este valor também é uma média mundial atualmente.

Considerando o SFV-Maracanã formado com módulos de silício monocristalino, de forma a ter uma maior potência instalada, temos que o investimento na instalação do sistema é dado em Dólares por

$$C_{INST} = P_{INST} \times 6,5 \frac{\text{US\$}}{\text{W}_p} = 2.100.00\text{W}_p \times 6,5 \frac{\text{US\$}}{\text{W}_p} = \text{US\$ } 13.650.000,00$$

Com o Dólar valendo R\$ 1,715<sup>15</sup>, o custo de implantação em moeda nacional é de R\$ 23.409.750,00 (vinte e três milhões e meio de Reais aproximadamente). A divisão típica desta quantia é apresentada na Figura 34.



**Figura 34-** Porcentagem de cada componente no custo de implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Fonte: Adaptado a partir de dados retirados de Solardach Deutsche Schule Lissabon, <http://www.solardach-lissabon.de>, acessado em 04 de setembro de 2008.

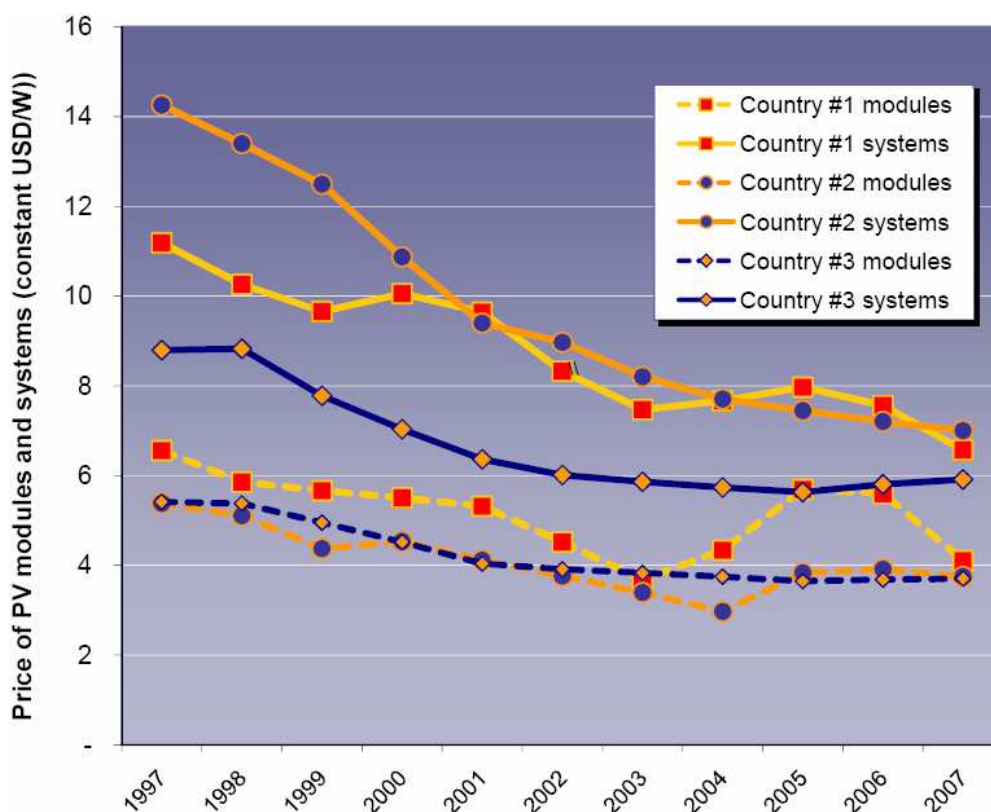
---

<sup>15</sup> Cotação do dia 04/09/08.

A Figura 35 mostra como o preço das instalações fotovoltaicas e dos módulos vêm reduzindo substancialmente ao longo dos anos. Isto se deve à grande maturidade alcançada no mundo em relação à pesquisa e desenvolvimento dos equipamentos, conseguindo técnicas de fabricação cada vez menos onerosas, e também ao crescimento do mercado fotovoltaico, alavancado pela crescente procura dos consumidores pequenos e grandes, principalmente nos países onde a tecnologia já se aplica há alguns anos.

