

SAMUEL HILÁRIO REBECHI

**O POTENCIAL DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA
CONECTADA AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO URBANO:
ESTUDO DE CASO PARA UM ALIMENTADOR COM PICO DE
CARGA DIURNO**

FLORIANÓPOLIS

2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC
NÚCLEO DE PESQUISA EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**O POTENCIAL DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA
CONECTADA AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO URBANO:
ESTUDO DE CASO PARA UM ALIMENTADOR COM PICO DE
CARGA DIURNO**

Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Samuel Hilário Rebechi

Orientador: RICARDO RÜTHER

Florianópolis, Agosto de 2008.

**À Clariana, minha esposa,
a Hilário Hahn (in memorian)
e a Jader Felipe da Silva (in memorian).**

Agradecimentos

À minha família, em especial aos meus pais Antoninho e Yara e a minha Vó Lore por todo apoio, dedicação, carinho e amor.

À minha amada esposa Clariana por toda sua prestação e por todas as suas cobranças que foram essências na conclusão desta pesquisa.

Ao Professor Ricardo Rüter por toda sua dedicação, que no decorrer desta dissertação se mostrou sempre muito presente.

Aos colegas Lucas, Trajano, Marcelo, Alexandre, Isabel, Priscila, Carol, Isis e a todos do LABSOLAR e LABEEE por sua amizade e prestação, pois sempre estiveram prontos a me ajudar nos momentos mais complicados.

Aos Professores Arno Krenzinger, Samuel Luna de Abreu e Roberto Lambertz pela participação na banca e valiosos acréscimos feitos a este trabalho.

À CELESC e ao Professor João Carlos Fagundes pelos dados fornecidos para realização da pesquisa.

A todos meus amigos e amigas que de uma forma ou outra colaboraram para o bom andamento deste trabalho.

À Vila de Alter do Chão pelas tardes inspiradoras que foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

**O POTENCIAL DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA
CONECTADA AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO URBANO: ESTUDO
DE CASO PARA UM ALIMENTADOR COM PICO DE CARGA DIURNO**

SAMUEL HILÁRIO REBECHI

Agosto/2008

Área de Concentração: Construção Civil

Palavras-chave: sistemas fotovoltaicos interligados à rede de distribuição, energia solar fotovoltaica, geração distribuída.

Na busca por novas opções para a constituição de uma nova matriz energética, os Sistemas Fotovoltaicos Interligados à Rede de Distribuição (SFIRD) se configuram como uma alternativa para centros urbanos, valendo-se de ser uma forma de geração distribuída (GD), assim gerando energia no próprio local onde esta será consumida. Os SFIRD não necessitam de novas áreas para sua instalação, pois estes farão uso de espaços já existentes, como o envelope das edificações para as quais estes gerarão energia, além de que eles possuem potencial de colaborar no desempenho da rede em que se encontram conectados. Neste trabalho é apresentado um estudo de caso de um SFIRD conectado a um alimentador de característica fortemente comercial, com pico de carga diurno e bastante coincidente com o pico de geração fotovoltaica. Este SFIRD encontra-se em funcionamento contínuo desde 1997 no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR/UFSC) em Florianópolis - SC. Nesta pesquisa foram confrontados os dados de geração deste SFIRD com os dados do alimentador da concessionária elétrica local ao qual este gerador se encontra conectado (TDE-07). O trabalho mostra o quanto este SFIRD contribui nos momentos mais críticos da operação do alimentador TDE-07. Utilizando para isso o Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC). O trabalho mostra também o quanto este SFIRD contribui no total de energia consumida por este alimentador e qual seria a contribuição esperada caso um número significativo de edificações residenciais da mesma região fossem equipadas com um gerador solar semelhante.

Abstract of dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirement for the degree of Master in Civil Engineering.

**THE POTENTIAL OF GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM
IN URBANS AREAS: STUDY OF CASE FOR A FEEDER WITH
DIURNAL LOAD PEAK**

SAMUEL HILÁRIO REBECHI

August/2008

Area of Concentration: Civil construction

Keywords: grid-connected photovoltaic, solar energy, distributed generation.

In search for new options to build a different energy mix, grid-connected, building-integrated PV generators (BIPV) are an alternative to urban areas because they constitute a distributed generation tool providing energy that will be generated at the point of use. BIPVs do not require new areas to be installed, since they use areas that are already occupied by the building envelope. This thesis shows the study of a BIPV system that has been connected to a very commercial feeder which has a diurnal load peak which matches the solar radiation profile very closely. This BIPV installation is operating continually since 1997 in Laboratório de Energia Solar of Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR/UFSC), in Florianópolis – Brazil. The research compares the amounts of energy generated by BIPV installations with the energy demands of the respective Utility feeder (TDE-07) to which this BIPV installation is connected. The results presented show that on top of the energy produced, BIPV installations can assist distribution feeders during load peaks (peak-shaving capability). To quantify this benefit, the Effective Load Carrying Capacity (ELCC) concept was used. The study also shows the potential of BIPV solar generators in residential buildings in contributing to the total energy demands of the Utility feeder studied.

Sumário

Capitulo 1	Introdução	1
1.1	Aspectos Iniciais	1
1.2	Justificativa e Relevância do Trabalho	3
1.3	Objetivos	4
1.3.1	Objetivo Geral	4
1.3.2	Objetivos Específicos	5
Capitulo 2	Energias Renováveis e Eficiência Energética	6
2.1	Energias Renováveis	6
2.1.1	Energia Eólica	7
2.1.2	PCHs	8
2.1.3	Biomassa	8
2.1.4	Energia Solar Fotovoltaica	9
2.2	Geração Distribuída	10
2.2.1	A Geração Distribuída como Fator de Desenvolvimento Sustentável	11
2.3	Eficiência e Conservação de Energia	12
2.3.1	Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD)	13
2.3.2	Planejamento Integrado de Recursos	13
2.3.3	Eficiência na Geração, Transmissão e Distribuição	14
2.3.4	Eficiência no uso final	14
2.4	Sistema Elétrico Nacional	15

Capitulo 3	Sistemas Solares Fotovoltaicos	17
3.1	Sistemas Isolados.....	17
3.2	Sistemas Interligados	18
3.3	Custo da geração solar fotovoltaica	19
3.3.1	Evolução dos custos de produção	20
3.3.2	Evolução do volume de produção mundial.....	20
3.4	Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC).....	22
3.4.1	Alimentadores de Perfil Diurno.....	23
Capitulo 4	Metodologia	24
4.1.	Considerações Iniciais	24
4.2.	Fluxograma esquemático.....	25
4.3.	Dados de demanda energética	26
4.4.	Dados da Geração Fotovoltaica	29
4.4.1.	O SFIRD 2kWp.....	30
4.5.	Cálculo do Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC).....	32
4.6.	Nível de Penetração (NP)	34
4.7.	Nível de Penetração Energética (NPE).....	35

Capitulo 5 Resultados e Discussões	36
5.1 Cálculo do FECC	42
5.2 Cálculo do FECC para os 10 maiores picos de 2004 para diferentes NP... 47	47
5.2.1 O Dia 07/04/2004	52
5.2.2 O Dia 09/03/2004	55
5.3 O Cálculo do NPE.....	57
5.3.1 O Cálculo do NPE para um NP de 10%	57
5.3.2 O Cálculo do NPE para uma planta FV constante referente ao pico histórico.....	62
5.3.3 O Cálculo do NPE para o SFIRD 2kWp	64
Capitulo 6 Conclusões	67
Referências Bibliográficas.....	71

ANEXOS

ANEXO I: Lista de Publicações.

ANEXO II: Dados Completos para um NP de 10%.

Lista de Figuras

Figura 4.1: Fluxograma esquemático da metodologia.

Figura 4.2: Localização do alimentador TDE-07 na ilha de Florianópolis (SC/Brasil).

Figura 4.4: SFIRD objeto deste estudo de caso (RÜTHER, 1998).

Figura 4.5: Diagrama esquemático do SFIRD 2kWp conectado ao alimentador TDE-07 e integrado ao prédio do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC (RÜTHER, 1998).

Lista de Gráficos

Gráfico 3.1: Distribuição típica dos custos no *1000 Roofs Program* para sistemas residenciais interligados à rede e com potência de 2kWp (SICK, 1996).

Gráfico 3.2: Curva de aprendizagem para sistemas fotovoltaicos (ENERGY PARTNERS, 2006).

Gráfico 3.3: Produção mundial anual de painéis fotovoltaicos.

Gráfico 4.1: Média da demanda energética do alimentador TDE-07 no ano de 2004.

Gráfico 4.2: A curva superior (losangos) é a curva do perfil de carga original do alimentador; a curva inferior (triângulos) representa a geração fotovoltaica para o dia correspondente, com determinado nível de penetração; a curva intermediária (quadrados) mostra a nova curva de demanda, com o novo pico, que o alimentador tem que suprir (JARDIM, 2007c).

Gráfico 5.1: Comportamento dos picos de carga (quadrados) do alimentador TDE-07 e da temperatura média diária (bolas) ao longo do ano de 2004.

Gráfico 5.2: Distribuição dos 100 maiores picos ao longo do de 2004 do alimentador TDE-07.

Gráfico 5.3: (a) Diagrama de dispersão da temperatura (°C) pelo pico de demanda do dia (kW) para todos os dias do ano e respectivo Coeficiente de Correlação (R); (b) Idem ao item (a) menos os finais de semana, (c) Idem ao item (a) menos os finais de semana, mês de Janeiro e feriados; (d) Idem ao item (a) menos os finais de semana, mês de Janeiro, mês de Dezembro e feriados.

Gráfico 5.4: Curvas com características diurna (superior), dias úteis, e característica noturna (inferior), finais de semana.

Gráfico 5.5: Comportamento da demanda do alimentador TDE_07 para três dias consecutivos com perfis distintos de irradiação solar. A curva superior (losangos) é o perfil original da curva de carga; a curva mais baixa (triângulos) representa a geração FV correspondente aos três dias e a curva intermediária (quadrados) mostra a perfil resultante da carga que o alimentador tem que atender. Mesmo em um dia bastante nublado, o nível “Demanda limite com FV” não foi excedido.

Gráfico 5.6.: FECC real (quadrados) e FECC dia limpo (triângulos).

Gráfico 5.7: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 10% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 08/03/2004.

Gráfico 5.8: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 10% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 17/09/2004.

Gráfico 5.9: FECC do alimentador TDE-07 no dia 08/03/2004 para NP de 1% até 50%.

Gráfico 5.10: FECC do alimentador TDE-07 no dia 07/04/2004 para NP de 1% até 50%.

Gráfico 5.11: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 25% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 07/04/2004.

Gráfico 5.12: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 27,24% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 07/04/2004.

Gráfico 5.13: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 40% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 07/04/2004.

Gráfico 5.14: FECC do alimentador TDE-07 no dia 09/03/2004 para NP de 1% até 50%.

Gráfico 5.15: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 50% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 09/03/2004.

Gráfico 5.16: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 10% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 04/02/2004, dia da maior demanda energética do TDE-07 no ano de 2004.

Gráfico 5.17: Característica da irradiação solar nos dias 08/03/2004 (linha continua) e no dia 15/03/2004 (linha tracejada).

Gráfico 5.18: NPE para NP de 10% (losangos) e FECC (quadrados) para os 334 dias analisados na ordem decrescente dos FECCs.

Gráfico 5.19: NPE para NP de 10% (losangos) e NPE para SFIRD constante (quadrados).

Lista de Tabelas

Tabela 5.1: Cinquenta maiores picos de demanda de 2004, com os FECC reais e do dia limpo para um NP de 10% e as temperaturas médias em °C.

Tabela 5.2: Cinquenta maiores FECC reais.

Tabela 5.3: FECC para NP = 1% para os dez maiores picos.

Tabela 5.4: FECC para NP = 5% para os dez maiores picos.

Tabela 5.5: FECC para NP = 10% para os dez maiores picos.

Tabela 5.6: FECC para NP = 25% para os dez maiores picos.

Tabela 5.7: NPE para os 30 maiores picos de demanda.

Tabela 5.8: Dez maiores NPE para um SFIRD constante de 944,60 kWp (NP = 10% do pico histórico).

Tabela 5.9: NPE para os 30 maiores picos de demanda com SFIRD constante de 944,60 kWp (NP = 10% do pico histórico).

Tabela 5.10: NPE para os 30 maiores picos de demanda com SFIRD 2kWp

Lista de Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEEETA	Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.
FECC	Fator Efetivo de Capacidade de Carga
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
GLD	Gerenciamento pelo Lado da Demanda
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LABSOLAR	Laboratório de Energia Solar
MCH	Micro Central Hidrelétrica
NP	Nível de Penetração
NPE	Nível de Penetração Energética
ONS	Operador Nacional do Sistema
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PMP	Ponto de Máxima Potência
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia
PWM	Pulse Wide Modulate
RP	Relação de Progresso
SFIRD	Sistema Fotovoltaico Interligado à Rede de Distribuição
T&D	Transmissão e Distribuição
TDE	Trindade
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

Capítulo 1 Introdução

1.1 Aspectos Iniciais

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e maneiras alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Atualmente os alarmantes dados a respeito do aquecimento global indicam que se precisa evoluir imediatamente para se adaptar a esta nova conjuntura mundial, mas para isso uma grande mudança dos estilos de vida é fundamental, como por exemplo, sugere Daniel Spreng que cada pessoa seja “equivalente” a uma potência de 2000W algo muito distante dos 30000 W que um cidadão estado unidense representa atualmente (Spreng, 2005).

Nesta perspectiva a mudança da matriz energética mundial, ações de efficientização energética e programas de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) são de grande importância. A primeira talvez seja a mais importante de todas, pois como indica o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC-2007), o principal causador do aquecimento global é o CO₂. Este gás é proveniente, em quase sua totalidade, da queima de combustíveis fósseis, estes que representam a maior fonte energética atual de nosso planeta, e que se estes não forem substituídos urgentemente por fontes limpas de energia como o sol, o vento e as águas o processo de aquecimento de nosso planeta, segundo o IPCC, será irreversível. O segundo ponto representa o uso inteligente da energia, pois atualmente a

maior parte da energia produzida no mundo é perdida devido à baixa eficiência dos equipamentos que a consomem. Pode-se citar que dez por cento de toda energia elétrica do mundo é perdida somente nos sistemas de distribuição e transmissão (IEA, 2006). Já os programas de GLD podem representar também uma importante economia de energia, pois através de incentivos e campanhas de conscientização podem-se alcançar resultados significativos na redução do consumo de energia elétrica.

A solução para o problema energético mundial com certeza não será simples e única, pelo contrário, será altamente complexa e composta de várias pequenas soluções. Uma destas soluções podem ser os sistemas fotovoltaicos, fonte de energia limpa e renovável proveniente da luz solar, ou seja, uma fonte inesgotável de energia e que se encontra disponível de forma gratuita a qualquer pessoa. Até o início desta década os sistemas fotovoltaicos mais utilizados eram os sistemas isolados, que levam energia elétrica a pontos inóspitos de nosso planeta, locais aonde as redes de transmissão talvez nunca cheguem. Porém, atualmente os sistemas fotovoltaicos são predominantes nos centros urbanos, onde estes sistemas encontram-se interligados às redes de distribuição das concessionárias locais, sendo assim pontos de geração distribuída dentro dos sistemas elétricos locais.

O objetivo deste trabalho não é dizer que os sistemas fotovoltaicos são a melhor solução para o futuro energético de nosso planeta e sim que ele será parte importante para a construção de uma matriz energética mais limpa, possibilitando assim um futuro mais sustentável.

1.2 Justificativa e Relevância do Trabalho

A tecnologia fotovoltaica ainda é pouco difundida mundialmente, tendo seus principais mercados no Japão, Alemanha, Espanha e Estados Unidos. No Brasil sua participação na matriz energética é praticamente nula, isso devido ainda aos altos custos desta tecnologia e da falta de incentivos por parte do governo. Estes incentivos poderiam vir na forma de um programa nacional de fomento à utilização de sistemas fotovoltaicos nos moldes do programa alemão juntamente com incentivos para consolidação de fabricantes nacionais de painéis fotovoltaicos reduzindo assim os custos desta tecnologia em nosso país.

Alem do mais, a massificação dos Sistemas Fotovoltaicos Interligados à Rede de Distribuição (SFIRD) poderia trazer vários benefícios ao sistema elétrico nacional, principalmente pela sua característica de geração distribuída (GD), evitando-se assim as perdas devidas às longas distâncias dos sistemas de distribuição e transmissão e ainda pelo fato do SFIRD encontrar-se muitas vezes na cobertura das edificações. Dessa forma, acaba-se criando uma consciência no usuário em relação à energia que ele está consumindo o que pode gerar um uso mais moderado desta energia.

Neste trabalho se buscará argumentos para a agregação de valor aos SFIRD através dos benefícios que estes podem trazer aos sistemas de distribuição de energia elétrica, ou seja, se propõe a apontar os benefícios que um SFIRD pode trazer para aliviar a rede elétrica pública nos casos de alimentadores de característica diurna. Nestes casos, geralmente esta característica diurna está vinculada a alimentadores cujas cargas sejam, por

exemplo, de centros comerciais, onde grande parte da demanda de energia é devida a condicionadores de ar e esta demanda possui forte correlação com a incidência solar. Assim sendo, nestes alimentadores os picos de consumo apresentam boa coincidência com os picos de radiação solar e, portanto, também de geração fotovoltaica, fazendo com que o SFIRD possa contribuir mais com a rede no momento de maior fragilidade desta, aumentando assim a robustez da rede (Jardim, 2007; Jardim *et al.*, 2008; Rüther *et al.*, 2008).

Para isso analisará-se o alimentador TDE 07 da cidade de Florianópolis, que possui sua curva de carga com pico diurno, comparando esta com a curva de geração do sistema solar fotovoltaico instalado no Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) que está conectado a este alimentador desde 1997 (Rüther, 1998,2004; Rüther & Dacoregio,2000; Rüther *et al.*,2006). O propósito é a realização de um estudo de caso que poderá trazer resultados significantes sobre a contribuição que os SFIRD trazem ao sistema de distribuição e a relevância destes como sistemas de geração distribuída.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é aplicar uma metodologia visando demonstrar a contribuição relativa que o sistema fotovoltaico, objeto deste estudo de caso, teve no alimentador TDE-07, ou seja, quanto e como que este sistema colaborou no fornecimento

de energia e potência para este alimentador e quanto este SFIRD pode contribuir nos momentos em que o alimentador se encontra mais sobrecarregado.