Assim, pela Figura 35, percebemos que é grande a chance de o SFV-Maracanã, em um futuro próximo, ter um custo de implantação menor.

No entanto, sob um outro ponto de vista, vemos que o Brasil não se pode permitir ficar para trás na maturação do desenvolvimento tecnológico e de mercado da geração fotovoltaica, pois tenderia a ter instalações cada vez mais caras quando comparadas com outros países detentores de tal desenvolvimento.



**Figura 35-** Evolução do preço dos módulos e sistemas fotovoltaicos, em três países selecionados. Fonte: IEA-PVPS, 2008.

É de suma importância a rápida inserção do Brasil neste processo, pois observamos que, em países pioneiros em investimentos na geração fotovoltaica, os custos de investimentos são consideravelmente menores, como é o caso de Alemanha, Japão e Estados Unidos, dentre os principais. Isto pode ser visto na Tabela 6.

### **5.3 Viabilidade Econômica do SFV-Maracanã**

Existe *Eficiência Econômica* quando [Solardach Deutsch Schule Lissabon, 2008], durante o período de vida útil do sistema, os resultados da venda da produção, ou o somatório do dinheiro economizado com o não pagamento de boa parte da energia, ou ambos, são superiores aos custos da instalação e do funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, para uma mesma referência monetária.

No item 5.2, o custo total do projeto não foi calculado, apenas o de *turnkey*. As despesas totais de um sistema devem levar em conta também outros gastos, como: (1) custos de financiamento, (2) operação e manutenção (O&M), e (3) seguros. Pode-se dizer que estas 3 despesas, mais o investimento de *turnkey*, completam os principais custos de um sistema fotovoltaico durante seu período de vida útil. Despesas com financiamento e seguros não são necessariamente obrigatórias no investimento.

Nos custos de O&M estão incluídos também formação de reservas para futuras reposições de equipamentos. Geralmente os inversores têm uma vida útil de 10 a 15 anos, e, como os módulos são garantidos pelos fabricantes por pelo menos 20 anos<sup>16</sup>,

---

<sup>16</sup> A eficiência está relacionada com a vida dos módulos. Normalmente, o fabricante assegura uma eficiência mínima para um primeiro período de vida (15 anos, por exemplo), e nos próximos anos a eficiência mínima garantida de fábrica é reduzida. Alguns módulos já têm garantia mínima de 25 anos.

leva-se em consideração no projeto a troca dos inversores ao longo da vida útil do sistema.

Os custos de O&M são muito pequenos em relação às outras formas de geração convencionais. Não existe pagamento pelo combustível em um sistema fotovoltaico, no caso o sol. Esta característica pode deixar mais atrativos os sistemas fotovoltaicos em breve, pois há uma previsão de aumento no preço de combustíveis fósseis, devido à sua escassez crescente.

Tipicamente, são gastos para operação e manutenção do sistema entre 1% e 2% do investimento inicial, em cada ano de vida [Oliveira, 2002]. Neste trabalho, vamos considerar 1,5% do investimento inicial, por ano, para gastos com O&M.

Para o cálculo do custo do kWh gerado pelo SFV-Maracanã, é preciso determinar um dos índices de mérito usados para avaliar sistemas fotovoltaicos, a saber, o Fator de Capacidade ( $CF$ ). Este índice expressa a capacidade de geração de energia que um sistema tem, em relação à capacidade de geração que este mesmo sistema teria se operasse 24h com sua potência nominal. O Fator de Capacidade pode ser determinado pela expressão (4) [Oliveira, 2002].

$$CF = \frac{\int_T P(t).dt}{\int_T P_{nom}(t).dt} \quad (4)$$

Onde:

$CF$  é o Fator de Capacidade do sistema;

$P(t)$  é a potência instantânea fornecida pelo sistema;

$P_{nom}$  é a potência nominal instalada (em Wp);

$T$  é o período de integração (normalmente 1 ano);



Para o SFV-Maracanã, utilizamos a potência máxima de 2,1 MW, conseguida com módulos de silício monocristalino, e, assim, calculamos o Fator de Capacidade simplesmente aplicando valores já calculados:

$$CF = \frac{3.010,7 \text{ MWh}}{24h \times 365 \text{ dias} \times 2,1 \text{ MW}} = 0,16366$$

Em porcentagem, temos um Fator de Capacidade do sistema de 16,37%, o que pode ser considerado um alto CF.