1.3.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- Confrontar os dados da geração fotovoltaica com os dados de demanda do sistema de distribuição;
 - Analisar qual é a participação energética do SFIRD em relação à energia consumida pelo alimentador;
 - Obter informações a respeito da potencialidade dos SFIRD em auxiliar o alimentador ao qual estão conectados;
 - Verificar a que nível os sistemas fotovoltaicos podem ser considerados fontes despacháveis de energia em horários de maior consumo em alimentadores de característica diurna;
 - Difundir a utilização de sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, contribuindo para a diversificação da matriz energética.
-

Capítulo 2 Energias Renováveis e Eficiência Energética

2.1 Energias Renováveis

Atualmente as energias renováveis representam 5% da energia elétrica consumida no mundo e a utilização global das energias renováveis vem aumentando cerca de 2% ao ano (Geller, 2003). Existem diversas fontes renováveis de energia, como por exemplo, a eólica, as pequenas centrais hidrelétricas (PCH), a biomassa e a solar entre outras. Porém, aqui serão apresentados apenas algumas das fontes que apresentam maior potencialidade para serem implementadas no Brasil.

No Brasil o governo federal através da Lei nº. 10.438/2002 instituiu o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia). Este programa tem a intenção de diversificar a matriz energética nacional através da compra de energia gerada por usinas eólicas, de PCHs e de biomassa pela Eletrobrás. O programa incentivou a construção de usinas com uma potência total de 3.300 MW divididos igualmente entre as três fontes de energia citadas anteriormente (Ruiz *et al.*, 2007).

O PROINFA incentiva Produtores Independentes Autônomos¹ a gerar energia elétrica, através de contratos de venda onde a Eletrobrás garante a compra da energia por 20 anos com uma tarifa fixada pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Além disso o programa também incentivaria a indústria brasileira a produzir os equipamentos usados nos

¹ O produtor independente de eletricidade é considerado autônomo quando sua sociedade não é subsidiária nem é controlada ou ligada por uma concessionária pública de geração, transmissão, ou distribuição de eletricidade. Decreto Nº. 5025, publicado no Diário Oficial da União de 31 de março 2004.

projetos integrantes do programa, gerando assim novos empregos e diversificando a matriz energética nacional (Dutra & Szklo, 2008).

A execução do programa era planejada em duas etapas, a primeira entre 2002 – 2006, onde ocorreram as concorrências públicas para a contratação dos 3.300 MW citados no parágrafo anterior, a segunda deveria ocorrer entre 2006-2022, porém ainda não existe nenhum decreto regulamentando esta etapa (Ruiz *et al.*, 2007).

2.1.1 Energia Eólica

Assim como a energia hidráulica, a energia eólica é utilizada há milhares de anos com as mesmas finalidades, a saber: bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica. Para a geração de eletricidade, as primeiras tentativas surgiram no final do século XIX, mas somente um século depois, com a crise internacional do petróleo (década de 1970), é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial (CEEETA, 2002).

A energia eólica foi a fonte de energia renovável de maior crescimento entre os anos de 1992 e 2001, sendo que em 2001 foram instalados 6,5 GW de capacidade o que representa um investimento de sete bilhões de dólares, fornecendo cerca de 60 TWh (em 2003 foram 63 TWh), o que significa cerca de 0,4% de toda energia elétrica produzida em 2001 (Geller, 2003). Já entre os anos de 2000 e 2005 ela foi a segunda energia com maior índice de crescimento, perdendo apenas para a fotovoltaica nesse período, com uma taxa de

28% ao ano. Já no ano de 2007 a capacidade instalada era de 95 GW, destes 21 GW foram instalados neste mesmo ano (Martinot, 2008).

No ano de 2007 no Brasil a energia eólica foi responsável por uma produção de 600 GWh, que representa pouco mais de 0,1% de toda energia elétrica consumida no Brasil. Parece pouco mas isso representa um crescimento de 135,8% em relação a energia elétrica oriunda dos ventos produzida no ano de 2006 no Brasil (BEN, 2008).

2.1.2 PCHs

Internacionalmente a Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) são conhecidas como usinas hidrelétricas com potência instalada menor que 10MW. Já no Brasil as PCHs são definidas como usinas com potência instalada menor que 30MW e reservatório com área máxima de 13 km², definição essa dada pela Lei 9648/98 e posteriores resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que também define as usinas com potência instalada menor que 1MW como sendo Micro Centrais Hidrelétricas (MCHs).

No ano de 2006 existiam 73 GW instalados no mundo em PCHs, tendo sido instalado só nesse ano 7 GW (Martinot, 2008).

2.1.3 Biomassa

Do ponto de vista energético, para fim de outorga de empreendimentos do setor elétrico, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia

solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos.

Embora grande parte do planeta esteja desprovida de florestas, a quantidade de biomassa existente na terra é da ordem de dois trilhões de toneladas; o que significa cerca de 400 toneladas per capita. Em termos energéticos, isso corresponde a mais ou menos 3.000 EJ por ano, ou seja, oito vezes o consumo mundial de energia primária (da ordem de 400 EJ por ano) (Ramage & Scurlock, 1996).

A bioenergia vem apresentando índices de crescimento relativamente altos em alguns países, como o Brasil e países escandinavos. Nos EUA ela quase dobrou entre 1971 e 2000, representando no ano de 2000 cerca de 3,5% do total de fornecimento de energia (Geller, 2003).

No ano de 2007 no Brasil a energia elétrica proveniente da biomassa² foi responsável por uma produção de 20 TWh, que representa 4,1% de toda energia elétrica consumida no Brasil, isso representa um crescimento de 7,9% em relação a energia elétrica oriunda da biomassa produzida no ano de 2006 no Brasil, quando foram gerados 18,5 TWh (BEN, 2008).

2.1.4 Energia Solar Fotovoltaica

A Terra recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de

² Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações.

sistemas de captação e conversão em outras formas de energia (térmica, elétrica, etc.) (Rüther, 2004).

Países desenvolvidos da Europa, Estados Unidos e Japão, já implementaram programas para utilização direta da energia solar. Sistemas solares fotovoltaicos interligados à rede elétrica existente são os principais subsidiados.

O Brasil possui um dos mais elevados índices mundiais de disponibilidade de energia solar, por ser localizado numa faixa de latitude na qual a incidência de radiação solar é muito superior à verificada nos países citados acima (Salamoni *et al.*, 2004).

2.2 Geração Distribuída

Na última década vem surgindo um considerável interesse em conectar a geração diretamente à rede de distribuição, chamada de geração distribuída, embutida ou dispersa. O termo “Geração Embutida” vem do conceito da geração embutida na rede de distribuição enquanto que os termos “Geração Distribuída” (GD) ou “Geração Dispersa” são usados para distingui-la da geração centralizada (Jenkins *et al.*, 2000). Os três termos podem ser considerados como sendo sinônimos e permutáveis.

É difícil afirmar que existe, atualmente, um acordo na definição do que constitui a GD e de como ela difere da geração convencional ou centralizada, originando amplas variações entre o que pode ser encontrado na literatura especializada (Daily & Morrison, 2001).

No Brasil, para a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) segundo os Procedimentos da Distribuição (PRODIST) a geração distribuída é a geração de energia elétrica, de qualquer potência, conectada diretamente no sistema elétrico de distribuição ou

através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachadas – ou não – pelo ONS (Operador Nacional do Sistema) (ANEEL, 2008). Esta será a definição adotada neste trabalho.

Segundo (Conti *et al.*, 2003) , a utilização de geração elétrica distribuída vem aumentando, podendo chegar até a 30% dos novos sistemas de geração elétrica em 2010. Isso significa uma redução da complexidade dos atuais sistemas de transmissão, necessários devido ao atual modelo dos sistemas elétricos mundiais, que são altamente centralizados em poucos pontos de geração, tornando-os assim mais vulneráveis e sujeitando os consumidores à possibilidade de *blackouts* e racionamentos, como o ocorrido no Brasil em 2001, ou o apagão ocorrido no nordeste dos EUA em 2003 que poderia ter sido evitado, por exemplo, pelo uso de sistemas fotovoltaicos interligados à rede, ou seja, através da geração distribuída (Perez & Collins, 2004).

Além disso, a geração distribuída estimula as vocações energéticas locais, ou seja, promove a utilização dos recursos energéticos mais abundantes de determinada localidade para consumo desta energia o mais próximo possível de sua geração.

2.2.1 A Geração Distribuída como Fator de Desenvolvimento Sustentável

A GD pode ser um forte fator de desenvolvimento sustentável, visto que, se uma parte da oferta de energia for originada de pequenas unidades geradoras, com uma hibridação das fontes disponíveis e com a exploração dos recursos renováveis, poderia contribuir para a institucionalização de um modelo de desenvolvimento mais adaptado às necessidades e realidades regionais (Aguiar, 2004).

O efeito multiplicativo destas formas de geração descentralizada pode residir no aparecimento de toda uma indústria que produziria equipamentos, na escala de produção destas unidades, e da pesquisa para otimização de técnicas de aproveitamento da energia solar, eólica e da biomassa (Aguiar, 2004).

2.3 Eficiência e Conservação de Energia

Na busca por um desenvolvimento sustentável a sociedade precisa, além da produção de energias renováveis, uma constante busca por maneiras mais eficientes para a utilização da energia. A conservação de energia tem sido uma importante opção de política pública, principalmente nos países desenvolvidos, a partir da primeira crise do petróleo, em 1973. Desde então, as razões para conservar energia vêm se modificando, incorporando novas motivações: precaução contra as bruscas oscilações do mercado internacional do petróleo, combate generalizado aos desperdícios, e, nos dias atuais, a escassez de recursos e a consequente diferenciação dos elevados investimentos do setor energético.

Eficiência energética significa gerar mais trabalho com uma mesma quantidade de energia, ou seja, diminuir a quantidade de energia gasta em um determinado processo. A questão da eficiência energética pode ser endereçada de diferentes formas (Camargo, 2006): gerenciamento pelo lado da demanda, planejamento de recursos integrados, eficiência na geração, transmissão e distribuição e eficiência no uso final. Cada um desses itens será detalhado a seguir.

Atualmente a busca frenética pela eficiência e pelo combate ao desperdício se deve à sua complementaridade menos onerosa em relação aos investimentos diretos em ativos de

geração, transmissão ou distribuição, principalmente quando à expansão da infra-estrutura energética (Aguiar, 2004).

2.3.1 Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD)

A energia elétrica sempre foi considerada como mais um setor produtivo da economia, e considerava que o único segmento passível de controle era o lado da oferta. O segmento da demanda, que se encontra em consolidação constitui, juntamente com o segmento da oferta, a base para um planejamento energético mais integrado.

O GLD é composto por um conjunto de programas desenvolvidos pelos planejadores com a intenção de estimular mudanças de comportamentos nos usuários finais, assim objetivando uma mudança na característica da curva de carga deste usuário, como por exemplo, uma diminuição ou deslocamento do pico de consumo deste.

2.3.2 Planejamento Integrado de Recursos

O planejamento integrado de recursos consiste em práticas que ajudem os planejadores e os agentes reguladores a avaliar o custo total e os benefícios das opções pelo Lado da Oferta e pelo Lado da Demanda, para que estes possam empregar o melhor conjunto de opções no que concerne ao custo financeiro e ecológico (Camargo, 2006).

Para La Rovere o desafio do planejamento energético consiste em reduzir a demanda energética para um mesmo nível de satisfação das necessidades da população e satisfazer, simultaneamente, os critérios de viabilidade econômica, utilidade social e harmonia com o meio ambiente (La Rovere, 1986).

2.3.3 Eficiência na Geração, Transmissão e Distribuição

Consiste na utilização de equipamentos mais eficientes como turbinas a gás natural, cogeração, cabos com menores perdas térmicas, transformadores mais eficientes, etc., diminuindo assim as elevadas perdas dos atuais sistemas de geração, transmissão e distribuição e garantindo uma maior quantidade de energia para o consumo final com o mesmo sistema já existente.

2.3.4 Eficiência no uso final

São técnicas que melhoram a eficiência dos produtos de uso final, assim como: refrigeradores, motores, iluminação, eletrodomésticos, entre outros. Também existem projetos nesta área que visam diminuir o consumo de *stand by* de todos os equipamentos eletrônicos para um watt (Wai-Ling, 1999). Aproveitamento de luz natural, ventilação cruzada, entre outros elementos da arquitetura bioclimática também fazem parte da efficientização energética de edificações que visa a diminuição de consumo de equipamentos como ar-condicionado e iluminação.

Uma forte normalização de equipamentos comercializados e adequados às diversas regiões aliados a facilidades de financiamento para a substituição de equipamentos não eficientes são estratégias para se alcançar melhores resultados nesta área (Aguiar, 2004).

2.4 Sistema Elétrico Nacional

Na década de 90 o sistema elétrico brasileiro passou por severas mudanças, passando por uma transição entre o modelo monopolista e sob o controle de empresas públicas, para o exercido por empresas privadas e onde a concorrência é estimulada. A desverticalização do setor elétrico brasileiro em seus vários segmentos de geração, transmissão e distribuição foi uma das principais mudanças ocorridas nesse processo.

O sistema elétrico nacional é basicamente dependente da geração hidrelétrica, apresentando atualmente uma capacidade instalada de 73,8GW, correspondente a cerca de 75% na matriz elétrica brasileira (ANEEL, 2007). Esta potência instalada representa menos de 30% do potencial hidrelétrico do país, estimado em 260GW (ANEEL, 2007). No entanto, restrições de ordem ambiental e as grandes distâncias até os centros urbanos, dos pontos com potencial de geração, levam a um aumento considerável nos custos de novas usinas hidrelétricas, embora haja expectativa de que cerca da metade dos novos projetos de geração, nos próximos anos, seja de pequenas e grandes hidrelétricas (ANEEL, 2007).

O sistema interligado nacional é um dos maiores e mais complexos do mundo, com uma capacidade instalada de mais de 98GW (ANEEL, 2007). Entretanto, a região norte do país ainda se encontra quase que totalmente fora do sistema interligado, sendo em sua grande maioria abastecida por mini-redes supridas por centrais termelétricas a diesel. Estas mini-redes abastecem uma área superior a 45% do país, porém com apenas 3% da população (Rüther *et al.*, 2003). A maior parte das localidades atendidas por elas são de difícil acesso, aumentando assim os custos e diminuindo a confiabilidade. O combustível

destes sistemas é 100% subsidiado, desde que o consumo seja igual ou inferior a 0,34 l/kWh, e este subsídio foi recentemente estendido até 2020 (Martins *et al.*, 2008).

Capítulo 3 Sistemas Solares Fotovoltaicos

Basicamente existem dois tipos de configurações possíveis para os sistemas solares fotovoltaicos, que são os sistemas isolados e os interligados à rede, tendo como principal diferença entre os dois sistemas a sua forma de acumulação de energia. Os sistemas isolados são aqueles que não possuem qualquer conexão com o sistema público de fornecimento de energia elétrica e os interligados são aqueles efetivamente conectados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica (ABNT 11704, 2007).

3.1 Sistemas Isolados

Desde o surgimento das primeiras células solares fotovoltaicas, de elevado custo e utilizadas na geração de energia elétrica para os satélites que orbitam nosso planeta, as tecnologias evoluíram a tal ponto que se tornou economicamente viável em muitos casos a sua utilização em aplicações terrestres, no fornecimento de energia elétrica a locais onde o custo da extensão da rede pública supera ao custo do sistema fotovoltaico. Tais sistemas, ditos remotos ou isolados, necessitam quase sempre de um meio de acumulação da energia gerada, normalmente um banco de baterias, para suprir a demanda em períodos quando a geração solar é insuficiente ou à noite (Rüther, 2004).

3.2 Sistemas Interligados

Nos últimos anos, o número de sistemas de geração distribuída baseados em células fotovoltaicas conectados à rede elétrica tem aumentado, sobretudo nos países industrializados (Castañer & Silvestre, 2002). Pode-se dizer que esta é a tecnologia de energia que mais cresce no mundo (Martins *et al.*, 2008); sua capacidade instalada cresceu 55% por ano entre 2000 e 2005 (Mints, 2006), porém esta forma de energia ainda é muito cara.

O grande diferencial dos sistemas interligados em relação aos sistemas autônomos é a dispensa de um sistema acumulador (baterias), com isso reduzindo-se os elevados custos referentes à manutenção destes, já que o sistema acumulador do sistema interligado pode ser visto como a própria rede elétrica (Rüther, 2004). Assim, em momentos em que a geração do sistema fotovoltaico excede a demanda da instalação consumidora onde o sistema está ligado, a energia excedente é injetada na rede pública, gerando assim um crédito energético que será utilizado em momentos nos quais a demanda for maior que a geração e à noite.

Existem dois tipos de sistemas interligados: o mais usual são os sistemas integrados à edificação que será a principal consumidora da energia gerada por este, e os sistemas centralizados que como outra usina central geradora convencional também necessitará de sistemas de transmissão e distribuição (T&D).

3.3 Custo da geração solar fotovoltaica

Para instalações interligadas à rede elétrica pública, o custo atualmente é superior ao da energia fornecida de forma convencional. Estes custos vêm, no entanto, declinando continuamente desde o lançamento de programas de incentivo à implantação de sistemas deste tipo onde se destacam os programas da Alemanha, Espanha, Japão e de alguns estados norte americanos (Mints, 2008) (Erge *et al.*, 2001) (GERMANY2000, 2001). O Gráfico 3.1 a seguir mostra a distribuição dos custos típica no *1000 Roofs Program* para sistemas residenciais interligados à rede e com potência de 2kWp.

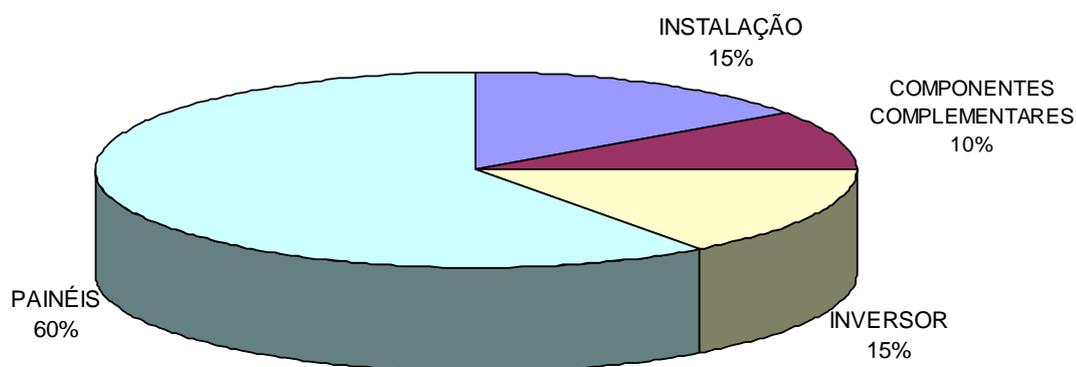


Gráfico 3.1: Distribuição típica dos custos no *1000 Roofs Program* para sistemas residenciais interligados à rede e com potência de 2kWp (Sick & Erge, 1996).

3.3.1 Evolução dos custos de produção

Para uma ampla aplicação dos SFIRD é necessário que haja um decréscimo nos custos destes sendo necessário para isso investimentos públicos e privados no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica, pois esta apresenta um potencial alto para ficar mais barata. Para tanto se necessitam métodos que possam avaliar a evolução dos preços desta tecnologia. Atualmente o método utilizado é o da curva de aprendizagem (*learning curves*): este método é baseado na observação empírica de que muitas tecnologias apresentam um declínio linear no preço em relação às vendas acumuladas quando plotado num gráfico bi-logarítmico (Moor *et al.*, 2003).

O coeficiente angular desta linha é a relação de progresso (RP), definida como a relação de preço depois que as vendas acumuladas tenham dobrado. No Gráfico 3.2 pode-se observar que a RP para os sistemas fotovoltaicos é em torno de 77% (ENERGY PARTNERS, 2006). Isto equivale a dizer que cada vez que a produção acumulada dobre, os custos de produção caem em 23%.

3.3.2 Evolução do volume de produção mundial

A capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos quintuplicou no período entre 1992 e 2001, crescendo a uma taxa média de 20% ao ano, sendo que entre 2000 e 2001 cresceu cerca de 25% no Japão e na Alemanha (Geller, 2003), fornecendo cerca de 3,6 TWh ou o equivalente a 0,025% de toda energia do mundo. Já no ano de 2005 existiam 3,1 GWp instalados no mundo e no ano de 2006 a produção mundial atingiu a cifra de 2,5GWp

por ano (Martinot, 2006), sendo que pelo menos 80% dessa cifra eram interligados à rede. Para o ano de 2007 se estima que a capacidade existente de sistemas conectados à rede seja de 7,8 GWp sendo a produção somente neste ano de 3,8 GWp (Martinot, 2008). No Gráfico 3.3 pode-se ver a evolução da produção mundial de módulos fotovoltaicos.

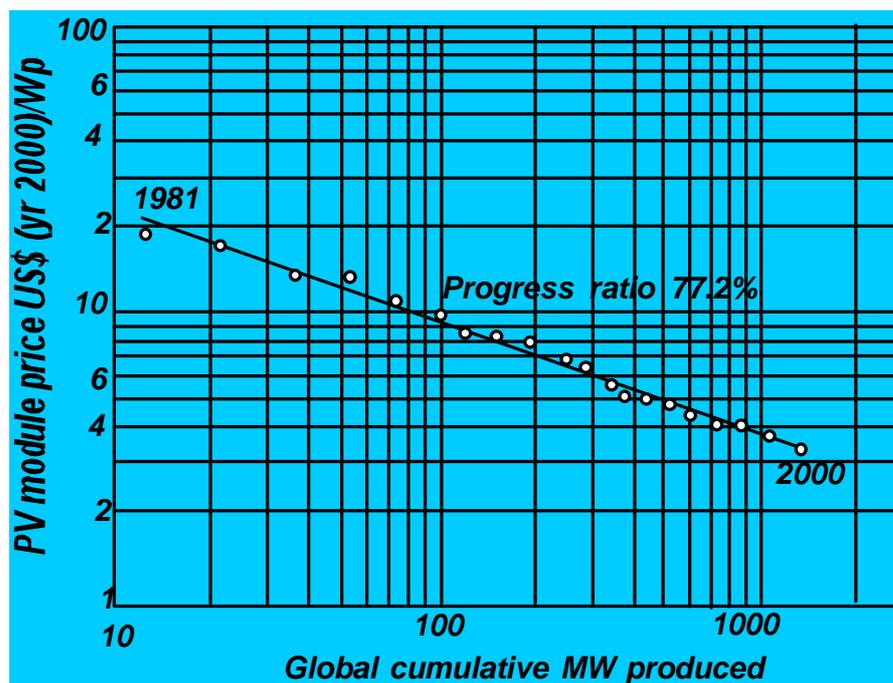


Gráfico 3.2: Curva de aprendizagem para sistemas fotovoltaicos (ENERGY PARTNERS, 2006).

O incremento no crescimento observado a partir de 1999 se deve aos programas de incentivo, em especial o programa alemão (1.000-Roofs Program do início da década de 90, 100.000-Roofs Program do final da década de 90 e mais recentemente o EEG2000), visto que a Alemanha em 2004 representava 16% do mercado mundial de sistemas de energia renovável, porém num futuro próximo os mercados mundiais crescerão mais rápido que o mercado alemão devido aos programas de outros países (Lehr *et al.*, 2008) como Espanha e

Japão, que também pretendem ampliar a sua geração de eletricidade com fontes renováveis visando reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

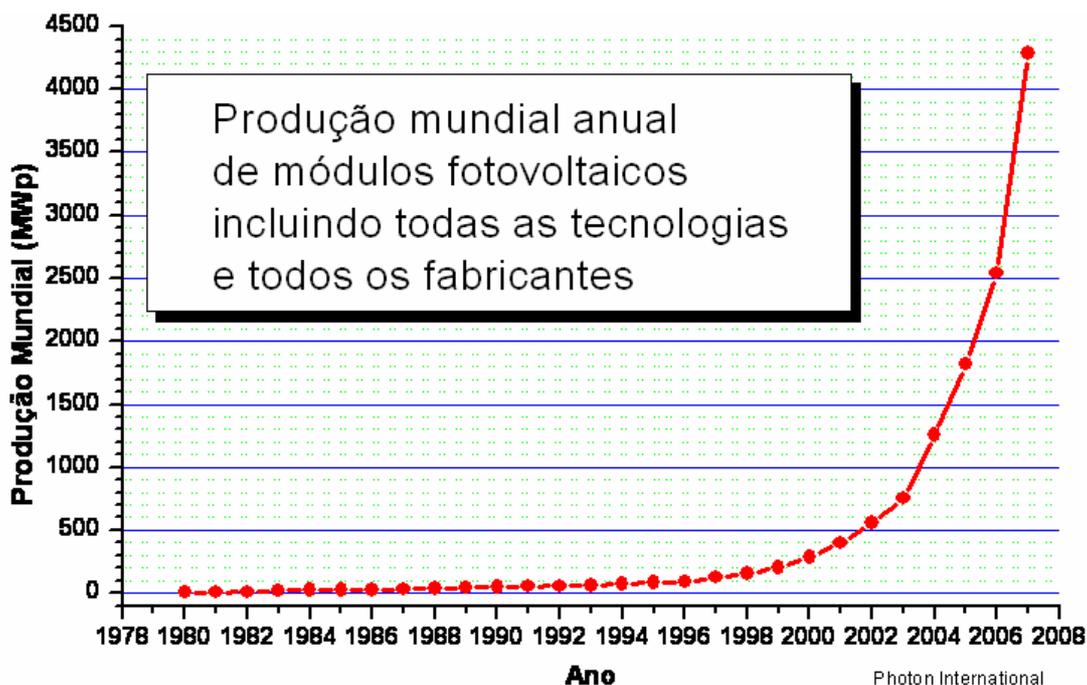


Gráfico 3.3: Produção mundial anual de painéis fotovoltaicos.

3.4 Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC)

O conceito de Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC) foi primeiramente definido por GARVER (1966) como a habilidade de um gerador de potência – fotovoltaica (FV) ou convencional – de contribuir efetivamente para a capacidade da rede. Já PEREZ mais recentemente trouxe o FECC para o âmbito das plantas FV. Sendo assim, FECC para um sistema fotovoltaico, representa a habilidade de um sistema FV em prover potência

quando esta é necessária, ou seja, é a capacidade de crédito de uma planta FV (Perez & Bryan, 1996; Perez & Seals, 1996; Perez, 2003; Perez & Collins, 2004; Jardim, 2007; Jardim *et al.*, 2008; Rüther *et al.*, 2008).

Aqui será considerado o FECC como uma medida da capacidade de crédito de SFIRD, ou seja, o aumento da capacidade disponível à rede elétrica atribuída à geração fotovoltaica. O FECC irá determinar a capacidade do SFIRD em reduzir o pico de demanda (Jardim, 2007; Jardim *et al.*, 2008; Rüther *et al.*, 2008). Espera-se que o FECC para SFIRD seja significativo, visto que estes estão disponíveis em momentos de demanda crítica nos alimentadores de característica diurna (Perez *et al.*, 2005).

3.4.1 Alimentadores de Perfil Diurno

Através das análises do pico de demanda dos alimentadores é possível identificar alimentadores com pico de demanda diurno e noturno. Objetivando uma análise qualitativa dos perfis dos alimentadores, consideram-se alimentadores diurnos aqueles que apresentam maior frequência dos cem primeiros picos de demanda entre o horário das 07:00 às 17:00 horas (Jardim, 2007).

Capítulo 4 Metodologia

Neste capítulo será apresentada a metodologia que sustentará todo o trabalho que será realizado neste estudo de caso. Esta metodologia baseia-se na tese de doutorado *A inserção da geração solar fotovoltaica em alimentadores urbanos enfocando a redução do pico de demanda diurno* de autoria de Carolina da Silva Jardim (Jardim, 2007). Nesta obra a autora propõe uma metodologia que prioriza alimentadores urbanos da rede de distribuição, visando maximizar o benefício de sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica.

4.1. Considerações Iniciais

A metodologia proposta irá analisar a contribuição que um SFIRD pode dar a um alimentador³ do sistema de distribuição em termos de diminuição de seu pico de carga, ou seja, com a diminuição do pico de carga o SFIRD poderá evitar falhas no sistema de distribuição devido à sua sobrecarga. Esta análise será feita utilizando o Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC), que mostra a capacidade de crédito de uma planta energética, ou seja, o quanto uma planta pode aumentar da capacidade disponível da rede de energia elétrica.

³ Alimentador é definido como uma seção do sistema de distribuição primário ou de alta tensão, derivada de um único dispositivo de proteção na subestação de distribuição.

Também será analisado quanto que este SFIRD irá contribuir no montante total da energia fornecida por este alimentador. Para isso será utilizado o Nível de Penetração Energética (NPE), que mostra qual a porcentagem da energia consumida neste alimentador que é proveniente do SFIRD.

Para isso serão utilizados dados de demanda energética de um determinado alimentador com características diurnas, ou seja, seu pico de consumo se encontra no período onde existe incidência solar e dados de geração fotovoltaica de um sistema conectado a este mesmo alimentador.

Serão realizados estudos para todos os dias do ano de 2004. Este ano foi escolhido por apresentar poucas falhas em ambos os bancos de dados utilizados. Foi escolhido o período de um ano completo por este apresentar o comportamento da rede em todas estações do ano, uma vez que a cidade de Florianópolis apresenta diferenças climáticas e consumo energético de grande relevância entre as estações do ano.

4.2. Fluxograma esquemático

As etapas da metodologia são apresentadas no fluxograma da Figura 4.1:

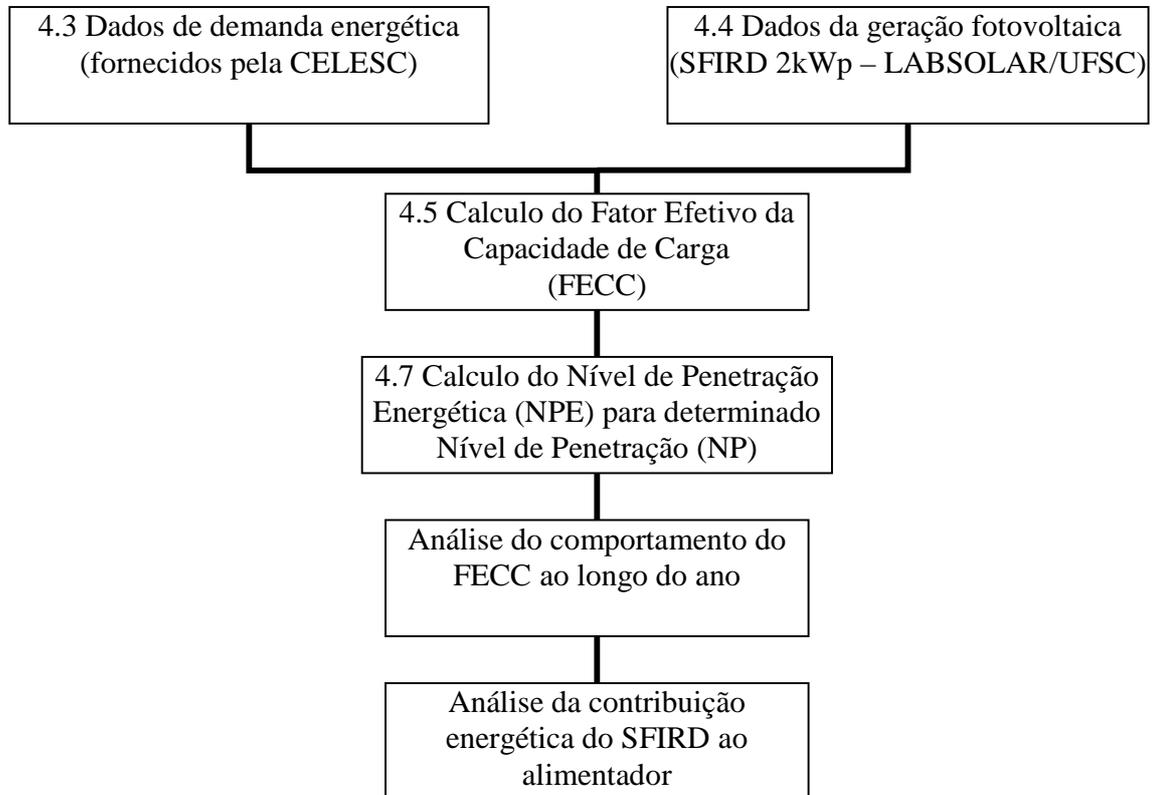


Figura 4.1: Fluxograma esquemático da metodologia

4.3. Dados de demanda energética

O alimentador que será objeto deste estudo de caso será o TDE-07, que está localizado no Bairro da Trindade, Florianópolis. Mais precisamente, este alimentador é responsável pelo fornecimento de energia elétrica para a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, bem como para toda a região no seu entorno, que é composta por uma mistura de edificações residenciais e comerciais.

O alimentador TDE-07 está conectado à Subestação da Trindade, como mostra a Figura 4.2, e é parte do sistema de distribuição da empresa CELESC Distribuição LTDA.

Este alimentador foi escolhido pelo fato de apresentar uma forte característica diurna, como pode ser visto no Gráfico 4.1, que mostra a média da demanda energética no alimentador TDE-07 no ano de 2004, com os máximos e mínimos de demanda de cada hora, com o pico da curva em torno das 15:00 horas. Além disto, existe um SFIRD conectado a ele desde setembro de 1997 e para o qual se dispõe de grande quantidade de informação (Rüther,1998;, 2004; Rüther & Dacoregio, 2000; Rüther *et al.*, 2006), proporcionando assim a realização deste estudo de caso em um sistema real, pois diferente disto seria necessário a simulação do comportamento de um SFIRD.



Figura 4.2: Localização do alimentador TDE-07 na ilha de Florianópolis (SC/Brasil).

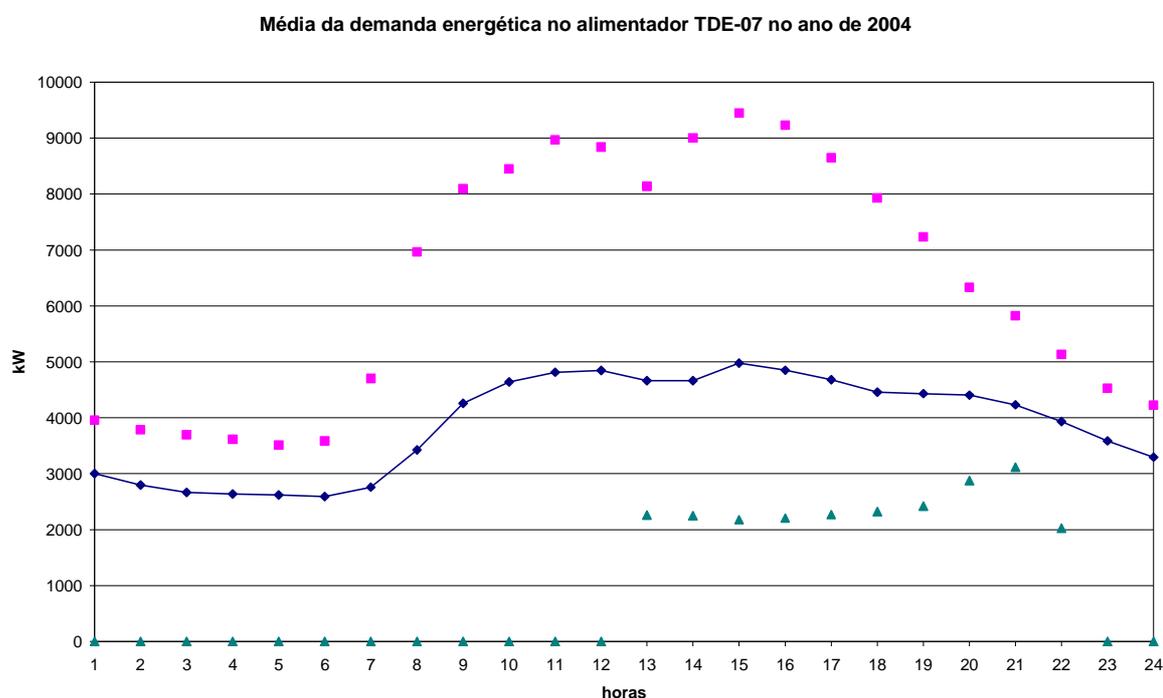


Gráfico 4.1: Média da demanda energética do alimentador TDE-07 no ano de 2004 com os valores de máximo em cada hora (quadrados) e mínimos de cada hora (triângulos).