O custo da energia gerada por um sistema fotovoltaico conectado à rede pode ser calculado pela seguinte expressão [Oliveira, 2002]:

$$C_{kWh} = \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + OM \right] \times \frac{Inv}{87,6 CF} \quad (5)$$

Onde:

$C_{kWh}$  é o custo de geração em centavos de US\$ por kWh;

CF é o fator de capacidade do sistema;

OM é a porcentagem do capital inicial necessário todo ano para a operação e manutenção do sistema;

Inv é o investimento inicial em US\$/kWp;

n é a vida útil projetada para o sistema (em anos);

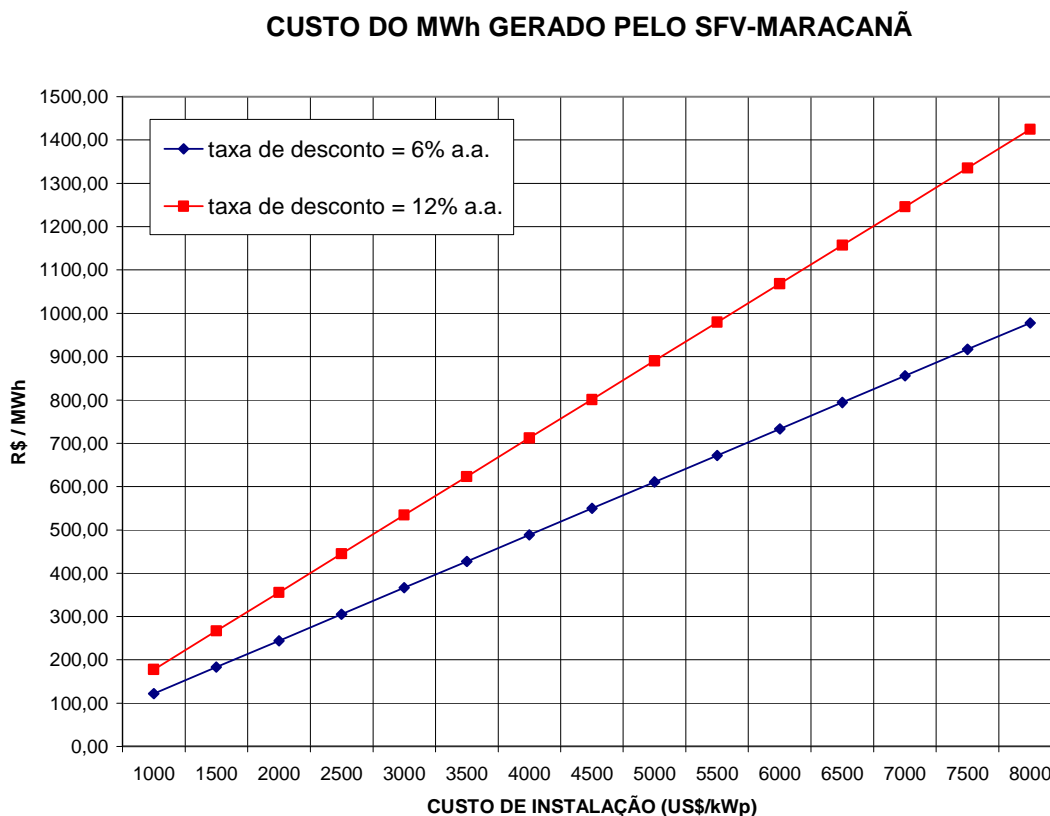
r é a taxa anual de desconto.