Os dados de demanda energética referentes ao alimentador TDE-07 foram fornecidos pela CELESC Distribuição LTDA. e são referentes ao período de 01/12/2001 a 01/08/2005. Os dados fornecidos pela concessionária estão discretizados num período de hora em hora, possibilitando assim a construção do perfil de carga deste alimentador para praticamente todos os dias do período citado acima. Porém existem algumas falhas neste banco de dados como o período entre 01/11/2004 e 01/12/2004 que devido a essa falha esses dias não serão analisados neste trabalho.

4.4. Dados da Geração Fotovoltaica

Os dados da geração fotovoltaica foram obtidos a partir de um SFIRD (figura 4.3) que está conectado no alimentador objeto deste estudo de caso. O SFIRD utilizado neste trabalho foi projetado e montado pelo LABSOLAR/UFSC e será descrito em maiores detalhes a seguir. Os dados da geração estão discretizados de quatro em quatro minutos, sendo necessário para a comparação com os dados da demanda, que estão discretizados de hora em hora, realizar a média dos 15 valores obtidos a cada hora para se ter o valor da energia gerada naquela hora como mostra a equação 4.1.

$$GFV_{2kWpi} = (\sum gfV_{2kWpj}) / 15 \quad j = 1, \dots, 15 \quad [\text{Eq. 4.1}]$$

Onde: GFV_{2kWpi} - Geração Fotovoltaica do SFIRD 2kWp no instante i correspondente a hora i e

gfV_{2kWpj} - Geração Fotovoltaica do SFIRD 2kWp no instante j discretizado de quatro em quatro minutos.



Figura 4.3: SFIRD objeto deste estudo de caso (RÜTHER, 1998).

4.4.1. O SFIRD 2kWp

Esse projeto, financiado pela fundação Alexander von Humboldt, possui uma potência nominal de 2,078 kWp, instalados na face norte de um dos prédios da Engenharia Mecânica (onde se encontra LABSOLAR) da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – SC. Esse sistema possui um total de 68 módulos de silício amorfo dupla junção, 54 opacos e 14 semitransparentes, cada um com 60 x 100 cm. Os 68 módulos foram divididos em 4 arranjos, 3 com 16 e 1 com 20 módulos. Dos 20 módulos do 4º arranjo 14 são semitransparentes. A instalação conta com 4 inversores, um para cada arranjo, inserindo a energia na rede a uma tensão de 220 VAC (Rüther, 1998; 2004; Rüther & Dacoregio, 2000; Rüther *et al.*, 2006).

O sistema ocupa com os painéis uma área de 40.8 m² e está inclinado a 27 graus em relação à horizontal. A fachada onde os módulos estão instalados é bastante adequada, já

que está orientada para o norte geográfico, com um desvio de 6° para o leste. Perdas por sombreamento são desprezíveis, visto que não há obstruções de nenhuma forma e que todos os módulos estão montados sobre o mesmo plano, com inclinação igual à latitude local para maximizar a oferta de energia solar em regime anual (Rüther, 2004).

O SFIRD 2kWp possui um sistema de aquisição de dados como representado na Figura 4.4, armazenando dados de radiação solar, temperatura ambiente e dos módulos solares e geração de energia elétrica continuamente desde setembro de 1997. Os dados deste sistema estão discretizados num período de quatro minutos.

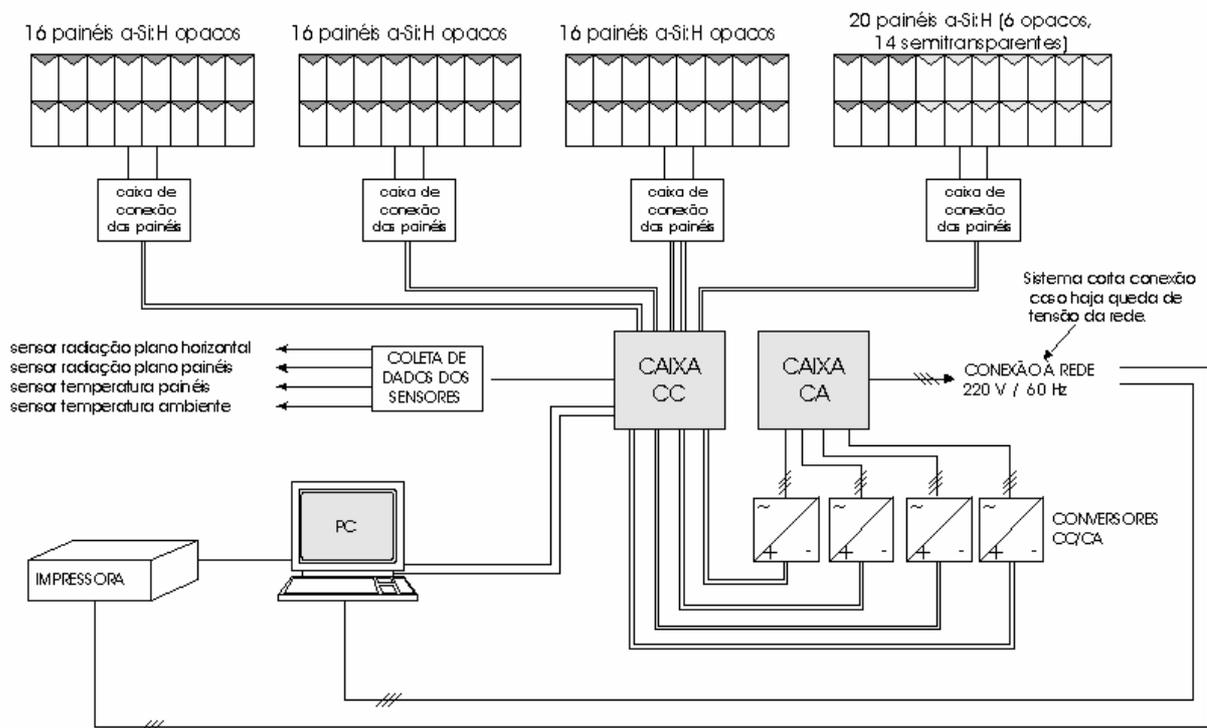


Figura 4.4: Diagrama esquemático do SFIRD 2kWp conectado ao alimentador TDE-07 e integrado ao prédio do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC (Rüther, 1998).

A escolha por módulos opacos e semitransparentes foi feita com o objetivo de chamar a atenção para os aspectos estéticos e arquitetônicos de ambos os tipos de módulos fotovoltaicos.

O sistema utiliza a configuração em paralelo para a conexão de todos os módulos aos quatro inversores independentes. Como já foi citado o sistema está dividido em quatro subsistemas de aproximadamente 500Wp cada um, conectados a quatro inversores de alto rendimento (eficiência de 93%, comutados pela rede e com onda senoidal) de 650 W cada. A injeção de corrente na rede elétrica se baseia em operação PWM (*pulse width modulated*) controlada por microprocessadores e rastreamento do ponto de máxima potência (PMP) dos módulos fotovoltaicos, que desconecta o sistema à noite por meio de relés para evitar perdas em *stand by* (Rüther, 2004).

O objeto deste estudo de caso encontra-se conectado a uma das fases do barramento trifásico do prédio onde está instalado, injetando uma média de aproximadamente 2.6MWh por ano, o suficiente para atender à demanda energética de uma família de quatro pessoas em uma residência urbana brasileira típica (Rüther, 1998, 2004; Rüther & Dacoregio, 2000).

4.5. Cálculo do Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC)

O cálculo do FECC para um dia específico consiste em subtrair do pico da curva de demanda deste dia o pico da curva equivalente à demanda do alimentador em questão

quando são inseridos os SFIRD e logo após dividir este valor pela capacidade nominal instalada do SFIRD, como é apresentado na equação abaixo e ilustrado pela Gráfico 4.2:

$$FECC = [(Pico C - Pico CFV) / FV] \times 100 \quad [Eq. 4.2]$$

Onde: Pico C – é o valor máximo de demanda , em kW_{CA} ;

Pico CFV – é o valor máximo de demanda menos a respectiva geração FV (em kW_{CA}), para determinado nível de penetração e

FV – capacidade nominal instalada do sistema FV (kW_{pCC}).

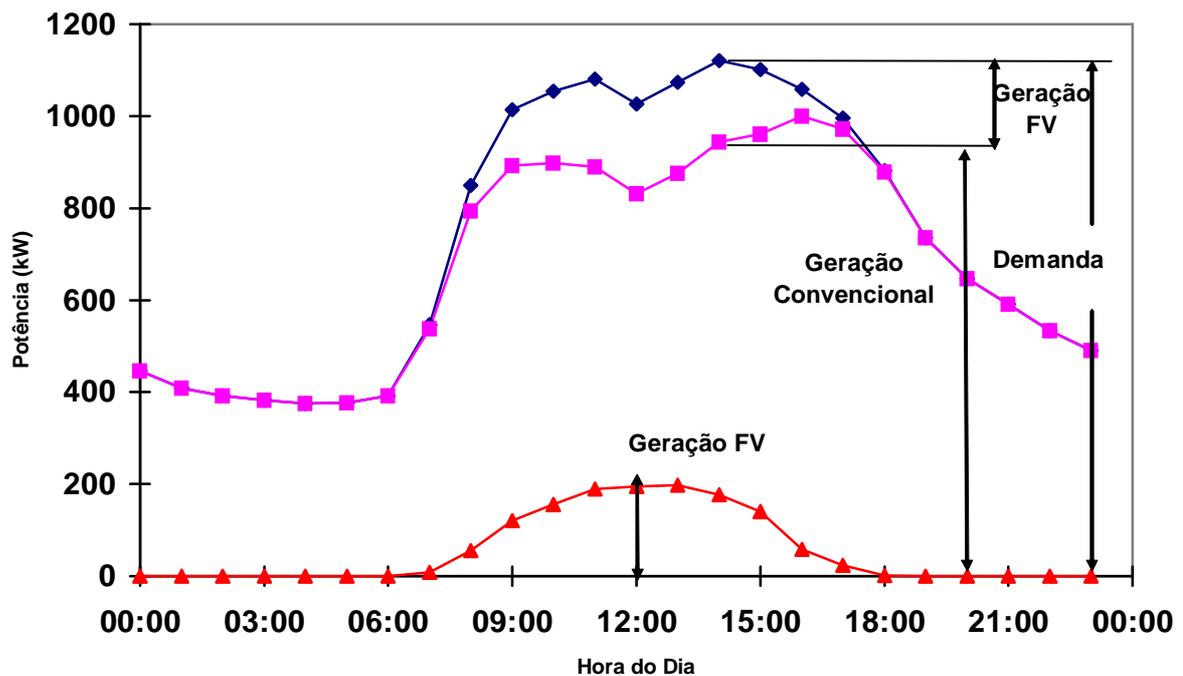


Gráfico 4.2 -A curva superior (losangos) é a curva do perfil de carga original do alimentador; a curva inferior (triângulos) representa a geração fotovoltaica para o dia correspondente, com determinado nível de penetração; a curva intermediária (quadrados) mostra a nova curva de demanda, com o novo pico, que o alimentador tem que suprir (Jardim *et al*, 2008).

A geração fotovoltaica para um determinado nível de penetração (NP) será obtida através dos dados da geração do SFIRD 2kWp através da proporcionalidade deste com o sistema necessário para atingir o NP desejado, ou seja:

$$GFV_{NPx i} = (GFV_{2kWp i} \times FV_{NPx}) / 2,078 \quad [\text{Eq. 4.3}]$$

Onde: $GFV_{NPx i}$ - Geração Fotovoltaica para um sistema que atinja determinado NP no instante i.

FV_{NPx} - Capacidade instalada necessária para atingir determinado NP.

4.6. Nível de Penetração (NP)

O Nível de Penetração relaciona a proporção da potência nominal instalada do SFIRD com o pico de demanda, como mostra a equação 3.4:

$$NP = (FV / \text{Pico C}) \times 100 \quad [\text{Eq. 4.4}]$$

4.7. Nível de Penetração Energética (NPE)

O Nível de Penetração Energética relaciona a proporção da energia gerada pelo SFIRD em comparação à energia demandada pelo alimentador em um período de tempo definido, como mostra a equação 4.5:

$$\text{NPE} = (\text{EFV} / \text{EALI}) \times 100 \quad [\text{Eq. 4.5}]$$

Onde: NPE - Nível de penetração energética em por centos;

EFV - Energia gerada pelo SFIRD (kWh);

EALI - Energia demandada pelo alimentador (kWh).

Capítulo 5 Resultados e Discussões

Neste capítulo serão apresentados os resultados sistematizados para uma melhor compreensão do trabalho. Os resultados completos para um NP de 10% encontram-se no Anexo I. Aqui serão apresentados os dados filtrados e o comportamento do SFIRD para outros NPs. No Gráfico 5.1 pode-se observar o comportamento dos picos de carga diários e da temperatura (obtida do sistema de aquisição de dados do SFIRD 2,078 kWp) ao longo do ano de 2004 do alimentador TDE-07.

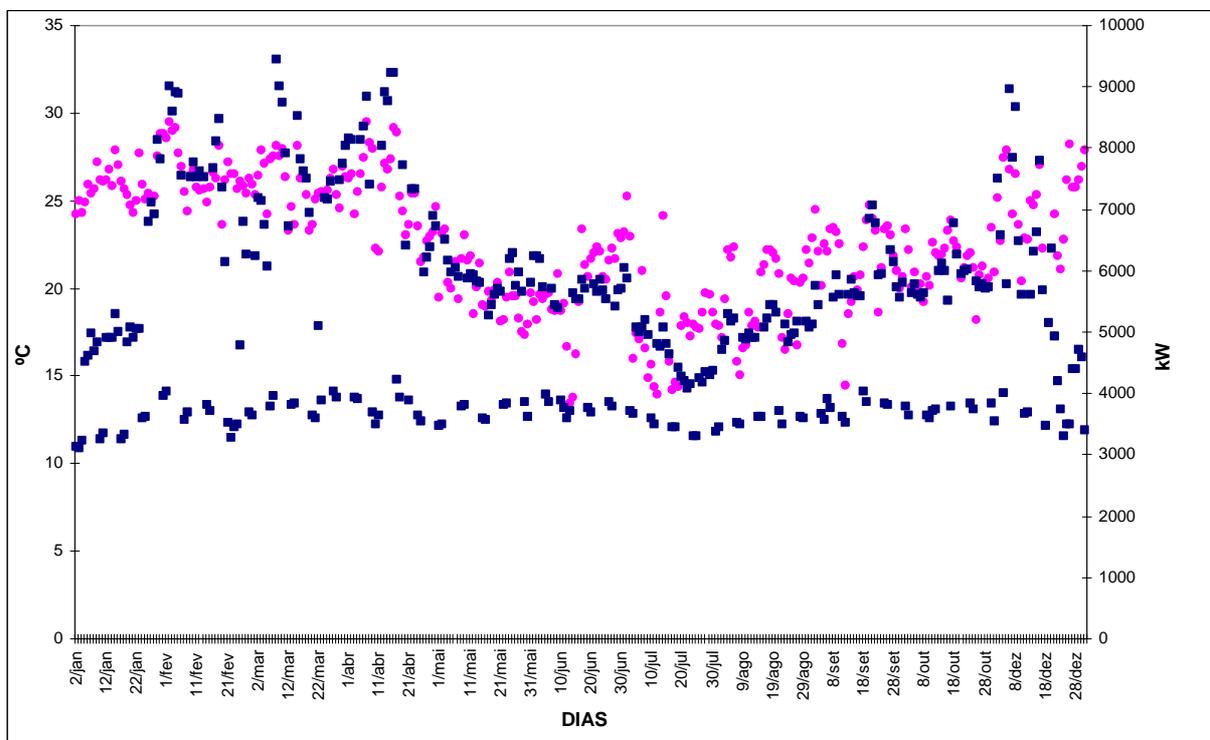


Gráfico 5.1: Comportamento dos picos de carga (quadrados) do alimentador TDE-07 e da temperatura média diária (bolas) ao longo do ano de 2004.

Percebe-se no Gráfico 5.1 que a grande concentração dos maiores picos de carga está nos meses do início e final de ano, como também pode ser visto no Gráfico 5.2. Isso pode ser correlacionado às maiores temperaturas que ocorrem neste período, que demandam uma maior utilização de equipamentos de refrigeração como os ar-condicionados, equipamentos estes que demandam uma grande quantidade de energia. Também se observa que existe uma grande incidência de picos na faixa entre 3000 e 4000 kW. Estes picos são relativos aos finais de semana onde o consumo energético cai fortemente no alimentador TDE-07, pois o consumo deste alimentador está diretamente ligado às atividades da universidade: assim ele apresenta duas características bem distintas, nos dias úteis uma característica prioritariamente comercial e nos finais de semana e feriados uma característica mais residencial, o que pode ser comprovado no Gráfico 5.3.

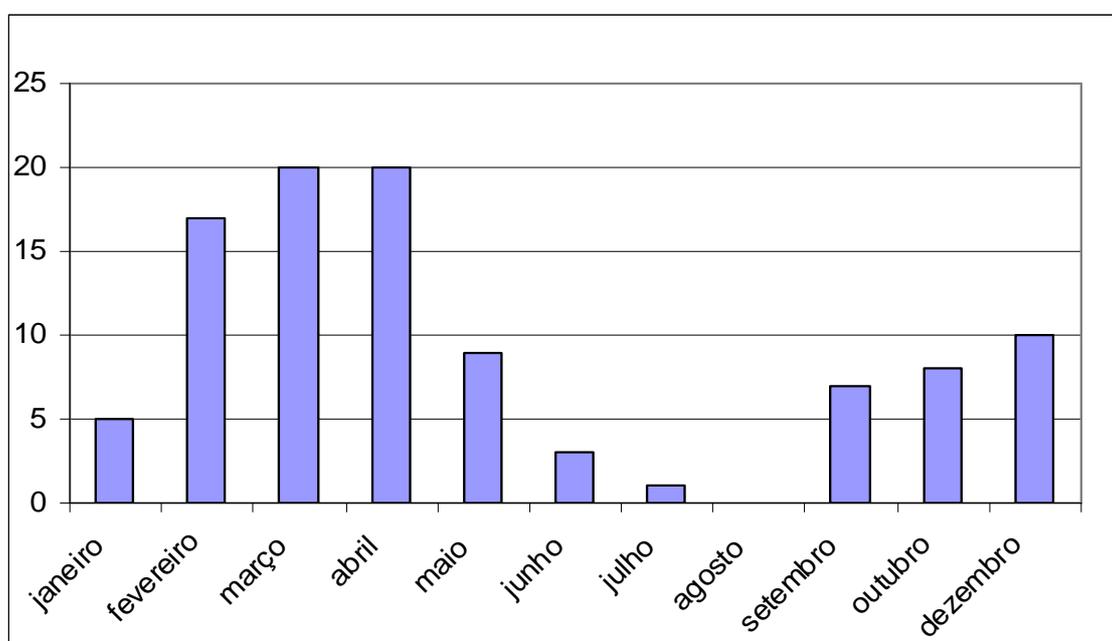


Gráfico 5.2: Distribuição dos 100 maiores picos ao longo do de 2004 do alimentador TDE-07.

No Gráfico 5.3 observa-se que a correlação entre temperatura e pico de demanda de determinado dia cresce na medida em que vamos eliminando os períodos onde as atividades da universidade são menores, sendo esta correlação maior quando analisa-se apenas os dias úteis e que estavam dentro do período letivo (Gráfico 5.3(d)).

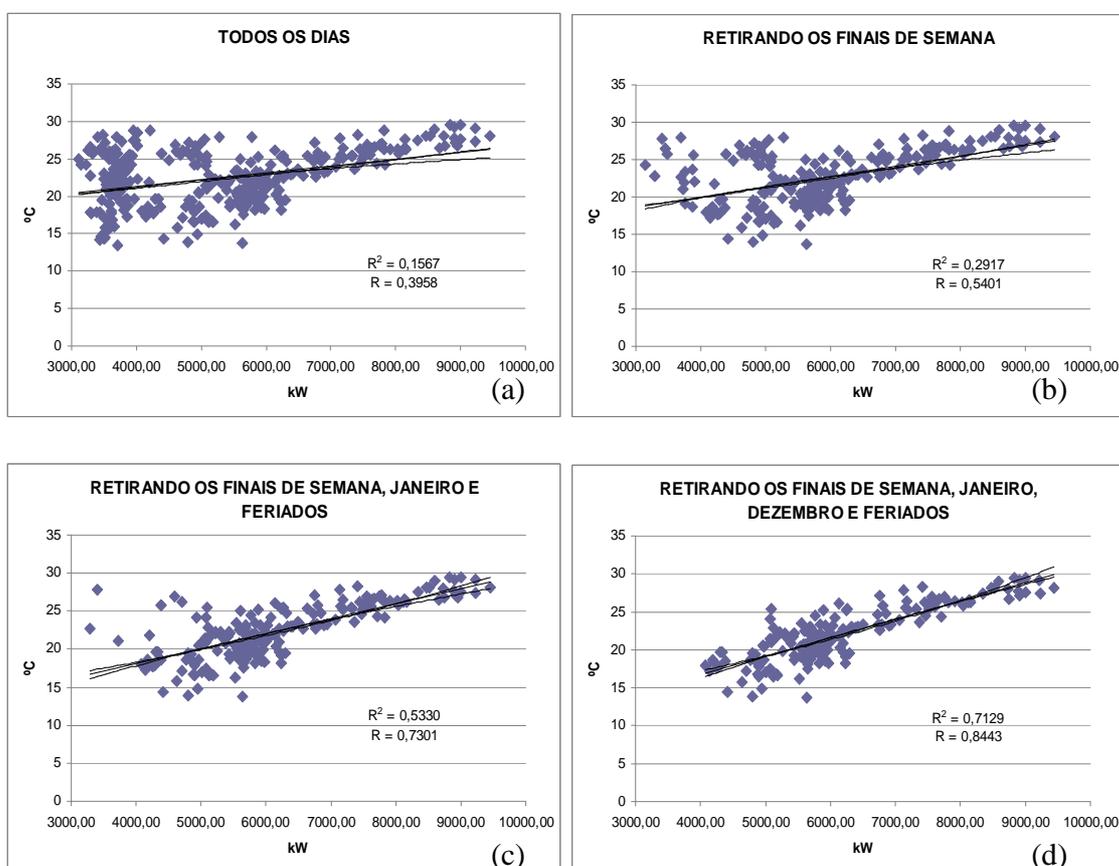


Gráfico 5.3: (a) Diagrama de dispersão da temperatura (°C) pelo pico de demanda do dia (kW) para todos os dias do ano e respectivo Coeficiente de Correlação (R^4); (b) Idem ao item (a) menos os finais de semana, (c) Idem ao item (a) menos os finais de semana, mês de Janeiro e feriados; (d) Idem ao item (a) menos os finais de semana, mês de Janeiro, mês de Dezembro e feriados.

⁴ **Coeficiente de Correlação (R)**- Medida do grau de associação entre duas características a partir de uma série de observações, sendo que, $R = 1$ (diretamente proporcional), $R = -1$ (inversamente proporcional).

O alimentador TDE-07, como já dito anteriormente, apresenta dois comportamentos bem distintos, o que pode ser evidenciado no Gráfico 5.4.

O primeiro se refere aos dias úteis onde o alimentador apresenta comportamento diurno, curva superior do Gráfico 5.4, com o pico de carga geralmente por volta das 14 horas com um vale em torno do meio-dia, este vale ocasionado pelo horário de almoço do setor comercial.

O segundo comportamento é referente aos finais de semana e feriados onde o setor residencial da área de abrangência deste alimentador exerce maior influência sobre a demanda deste, assim a característica da curva de carga do TDE-07 é noturna, curva inferior do Gráfico 5.4, com o pico de carga por volta das 19 horas. Porém esse pico de carga em quase sua totalidade é inferior ao pico de carga dos dias úteis.

Em todo ano de 2004 verificou-se apenas um sábado (16/10/2004) e dois domingos (05/12/2004 e 19/12/2004) com característica diurna. Os dias de final de semana que apresentaram característica diurna podem ser facilmente explicados devido ao fato de que nestes dias ter ocorrido provas de concursos no campus da universidade: sendo assim houve no campus uma grande demanda por refrigeração das salas onde ocorriam as provas.

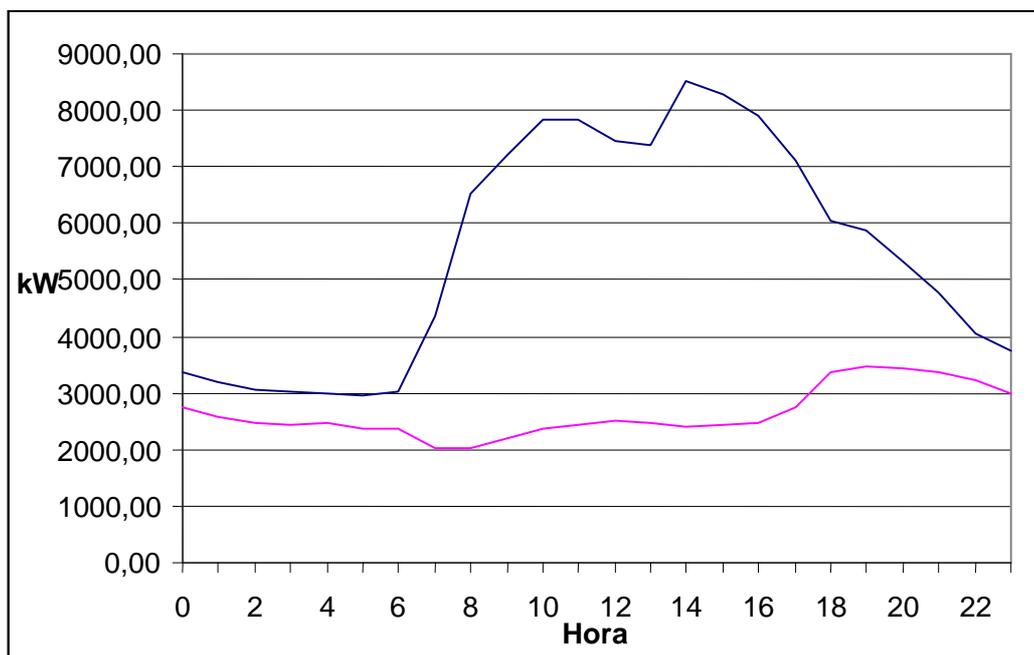


Gráfico 5.4: Curvas com características diurna (superior), dias úteis, e característica noturna (inferior), finais de semana.

A Gráfico 5.5 também exemplifica a forte relação existente entre a demanda de um alimentador com pico diurno e a geração solar. A curva superior (losangos) é o perfil de demanda original do alimentador TDE_07, para três dias consecutivos com diferentes condições climáticas. As variações devidas às diferentes condições climáticas são evidenciadas na curva inferior (triângulos) que corresponde à geração solar. A curva intermediária (quadrados) é o perfil de demanda resultante para o alimentador, correspondente à demanda original menos o perfil da geração FV, considerando um nível de penetração de 10%. A linha reta superior (azul) representa o pico histórico de demanda do alimentador e a linha reta inferior (vermelha) pode ser considerada como um novo valor de demanda, definido como o pico máximo após a inserção da geração FV (Demanda limite com FV). Este valor de "Demanda limite com FV" não deverá ser excedido, de modo a

maximizar os benefícios da geração FV como uma ferramenta para redução de pico diurno (Rüther *et al.*, 2008).

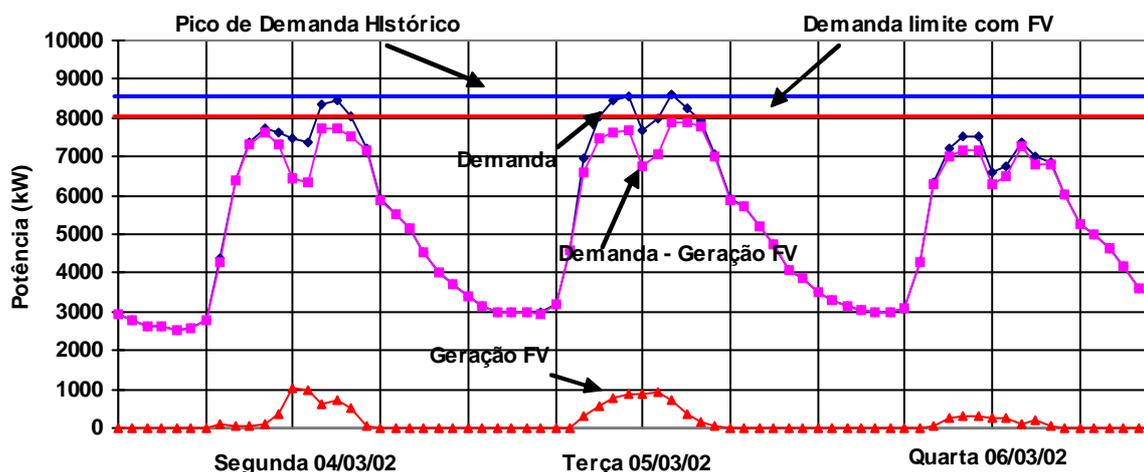


Gráfico 5.5 - Comportamento da demanda do alimentador TDE_07 para três dias consecutivos com perfis distintos de irradiação solar. A curva superior (losangos) é o perfil original da curva de carga; a curva mais baixa (triângulos) representa a geração FV correspondente aos três dias e a curva intermediária (quadrados) mostra a perfil resultante da carga que o alimentador tem que atender. Mesmo em um dia bastante nublado, o nível “Demanda limite com FV” não foi excedido.

No dia 4 de março de 2002, segunda-feira, a curva de geração solar é caracterizada por um dia com céu encoberto, resultando numa demanda baixa. Após o meio dia, houve o acréscimo na demanda, possivelmente ocasionado pelo aumento da irradiação solar e conseqüente aumento na carga por ar-condicionados, sendo esta, no entanto, compensada pela disponibilidade de geração solar fotovoltaica adicional. Na terça-feira, 5 de março, verifica-se um dia limpo com grande disponibilidade solar (sem interferência de nuvens). Dessa maneira, a demanda também foi acrescida em relação aos outros dias, mostrando a forte relação entre elas. Ambas as curvas, de demanda e de geração solar, apresentam

valores elevados. Na quarta-feira, 6 de março, foi um dia nublado, com a demanda reduzida para valores abaixo do nível de penetração FV de 10%, o que significa que não houve geração FV (ou foi muito pequena), mas o novo pico de demanda do alimentador em momento algum foi atingido, porque as cargas (como ar condicionado, por exemplo), também foram baixas e em fase com as condições do dia encoberto.

5.1 Cálculo do FECC

O FECC foi calculado para todos os dias do ano de 2004 disponíveis nos bancos de dados, totalizando assim 334 dias analisados (91,5% de disponibilidade). O FECC foi calculado de duas maneiras para todos os dias, a primeira se utilizando dos dados reais da geração fotovoltaica do SFIRD 2kWp e a outra simulando a geração fotovoltaica de um dia limpo. Na tabela a seguir serão apresentados os valores do FECC para os 50 maiores picos, incluindo a temperatura média deste dia, usando as duas gerações FV diferentes (real e dia limpo simulado). Nesta tabela também consta a diferença entre os dois valores de FECC decorrentes. Para o cálculo do FECC de um dia limpo selecionou-se um dia limpo de cada mês, ou seja, um dia onde não houvesse descontinuidade na geração FV, seguindo a metodologia de Jardim (2007).

Tabela 5.1: Cinquenta maiores picos de demanda de 2004, com os FECC reais e do dia limpo para um NP de 10% e as temperaturas médias em °C.

Posição	Data	Pico C (kW)	Temperatura (°C)	FECC [A]	FECC (dia limpo) [B]	[A]-[B]
1	8/3/2004	9445,95	28,12	59,45%	53,50%	5,95%
2	15/4/2004	9230,83	27,37	57,34%	67,77%	-10,43%
3	16/4/2004	9220,07	29,16	49,02%	60,71%	-11,69%
4	2/2/2004	8999,22	29,49	43,86%	76,39%	-32,53%
5	9/3/2004	8998,50	27,56	25,05%	45,72%	-20,67%
6	6/12/2004	8946,15	26,73	46,22%	62,03%	-15,81%
7	13/4/2004	8914,60	27,10	62,84%	68,16%	-5,32%
8	4/2/2004	8903,85	29,17	63,74%	73,63%	-9,89%
9	5/2/2004	8893,09	27,73	55,30%	76,39%	-21,09%
10	7/4/2004	8829,27	29,50	59,60%	68,16%	-8,56%
11	14/4/2004	8751,83	26,73	40,01%	65,83%	-25,82%
12	10/3/2004	8735,33	27,99	48,99%	58,90%	-9,91%
13	8/12/2004	8667,93	26,47	38,71%	69,47%	-30,76%
14	3/2/2004	8592,64	28,97	74,07%	76,39%	-2,32%
15	15/3/2004	8524,52	28,10	66,17%	58,90%	7,27%
16	18/2/2004	8467,15	28,11	27,88%	71,86%	-43,98%
17	6/4/2004	8342,38	27,48	51,64%	68,16%	-16,52%
18	1/4/2004	8158,09	26,28	59,41%	68,16%	-8,75%
19	2/4/2004	8138,74	26,49	61,43%	68,16%	-6,73%
20	29/1/2004	8137,30	27,55	75,78%	73,02%	2,76%
21	5/4/2004	8137,30	26,48	40,59%	68,16%	-27,57%
22	17/2/2004	8117,94	26,22	68,91%	71,86%	-2,95%
23	12/4/2004	8044,80	25,74	64,13%	68,16%	-4,03%
24	31/3/2004	8026,87	26,32	65,38%	58,90%	6,48%
25	11/3/2004	7909,99	26,36	31,19%	58,99%	-27,80%
26	7/12/2004	7834,70	24,20	10,82%	53,38%	-42,56%
27	16/3/2004	7822,51	26,27	45,60%	58,90%	-13,30%
28	30/1/2004	7815,34	28,78	53,99%	56,79%	-2,80%
29	16/12/2004	7780,20	27,02	57,27%	62,03%	-4,76%
30	10/2/2004	7762,27	26,76	78,02%	76,39%	1,63%
31	30/3/2004	7753,67	26,92	62,02%	45,48%	16,54%
32	19/4/2004	7709,21	24,36	20,51%	68,16%	-47,65%
33	16/2/2004	7671,92	26,62	40,94%	71,86%	-30,92%
34	17/3/2004	7631,05	26,44	42,56%	58,90%	-16,34%
35	12/2/2004	7614,56	25,61	71,92%	73,27%	-1,35%
36	6/2/2004	7557,19	26,92	69,92%	75,36%	-5,44%
37	9/2/2004	7536,40	26,40	77,08%	76,39%	0,69%
38	11/2/2004	7525,64	25,74	40,71%	76,39%	-35,68%
39	13/2/2004	7525,64	25,63	36,40%	76,39%	-39,99%
40	18/3/2004	7506,28	25,34	22,87%	58,90%	-36,03%
41	2/12/2004	7488,35	25,12	67,61%	69,47%	-1,86%
42	29/3/2004	7466,84	24,53	49,41%	58,90%	-9,49%
43	26/3/2004	7448,91	26,26	58,89%	58,90%	-0,01%
44	8/4/2004	7411,63	28,27	55,28%	64,28%	-9,00%
45	19/2/2004	7362,86	23,62	10,90%	49,49%	-38,59%
46	23/4/2004	7326,29	25,36	58,76%	68,16%	-9,40%
47	22/4/2004	7320,56	25,44	9,97%	68,16%	-58,19%
48	24/3/2004	7186,47	25,16	59,91%	58,90%	1,01%
49	2/3/2004	7180,73	26,45	47,84%	30,50%	17,34%
50	25/3/2004	7157,78	25,58	57,28%	58,55%	-1,27%