Não estão sendo considerados aqui gastos com financiamento e seguro. A expressão anterior leva em conta somente a amortização do investimento de implantação do sistema e custos relacionados com operação e manutenção. Assim, é feita a anualização do capital de *turnkey* pelo *Fator de Recuperação do Capital* (FRC), que leva em consideração a taxa anual de desconto e período de retorno do capital.

Consideraremos dois valores para a taxa anual de desconto: 12% e 6% a.a.

Para o período de retorno  $n$ , utilizamos o próprio tempo de vida útil do sistema fotovoltaico. Considerando módulos com garantia de 20 anos, utilizamos também 20 anos como sendo o tempo de vida da instalação.

De posse de todos os dados, o custo do kWh em centavos de Dólar pode ser calculado para diversos cenários. A Figura 36 mostra este custo já em R\$ por MWh, também em função do valor de instalação do sistema em US\$ por kWp. Conforme foi mostrado no item 5.2, calculamos o custo total da instalação usando um valor de referência de 6.500,00 US\$ por kWp.



**Figura 36-** Custo de instalação do MWh Gerado pelo SFV-Maracanã, considerando taxas de desconto de 6% e 12% ao ano.

Segundo dados da ANEEL, em setembro de 2007, a tarifa média do MWh para o setor industrial era de R\$ 224,88, sem os impostos. Para o Rio de Janeiro, os impostos

incidentes, como o ICMS<sup>17</sup>, aumentam a tarifa em mais de 30%, resultando, portanto, num valor superior a R\$ 292,00 por MWh. O Maracanã, por ser um consumidor da categoria *Grandes Clientes* (com estrutura tarifária Horo-Sazonal), teria uma tarifa típica para a indústria, sendo, portanto, nesta faixa de preço.

Se aplicarmos correções no valor da tarifa ao longo dos 20 anos de vida do sistema, tentando também “anualizá-la” (como fizemos com o investimento inicial do SFV-Maracanã), devido à inflação e tendência dos últimos anos de aumento de preço da energia no Brasil, chegamos a um valor pouco abaixo R\$ 400,00 por MWh.

Se o custo do investimento inicial for de US\$ 6.500,00 por kWp, como assumido no item 5.2, vemos que, para uma taxa de desconto de 12% ao ano, o valor do MWh gerado pelo SFV-Maracanã será de aproximadamente R\$ 1.150,00.

Este valor é mais do que duas vezes e meia o valor pago pelo MWh considerando alimentação via concessionária.

Entretanto, como observamos pela Figura 35, o custo dos módulos e de implementação dos sistemas fotovoltaicos vem caindo rapidamente no mundo todo, e, assim, para um futuro próximo, com uma instalação custando cerca de US\$ 4.000,00 por kWp, ainda com uma taxa de desconto de 12% ao ano, conseguiríamos um custo de geração do MWh por valores perto de R\$ 700,00, o que já aproxima bastante do custo de R\$ 400,00 via rede. Outros cenários poderiam ser criados e analisados de acordo com os gráficos mostrados na Figura 36.

---

<sup>17</sup> Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços. É um imposto de competência estadual. O ICMS incidiria apenas sobre o excedente de energia vendido à concessionária, e não para uso interno do Maracanã.

Se políticas governamentais de incentivo às fontes alternativas de energia forem mais bem elaboradas, e implantadas, considerando que se trata de uma geração “limpa”, e por isso merecedora de incentivos, uma planta de geração fotovoltaica como o SFV-Maracanã pode ser, em poucos anos (entre 5 e 10), tão competitiva quanto às demais tecnologias.

## CAPÍTULO 6 - Conclusão

A crescente demanda de energia mundial, vista no capítulo 1, nos faz ter a certeza de que ações devem ser tomadas internamente em nosso país. Já passamos por períodos difíceis em que até mesmo o racionamento de energia veio à tona, num passado recente, explicitando a falta de planejamento energético que o Brasil passou por muitos anos. Nós, que ficamos para trás em muitos quesitos, sempre fomos referência mundial em questões como geração e transmissão de energia, mas parece que, em se tratando de energias renováveis não convencionais, como eólica, fotovoltaica etc., a grande capacidade de energia hídrica que temos não permite e nem dá chances às outras.