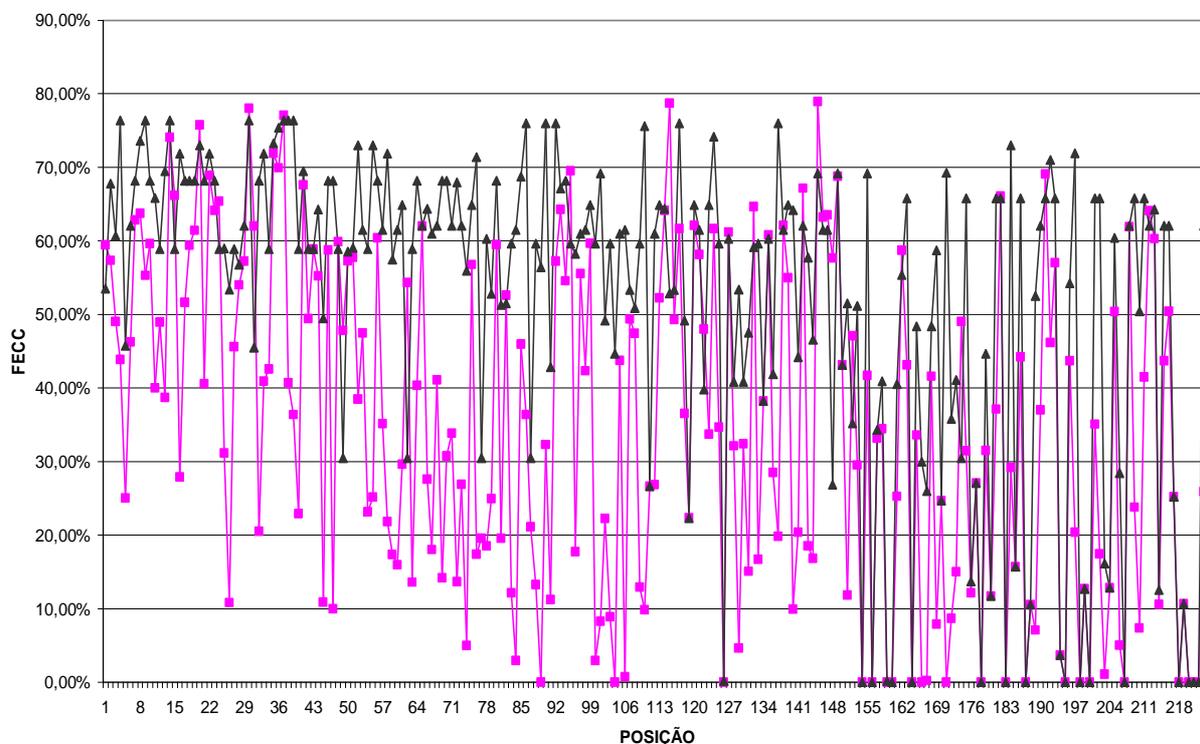


Gráfico 5.6.: FECC real (quadrados) e FECC dia limpo (triângulos) para um NP de 10%.

Como se observa na Tabela 5.1 e no Gráfico 5.6 o FECC real é geralmente menor do que o FECC do dia limpo, isso devido às nebulosidades que existem diariamente. Os casos onde o FECC real foi maior acontecem nos dias onde a incidência solar naquele dia foi maior que a referência de dia limpo, pelo menos no instante de maior pico de demanda.

Pelo Gráfico 5.6 também se pode verificar que na região dos maiores picos os valores dos FECCs se mantêm mais elevados, o que mostra que nos dias onde a demanda energética é maior a despachabilidade do SFIRD também é maior, como pode-se observar no Gráfico 5.6 até o dia de posição 50 apenas 10 dias (20%) apresentam FECC real menores que 40% já após esta posição a maior parte dos FECC real é menor que este valor .

A Tabela 5.2 apresenta os 50 maiores FECC em ordem decrescente. É interessante observar que vinte e um desses dias se encontram entre os 50 maiores picos de demanda de 2004. Isso nos mostra que os dias onde o SFIRD foi mais despachável coincidem com os dias onde o alimentador foi mais requisitado.

Tabela 5.2: Cinquenta maiores FECC reais para um NP de 10%.

Posição	Data	Pico C (kW)	FECC	Posição	Data	Pico C (kW)	FECC
145	17/9/2004	5591,70	78,95%	7	13/4/2004	8914,60	62,84%
115	27/10/2004	5781,73	78,75%	120	29/10/2004	5736,55	62,12%
30	10/2/2004	7762,27	78,02%	138	15/9/2004	5618,95	62,11%
37	9/2/2004	7536,40	77,08%	31	30/3/2004	7753,67	62,02%
20	29/1/2004	8137,30	75,78%	65	15/12/2004	6635,76	61,98%
14	3/2/2004	8592,64	74,07%	208	29/12/2004	4707,56	61,97%
35	12/2/2004	7614,56	71,92%	124	28/10/2004	5715,04	61,69%
36	6/2/2004	7557,19	69,92%	117	5/10/2004	5768,10	61,64%
95	27/5/2004	5973,19	69,52%	19	2/4/2004	8138,74	61,43%
191	12/1/2004	4911,92	69,08%	127	18/6/2004	5701,42	61,22%
22	17/2/2004	8117,94	68,91%	135	14/6/2004	5636,88	60,81%
149	8/9/2004	5548,68	68,78%	56	29/4/2004	6901,79	60,40%
41	2/12/2004	7488,35	67,61%	213	5/1/2004	4506,78	60,29%
142	13/12/2004	5607,48	67,18%	48	24/3/2004	7186,47	59,91%
15	15/3/2004	8524,52	66,17%	99	20/10/2004	5945,94	59,69%
182	23/1/2004	5052,47	66,07%	10	7/4/2004	8829,27	59,60%
24	31/3/2004	8026,87	65,38%	80	27/4/2004	6202,65	59,52%
132	28/5/2004	5654,81	64,66%	1	8/3/2004	9445,95	59,45%
93	15/10/2004	5991,11	64,29%	18	1/4/2004	8158,09	59,41%
114	5/12/2004	5788,18	64,14%	43	26/3/2004	7448,91	58,89%
23	12/4/2004	8044,80	64,13%	46	23/4/2004	7326,29	58,76%
212	30/12/2004	4596,41	64,08%	162	4/8/2004	5299,14	58,74%
8	4/2/2004	8903,85	63,74%	122	29/9/2004	5735,84	58,15%
147	30/9/2004	5564,46	63,55%	51	3/3/2004	7130,53	57,78%
146	16/9/2004	5588,12	63,23%	148	7/10/2004	5559,44	57,68%

Nota-se na Tabela 5.2 uma grande quantidade de dias entre os 50 maiores FECCs que não estão entre os dias de maior demanda energética. Estes eventos apresentaram altos FECCs pois o momento de maior demanda energética é bem mais próximo do momento de maior geração fotovoltaica. Como no caso do dia 17/09/2004 que apresentou o maior FECC,

o horário de maior demanda energética neste dia foi às 11 horas, como pode ser verificado no Gráfico 5.7, diferentemente da maioria dos dias que figuram entre os de maiores demandas energéticas, nos quais o momento de maior demanda é às 14 horas, assim sendo mais distante das 12 horas, horário de maior geração fotovoltaica.

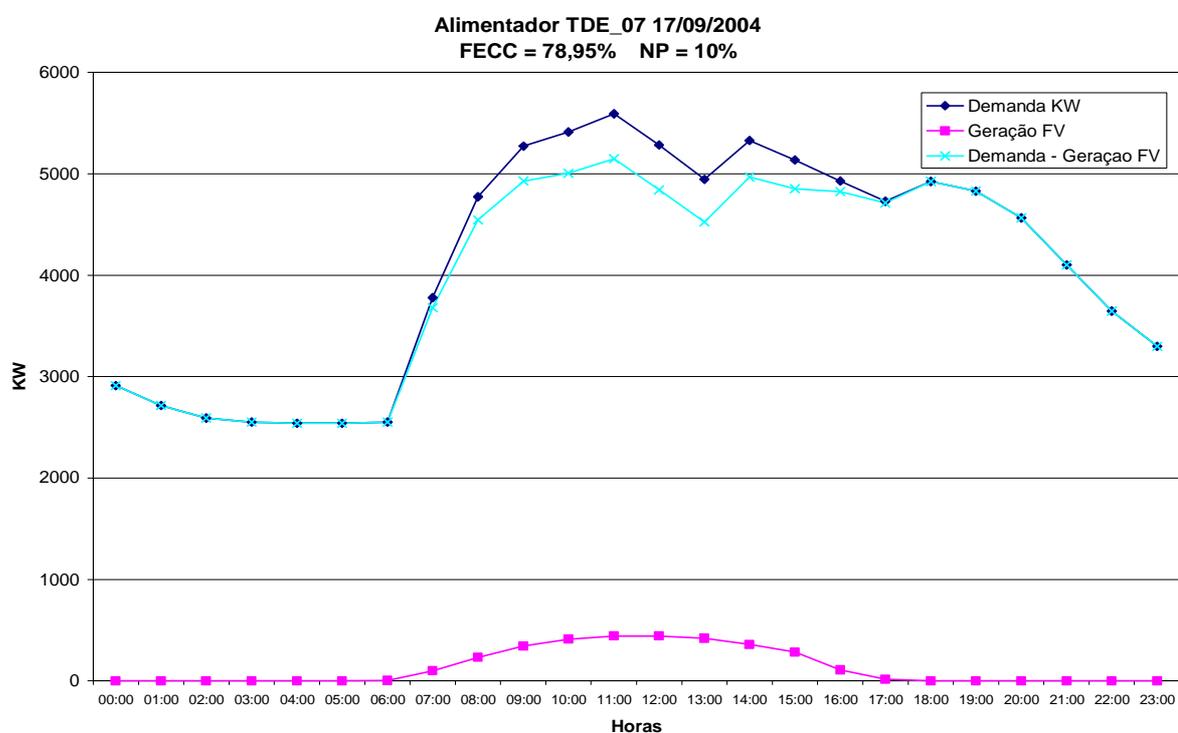


Gráfico 5.7: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 10% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 17/09/2004.

5.2 Cálculo do FECC para os 10 maiores picos de 2004 para diferentes NP

Nas tabelas 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6 são apresentados os valores de FECC para os dez maiores picos de carga registrados no ano de 2004 no alimentador TDE-07, para os NP de 1%, 5%, 10% e 25% respectivamente onde:

PICO C - Refere-se ao maior demanda registrada neste dia (kW);

FV - Capacidade fotovoltaica instalada dependente do NP(kWp);

PICO CFV - Maior demanda energética após inserção do sistema fotovoltaico (kW);

REDUÇÃO - Diferença entre o PICO C e o PICO CFV (kW).

Tabela 5.3: FECC para NP = 1% para os dez maiores picos.

Dia	PICO C (kW)	FV(kWp)	PICO CFV(kW)	REDUÇÃO(kW)	FECC
08/03/2004	9445,95	94,45	9388,53	57,42	60,78%
15/04/2004	9230,83	92,30	9174,08	56,75	61,48%
16/04/2004	9220,07	92,20	9165,25	54,82	59,46%
02/02/2004	8999,22	89,99	8933,95	65,27	73,53%
09/03/2004	8998,50	89,98	8975,96	22,54	25,05%
06/12/2004	8946,15	89,46	8904,80	41,35	46,22%
13/04/2004	8914,60	89,14	8858,58	56,02	62,84%
04/02/2004	8903,85	89,03	8842,98	60,87	68,35%
05/02/2004	8893,09	88,93	8837,85	55,24	62,12%
07/04/2004	8829,27	88,29	8776,65	52,62	59,60%

A Tabela 5.3 nos mostra que para NP relativamente baixos os FECC são bastante elevados, como no dia 02/02/2004 onde o FECC chegou a 73,53%, ou seja, uma planta fotovoltaica de 89,99 kWp proporcionaria uma queda de 65,27 kW no pico da curva de carga deste dia.

Na Tabela 5.4 pode-se observar que em alguns dias já se obteve uma queda no FECC considerável com um pequeno acréscimo do NP. No caso do dia 02/02/2004 que para o NP 1% apresentava o maior FECC (75,53%) houve uma queda acentuada para o NP 5% chegando ao valor de 57,16%. Porém na grande maioria dos dias o FECC permaneceu constante.

Tabela 5.4: FECC para NP = 5% para os dez maiores picos.

Dia	PICO C (kW)	FV(kWp)	PICO CFV(kW)	REDUÇÃO(kW)	FECC
08/03/2004	9445,95	472,30	9158,87	287,08	60,78%
15/04/2004	9230,83	461,54	8947,08	283,75	61,47%
16/04/2004	9220,07	461,00	8969,33	250,74	54,39%
02/02/2004	8999,22	449,96	8742,00	257,21	57,16%
09/03/2004	8998,50	449,92	8885,79	112,71	25,04%
06/12/2004	8946,15	447,31	8739,39	206,76	46,22%
13/04/2004	8914,60	445,73	8634,51	280,09	62,83%
04/02/2004	8903,85	445,19	8612,20	291,65	65,51%
05/02/2004	8893,09	444,65	8616,88	276,21	62,11%
07/04/2004	8829,27	441,46	8566,15	263,12	59,60%

Já na tabela 5.5 pode-se observar uma tendência de queda do FECC em quase todos os dias. Porém na grande maioria dos dias os valores dos FECCs ainda são elevados. Isso nos indica uma forte correlação entre a ocorrência do pico de demanda do alimentador e do pico de geração fotovoltaica, correlação esta que já era esperada devido ao fato de já se saber que este alimentador apresentava características diurnas.

Tabela 5.5: FECC para NP = 10% para os dez maiores picos.

Dia	PICO C (kW)	FV(kWp)	PICO CFV(kW)	REDUÇÃO(kW)	FECC
08/03/2004	9445,95	944,60	8884,39	561,56	59,45%
15/04/2004	9230,83	923,08	8701,50	529,33	57,34%
16/04/2004	9220,07	922,01	8768,07	452,01	49,02%
02/02/2004	8999,22	899,92	8604,54	394,68	43,85%
09/03/2004	8998,50	899,85	8773,09	225,41	25,04%
06/12/2004	8946,15	894,62	8532,63	413,52	46,22%
13/04/2004	8914,60	891,46	8354,42	560,18	62,84%
04/02/2004	8903,85	890,38	8336,32	567,52	63,74%
05/02/2004	8893,09	889,31	8401,26	491,83	55,30%
07/04/2004	8829,27	882,93	8303,03	526,24	59,60%

Na tabela 5.6 é importante observar a forte queda do FECC em quase todos os dias, mas também que nos dias 07/04/2004 e 09/03/2004 não houve alteração do FECC com a alteração do NP. Porém no dia 07/04/2004 registramos o maior FECC para o NP 25% e para o dia 09/03/2004 registramos o menor FECC para o NP 25%, isso nos leva a fazer um estudo mais detalhado, que será apresentado nas sessões a seguir, do comportamento do FECC nestes dias.

Tabela 5.6: FECC para NP = 25% para os dez maiores picos.

Dia	PICO C (kW)	FV(kWp)	PICO CFV(kW)	REDUÇÃO(kW)	FECC
08/03/2004	9445,95	2361,49	8492,87	953,09	40,35%
15/04/2004	9230,83	2307,71	8079,60	1151,23	49,88%
16/04/2004	9220,07	2305,02	8164,27	1055,80	45,80%
02/02/2004	8999,22	2249,80	8192,16	807,06	35,87%
09/03/2004	8998,50	2249,62	8434,97	563,53	25,04%
06/12/2004	8946,15	2236,54	8146,95	799,20	35,73%
13/04/2004	8914,60	2228,65	7767,67	1146,93	51,46%
04/02/2004	8903,85	2225,96	7609,51	1294,34	58,14%
05/02/2004	8893,09	2223,27	8326,10	566,99	25,50%
07/04/2004	8829,27	2207,32	7513,68	1315,59	59,60%

A importância de se analisar diferentes NPs é para conhecer a evolução do FECC com o aumento da participação fotovoltaica no suprimento da demanda do alimentador, assim buscando otimizar esta participação, pois o ideal é trabalhar com o SFIRD sempre com sua despachabilidade máxima.

Pode-se observar nas quatro tabelas que para todos os NP analisados o dia onde se registra o maior PICO C é sempre coincidente com o dia onde se registra o maior PICO CFV, que é o dia 08/03/2004, para este alimentador no período analisado. Devido a isso foi feita uma análise mais detalhada deste dia que é apresentada nos Gráficos 5.7 e 5.8. Neste dia foi apresentada umas das maiores temperaturas médias do ano de 2004, que foi de 28,12°C, evidenciando assim a relação da temperatura com a demanda energética neste alimentador em dias úteis, ou seja, nos dias onde a característica comercial é mais forte em relação a residencial, sendo que o dia 08/03/2004 foi uma segunda-feira. O gráfico 4.6 apresenta as suas curvas de demanda, geração fotovoltaica para um NP de 10% e a nova curva de demanda após a inserção do SFIRD. No Gráfico 5.9 apresenta-se o comportamento do FECC neste dia para NP entre 1% e 50%.

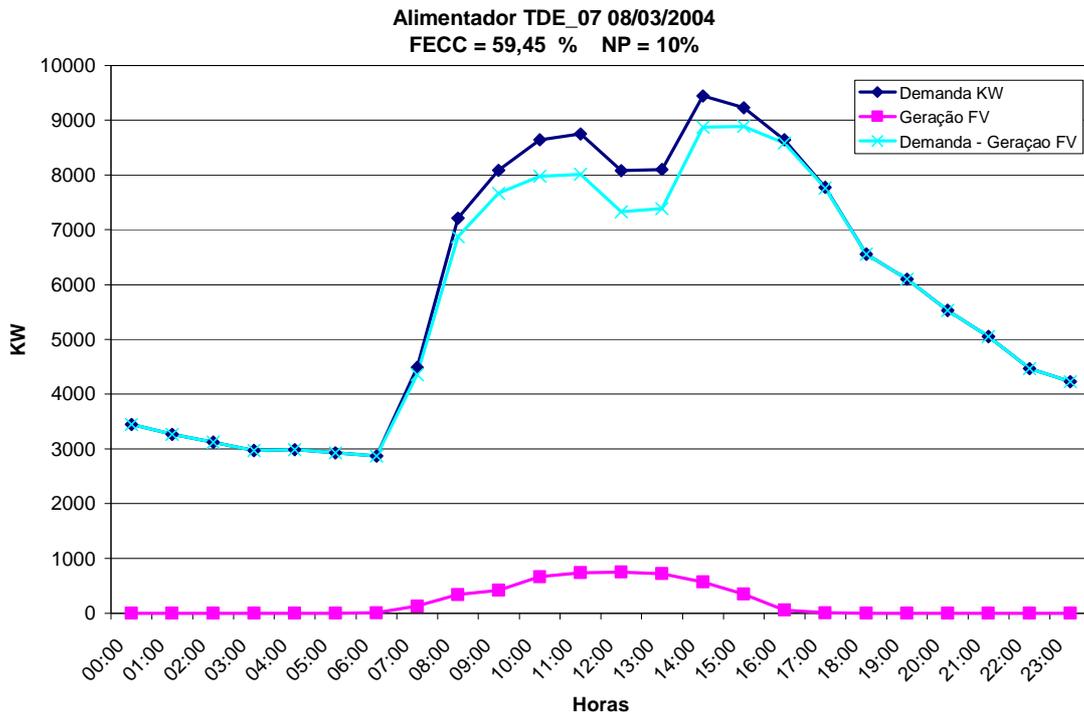


Gráfico 5.8: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 10% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 08/03/2004.

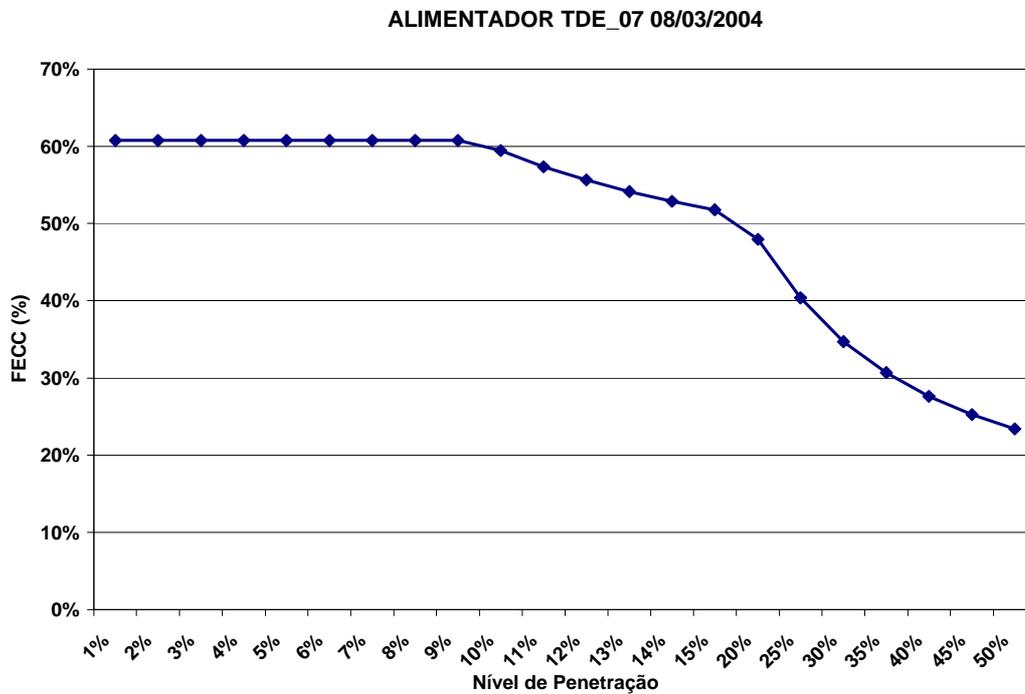


Gráfico 5.9: FECC do alimentador TDE-07 no dia 08/03/2004 para NP de 1% até 50%.

5.2.1 O Dia 07/04/2004

O dia 07/04/2004 foi escolhido para ter uma atenção especial nessas análises devido ao fato dele ter apresentado bons índices de FECC até NP elevados como o de 25 %, como pode-se ver no Gráfico 5.10. Até esse NP neste dia foi obtido um FECC de aproximadamente 60%, e apenas depois do NP 25 % que o FECC começou a cair.

Por isso este dia foi escolhido para demonstrar que ao analisar-se diferentes NPs se esta conhecendo a evolução do FECC com o aumento da participação fotovoltaica no suprimento da demanda do alimentador. Assim buscar-se-á otimizar a participação do SFIRD neste dia, buscando qual maior SFIRD que manterá a despachabilidade deste máxima.

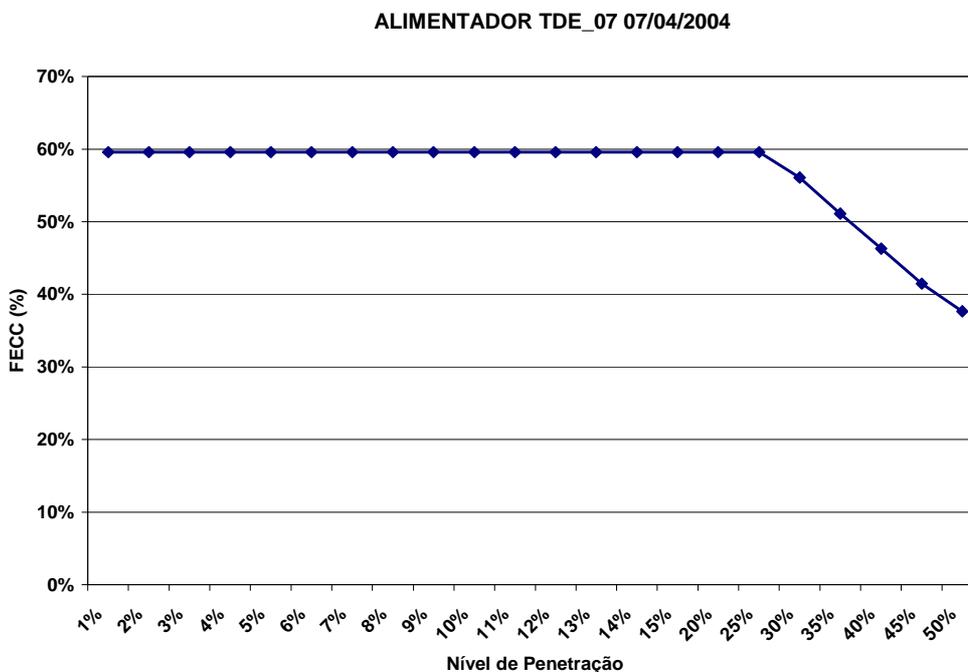


Gráfico 5.10: FECC do alimentador TDE-07 no dia 07/04/2004 para NP de 1% até 50%.

No Gráfico 5.11 pode-se observar que o pico de demanda acontece às 14 horas e que para um NP de 25% o pico de carga continua sendo às 14 horas. No Gráfico 5.10 observa-se que para NP maiores que 27,24% o FECC começa a diminuir e o Gráfico 5.12 mostra esse momento onde o pico da curva de demanda menos geração fotovoltaica passa a ser às 16 horas, ou seja, o pico de carga mudou a partir deste FECC como é corroborado pelo Gráfico 5.13 onde NP é de 40% e o valor da carga as 14 horas já é inferior ao pico de carga que agora já é 17 horas. Assim a nova característica da curva de demanda já caminha para noturna e o FECC começa a cair mais severamente, como para o NP de 40% o FECC caiu para 46,30% .

Assim sendo para um NP de 27,24%, que representa um SFIRD de 2405,09 kWp, se esta trabalhando com o SFIRD ótimo para este dia, ou seja, o maior SFIRD onde a despachabilidade deste continua máxima.

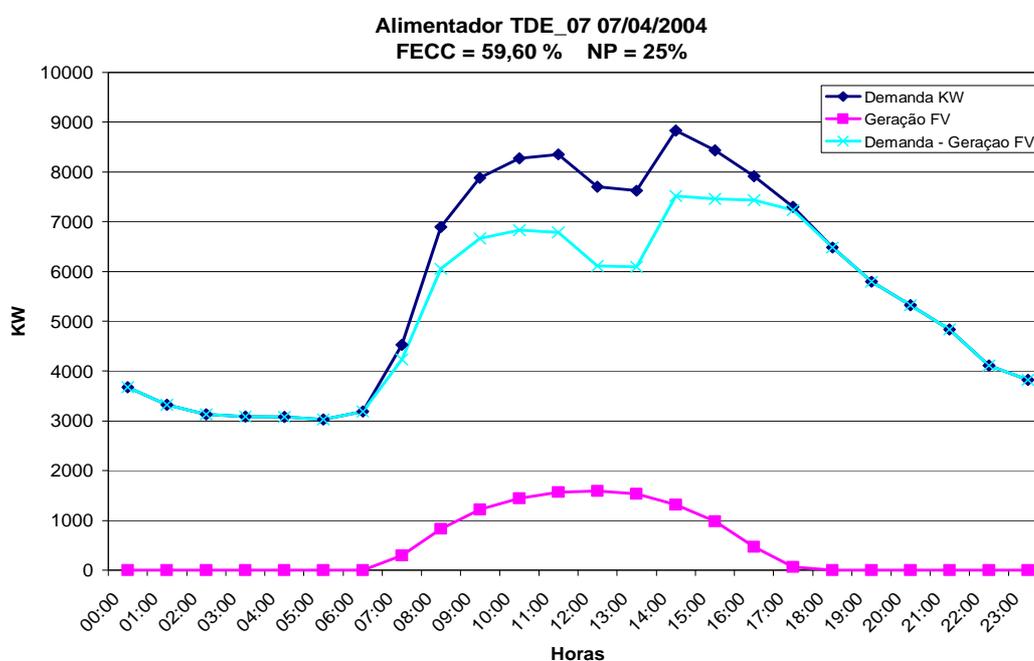


Gráfico 5.11: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 25% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 07/04/2004.

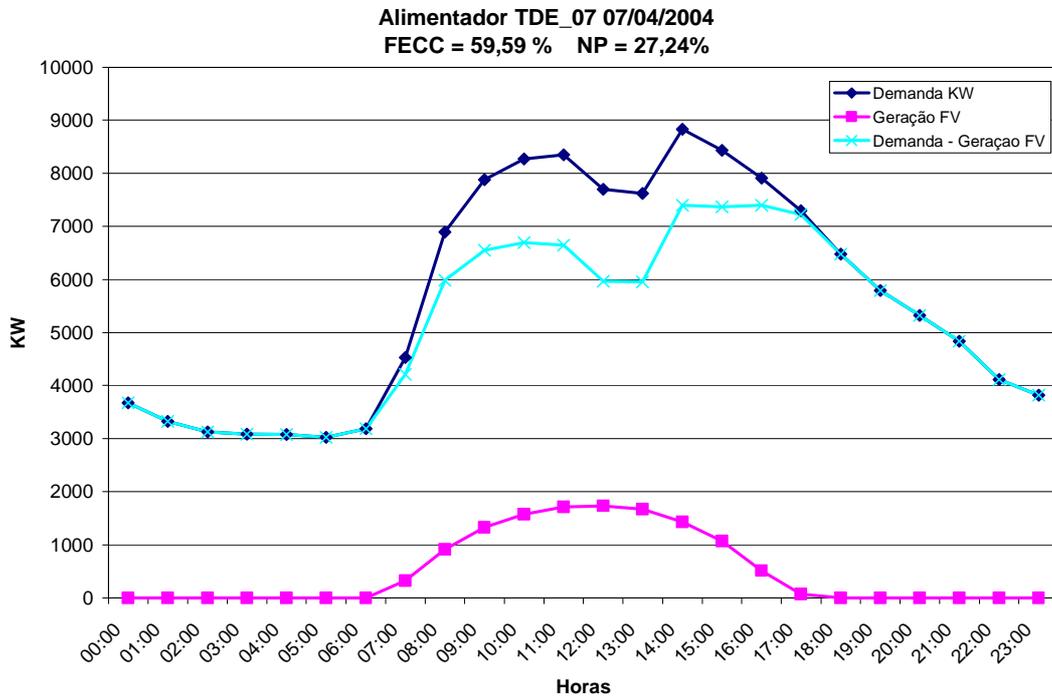


Gráfico 5.12: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 27,24% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 07/04/2004.

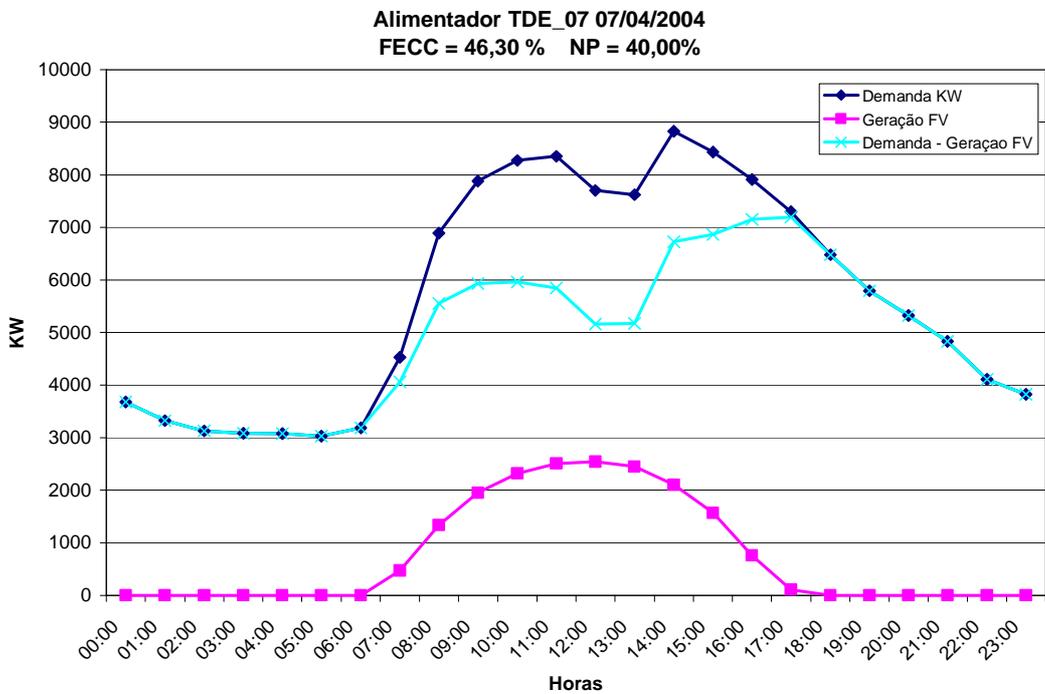


Gráfico 5.13: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 40% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 07/04/2004.

5.2.2 O Dia 09/03/2004

Como no caso anterior o dia 09/03/2007 foi escolhido para um aprofundamento maior em sua análise pelo fato de ter apresentado FECC constante até elevados NP. Diferentemente do dia 07/04/2004, no entanto, aqui o FECC apresentado foi relativamente baixo, na ordem dos 25% como se pode observar no Gráfico 5.14.

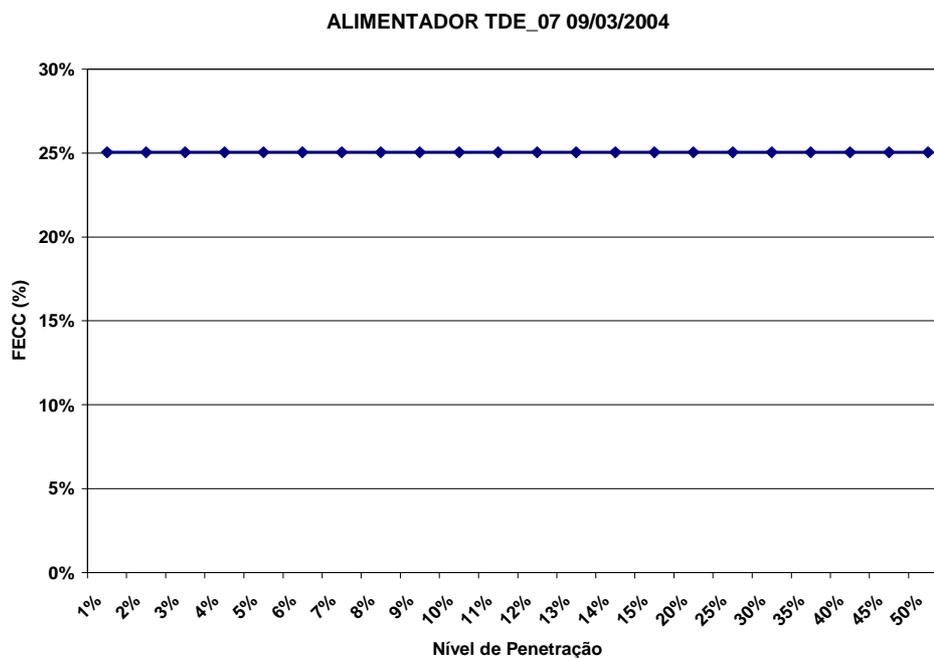


Gráfico 5.14: FECC do alimentador TDE-07 no dia 09/03/2004 para NP de 1% até 50%.