O Brasil tem conseguido muitos avanços no campo da energia por biomassa, e com as PCHs, mas é preciso sim diversificar ao máximo nossa planta geradora. Este é um ponto crucial se quisermos realmente nos tornar um país competitivo: manter a sustentabilidade energética.

Não podemos mais fechar os olhos para a energia fotovoltaica, principalmente enquanto muitos outros países apostam e ganham experiência no assunto, nos deixando para trás. O Brasil tem um potencial solar enorme, muito maior do que países líderes na tecnologia e implantação de sistemas, como Alemanha e Espanha, e isto não pode mais ser ignorado, ou deixado apenas como solução energética para comunidades isoladas. Chegou a hora deste potencial ser aproveitado.

Vimos que muitos benefícios podem ser obtidos com o uso de sistemas fotovoltaicos, tanto pelo lado do consumidor, com redução nos gastos com energia elétrica, quanto para a concessionária, com a possibilidade de reduzir picos de demanda, permitindo adiar possíveis ampliações na rede, e aumentando a vida útil de seus equipamentos, ou ainda com a possibilidade de operar com gerenciamento pelo lado da demanda (GLD).

Por sua vez, sistemas fotovoltaicos conectados à rede nos trazem uma outra visão em produção de energia, que é a geração distribuída, colocando a unidade geradora ao lado

da consumidora, evitando perdas em linhas de transmissão, e, somando-se à rede, aumentando a confiabilidade do sistema, e tendendo a baratear os custos para o consumidor final, conforme os avanços tecnológicos se sucedem.

A geração centralizada não foi comprometida, existem inúmeros projetos pelo mundo que usam energias alternativas em grande escala. Porém, a geração distribuída vem para somar em um sistema interligado, o que conseqüentemente aumenta a qualidade da energia. Os recursos naturais como o sol e os ventos se encontram distribuídos, e nada melhor do que tirar proveito desta característica.

Políticas governamentais de incentivo à geração fotovoltaica de energia vêm crescendo a cada ano pelo mundo. Em países como a Alemanha, Espanha, dentre outros da União Européia, e ainda Estados Unidos e Japão, subsídios têm sido dados na energia vendida à rede, ou no levante de dinheiro inicial para instalação do sistema, ou em ambos. Os resultados positivos destas ações são nítidos: a Alemanha terminou o ano de 2007 com 3.862 MW em módulos fotovoltaicos instalados, a Espanha com 655 MW, o Japão com 1.919 MW, e os Estados Unidos com 830 MW [IEA-PVPS, 2008]. Estes, dentre os principais.

Ações como os incentivos do governo fazem com que ocorra o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica, reduzindo ainda mais os custos dos sistemas. Na Alemanha, por exemplo, existem atualmente 42.600 centros de pesquisa, desenvolvimento, fabricação ou instalação de sistema fotovoltaicos, na Espanha são 17.000, no Japão cerca de 18.000, e nos Estados Unidos 8190 [IEA-PVPS, 2008]

Nestes países o consumidor comum está vendo uma chance de reduzir seus gastos com energia elétrica, e ainda ajudando ao meio ambiente. Do outro lado, investidores constroem grandes centros de geração fotovoltaica de 2, 6, 10, ou mais MWp, em grandes áreas, com retorno financeiro garantido pelos incentivos dados.

O Brasil começou a dar os primeiros passos em 1995 com a criação da Lei nº 9.074/95, na qual é reconhecido o Produtor Independente de Energia (PIE), sendo pessoa jurídica

ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda, ou parte da energia produzida, por sua conta e risco.

Desta Lei para cá, muitas ações foram tomadas, como a criação do PROINFA, em 2002, pela Lei nº 10.438, que previa o aumento das plantas geradoras por meio de energia eólica, de biomassa, e de PCH. Para as aplicações fotovoltaicas, muito pouco foi feito até hoje. Não existem, como nos países citados anteriormente, subsídios à compra dos equipamentos ou à venda da energia excedente. Deste modo, a energia fotogerada encontra dificuldades para competir economicamente com as formas convencionais de geração.

Sob o ponto de vista técnico, o SFV-Maracanã faria ser necessária uma mudança no ponto de interface do consumidor Maracanã com a concessionária de energia, principalmente no que concerne a sistemas de proteção dos circuitos e medição de energia.

Economicamente, assim como para as demais instalações fotovoltaicas no Brasil, e diante dos comentários anteriores, o projeto do SFV-Maracanã pode se tornar viável economicamente em poucos anos, diante da constante redução no preço dos módulos e das instalações fotovoltaicas pelo mundo, assim como devido ao esgotamento e/ou crescimento dos custos de combustíveis de formas convencionais de geração de energia.

Tendo o Maracanã uma aparição constante na mídia e no dia-a-dia das pessoas, é fato que um sistema como o proposto neste trabalho alavancaria de vez a discussão no país sobre o tema energia solar fotovoltaica.

Um projeto de engenharia, contemplando detalhes da execução do SFV-Maracanã, fica aqui como sugestão para trabalhos futuros, neste mesmo segmento.

## Bibliografia

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, “Banco de Informações de Geração (BIG)”; <http://www.aneel.gov.br>, agosto, 2008.

Atlas brasileiro de energia solar / Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; Samuel Luna de Abreu e Ricardo Rüther. – São José dos Campos: INPE, 2006. il. 60p. ; (PAPEL).

Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed. – Brasília; ANEEL, 2005.

BOCCHI, N., Ferracin, L. C., Biaggio, S. R., “Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental”, Química Nova na Escola, 2000.,

Canal Energia, <http://www.canalenergia.com.br>, consultado em 23 de agosto de 2008.

CERVANTES, C., “Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede”. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 118 p. Dissertação (Mestrado), Campinas, 2002.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica, <http://www.cresesb.cepel.br>, setembro, 2008.

CTGÁS – Centro de Tecnologia do Gás, “Usos e Vantagens do GN”; <http://www.ctgas.com.br>, agosto, 2008.

Energy Information Administration, <http://www.eia.doe.gov>, consultado em 23 de agosto de 2008.



IEA-PVPS – International Energy Agency – Photovoltaic Power Systems Programme, <http://www.iea-pvps.org>, agosto, 2008.

LISITA JÚNIOR, O., “Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso de 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP”, Universidade de São Paulo, 81 p., São Paulo, 2005.

Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos / Rio de Janeiro, CRESESB, 2004.

OLIVEIRA, S. H. F., “Geração distribuída de eletricidade; Inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no Estado de São Paulo”. 198 p., Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 2002.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, “O Setor Elétrico”; <http://www.ons.org.br>, agosto, 2008.

Organisation for Economic Co-operation and Development, <http://www.oecd.org>, consultado em 23 de agosto de 2008.

REAL, A. S. P. C., “Panorama Nacional e Internacional da Geração Distribuída”, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 85 p., Rio de Janeiro, 2006.

RÜTHER, R., Salamoni, I., Knob, P., Zomer, C., Diniz, A. S. C., “O potencial dos sistemas fotovoltaicos integrados à edificação e interligados à rede elétrica em centros urbanos do Brasil: dois estudos de caso”, I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 18 – 21 julho, 2004.

SENJU, E. K. A., Silva, E. M., “As novas formas de comercialização de energia: o caso dos leilões”, Revista de Economia da UEG, Anápolis (GO), Vol. 2, nº 2, julho – dezembro 2006.

SHAYANI, R. A., Oliveira, M. A. G., Camargo, I. M. T., “Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais”, 5º Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Brasília, 31 maio – 2 junho, 2006.

Solardach Deutsche Schule Lissabon, <http://www.solardach-lissabon.de>, consultado em 04 de setembro de 2008.

SWERA, Solar and Wind Energy Resource Assessment, <http://swera.unep.net>, consultado em 18 de agosto de 2008.