O fato do FECC nesse dia ser baixo deve-se à grande diferença apresentada entre o pico da geração fotovoltaica (12:00) e o ponto da curva de geração fotovoltaica no instante da demanda máxima (14:00), como pode-se observar no Gráfico 5.15 e principalmente pelo

fato de a geração solar ter diminuído consideravelmente após as 12 horas neste dia (presença de nuvens).

O Gráfico 5.15 também mostra que os picos das curvas de demanda e demanda menos geração fotovoltaica acontecem às 14 horas para um NP de 50%, e como no dia 07/04/2004, pode-se observar que enquanto esses picos forem coincidentes o FECC será constante.

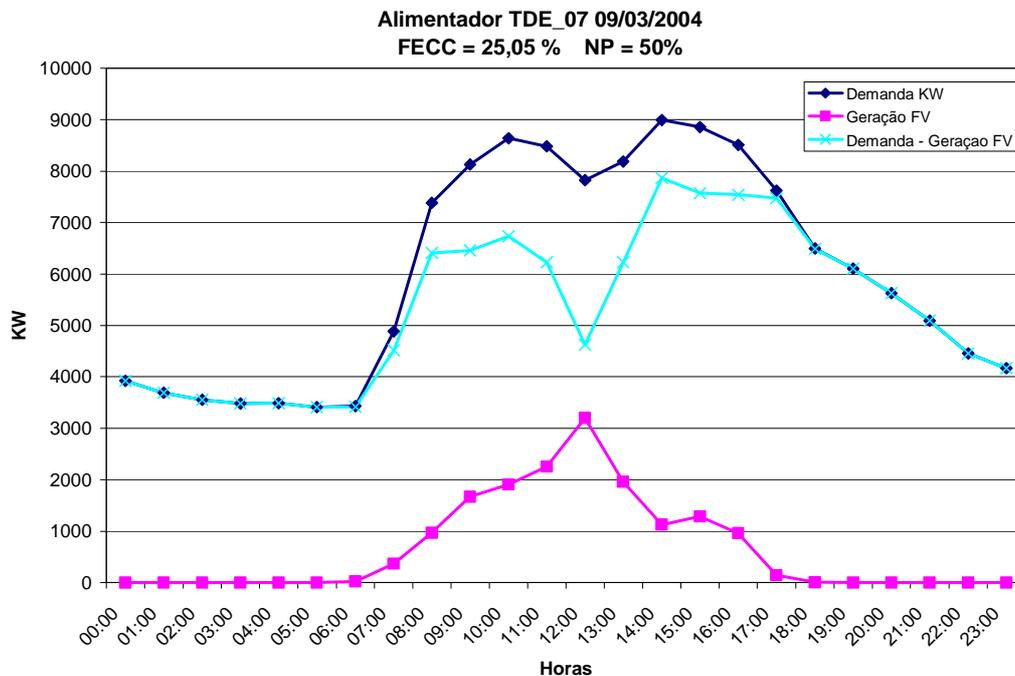


Gráfico 5.15: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 50% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 09/03/2004.

5.3O Cálculo do NPE

As seções anteriores apresentam dados a respeito da despachabilidade do sistema, indicando níveis de geração de potencia (kW) instantânea e seus efeitos na redução da demanda instantânea. Aqui serão mostrados os resultados obtidos em relação à participação que o SFIRD deu no montante de energia do alimentador (kWh ou MWh), ou seja, qual a porcentagem de energia elétrica fotovoltaica no total de energia do alimentador.

Para isso será utilizado o Nível de Penetração Energética (NPE). Na primeira parte serão apresentados os 30 maiores NPEs levando em consideração uma planta FV para um NP 10% referente a cada dia. No segundo momento será apresentado o NPE em relação a uma planta FV constante e equivalente a um NP de 10% do dia do pico histórico de 2004 e em um terceiro momento será levado em consideração os dados reais do SFIRD 2kWp, analisando a situação em que uma grande parte das edificações residenciais da região atendida pelo alimentador TDE-07 tivesse um gerador solar fotovoltaico deste porte instalado em sua cobertura.

5.3.1 O Cálculo do NPE para um NP de 10%

A Tabela 5.7 apresenta o NPE de cada dia referente ao NP de 10% daquele dia, para os 30 maiores picos de demanda de 2004. Pode-se observar que o NPE na maioria dos dias fica em torno dos 3%.

O dia 08/03/2004 é o dia do maior pico de demanda, porém como se pode observar na Tabela 5.7 não foi o dia de maior demanda energética. Neste dia foram consumidos no

alimentador TDE-07 138.134,39 kWh, menos que no dia 04/02/2004, quando foram consumidos 140.076,93 kWh. Isso se explica com o fato de que neste dia o pico de demanda não ter sido tão acentuado, mas nas horas seguintes a ele a demanda se manteve constante como se pode observar no Gráfico 5.16.

Da mesma maneira que o dia 08/03/2004 não foi o dia de maior demanda energética este dia tampouco foi o de maior geração FV, mesmo sendo o que levou ao maior SFIRD. O dia que apresentou a maior geração FV foi o dia 15/03/2004. Isso se deve a esse dia ter tido uma irradiação solar maior e mais constante como pode-se observar no Gráfico 5.17 onde apresenta-se a radiação solar destes dois dias. Com isso o NPE do dia 15/03/2004 foi um dos mais elevados obtidos no ano de 2004, atingindo 3,8%.

Na média de todos os dias analisados o NPE obtido para um SFIRD de NP 10% diário foi de 2,017%, isso devido aos vários dias com baixa incidência solar. Porém nos dias de maior pico de demanda os valores são em sua grande maioria superiores a esse valor, o que mostra que, quando a demanda é maior existe geração FV, ou seja, a forte demanda de alguns dias está ligada à incidência solar e temperaturas mais elevadas.

Tabela 5.7: NPE para os 30 maiores picos de demanda.

Posição	DATA	SFIRD de:(kWp)	Geração Solar (kWh/dia) NP 10%	Demanda energética do alimentador (kWh/dia)	NPE
1	8/3/2004	944,60	4755,28	138134,39	3,4%
2	15/4/2004	923,08	4157,05	139486,78	3,0%
3	16/4/2004	922,01	4694,83	140067,97	3,4%
4	2/2/2004	899,92	3912,39	134194,10	2,9%
5	9/3/2004	899,85	3175,16	140413,23	2,3%
6	6/12/2004	894,62	3577,54	134613,58	2,7%
7	13/4/2004	891,46	4759,38	133206,69	3,6%
8	4/2/2004	890,38	4532,40	140076,93	3,2%
9	5/2/2004	889,31	3192,39	136290,08	2,3%
10	7/4/2004	882,93	4529,86	132880,06	3,4%
11	14/4/2004	875,18	2806,75	135656,20	2,1%
12	10/3/2004	873,53	4061,30	135775,23	3,0%
13	8/12/2004	866,79	3177,07	129246,32	2,5%
14	3/2/2004	859,26	4176,20	132258,37	3,2%
15	15/3/2004	852,45	4839,41	128347,83	3,8%
16	18/2/2004	846,72	3029,89	129383,28	2,3%
17	6/4/2004	834,24	3130,02	127885,32	2,4%
18	1/4/2004	815,81	4437,78	122161,32	3,6%
19	2/4/2004	813,87	4026,12	124297,11	3,2%
20	29/1/2004	813,73	3680,02	121609,17	3,0%
21	5/4/2004	813,73	3063,11	123970,84	2,5%
22	17/2/2004	811,79	4778,23	122874,44	3,9%
23	12/4/2004	804,48	3399,37	118025,62	2,9%
24	31/3/2004	802,69	3971,53	120721,08	3,3%
25	11/3/2004	791,00	2181,74	127303,06	1,7%
26	7/12/2004	783,47	436,46	124112,10	0,4%
27	16/3/2004	782,25	3063,05	121437,44	2,5%
28	30/1/2004	781,53	3846,27	124215,72	3,1%
29	16/12/2004	778,02	4028,92	116743,50	3,5%
30	10/2/2004	776,23	4257,72	118737,31	3,6%

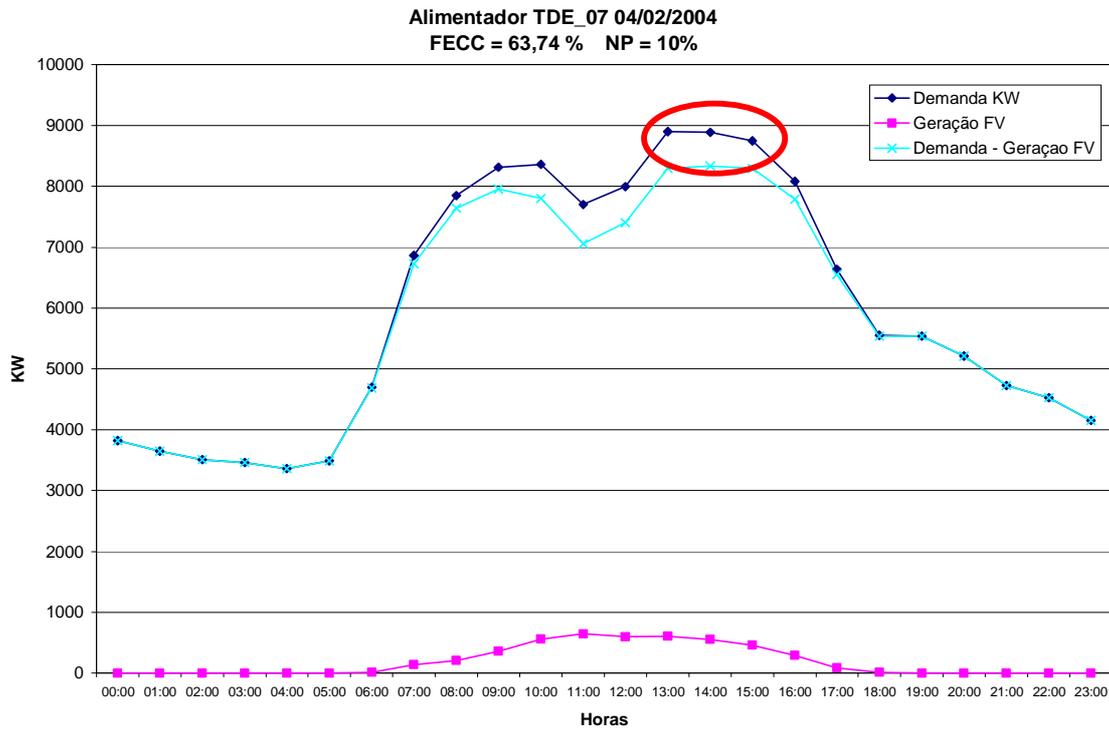


Gráfico 5.16: Curvas de Demanda, Geração fotovoltaica para um NP de 10% e Demanda menos Geração fotovoltaica para o alimentador TDE-07 no dia 04/02/2004, dia da maior demanda energética do TDE-07 no ano de 2004.

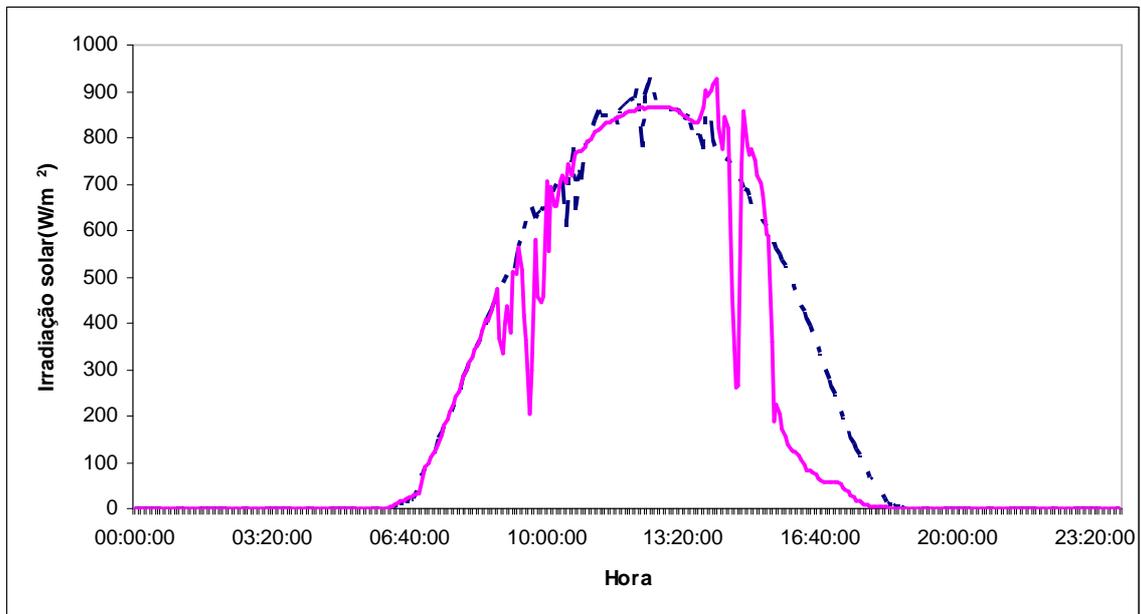


Gráfico 5.17: Característica da irradiação solar nos dias 08/03/2004 (linha contínua) e no dia 15/03/2004 (linha tracejada).

No Gráfico 5.18 pode-se observar uma tendência de o NPE acompanhar o FECC nos dias com característica diurna (até aproximadamente a posição 205). Isso nos mostra que nos dias úteis a despachabilidade do SFIRD e sua participação energética estão diretamente ligadas, pois nos dias de maiores picos a incidência solar é maior: assim a despachabilidade é maior e também a contribuição energética do SFIRD. Porém essa correlação não é válida para os dias com características noturnas. Afinal nestes dias o FECC será nulo não importando a participação e despachabilidade do SFIRD nestes dias. Por isso, mesmo com o FECC nulo nesses dias obteve-se NPE diversos.

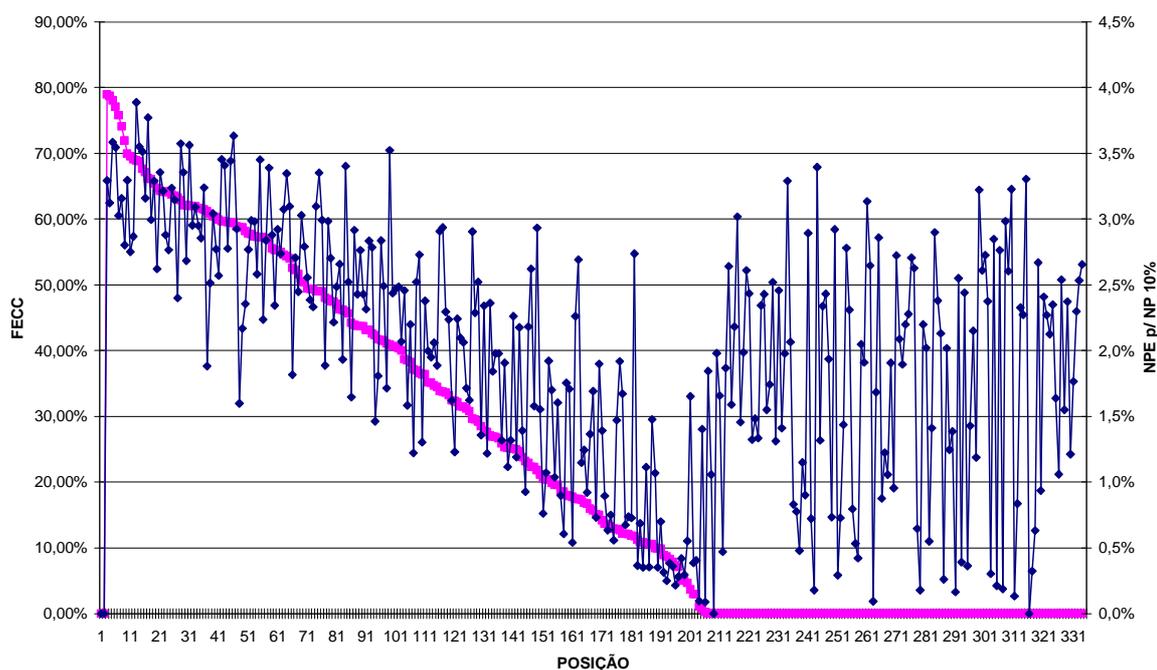


Gráfico 5.18: NPE para NP de 10% (losangos) e FECC (quadrados) para os 334 dias analisados na ordem decrescente dos FECCs.

5.3.2 O Cálculo do NPE para uma planta FV constante referente ao pico histórico

Nesta seção serão apresentados os valores do NPE referentes a uma planta FV de 944,6 kWp, que corresponde a uma planta FV para um NP de 10% e referência ao dia de maior pico de 2004, 08/03/2004, que foi de 9.446,00 kW. Será feito esse exercício aqui, pois trabalhamos com a hipótese de a alocação de sistemas FV num sistema de distribuição ser feita com base na demanda máxima de cada alimentador, para ver qual seria a contribuição deste sistema ao longo do ano.

Como era de se esperar, o SFIRD aqui é maior para todos os dias, pois foi usado o SFIRD equivalente ao dia de maior pico de carga. Assim sendo, o NPE apresentado na Tabela 5.9 é sempre maior que o apresentado na Tabela 5.7, o que pode ser facilmente visualizado no Gráfico 5.19. Quanto mais distante do pico histórico maior se torna o NPE, chegando a obter NPE na ordem dos 9% como também pode ser verificado no Gráfico 5.19.

O NPE obtido para o ano foi de 2,732%, ou seja, com um sistema de 944,60 kWp quase três por cento de toda energia consumida no TDE-07 seria fornecida pelo SFIRD. Aqui obteve-se um valor 35% maior que no item anterior.

Tabela 5.8: Dez maiores NPE para um SFIRD constante de 944,60 kWp (NP = 10% do pico histórico).

Posição	DATA	SFIRD de:(kWp)	Geração Solar (kWh/ano)	Demanda alimentador (kWh/ano)	NPE
313	25/12/2004	944,6	5345,63	59734,71	8,95%
308	2/5/2004	944,6	4692,70	53800,96	8,72%
297	21/3/2004	944,6	5516,02	64911,25	8,50%
241	19/9/2004	944,6	4581,51	55249,45	8,29%
332	3/1/2004	944,6	4590,11	57022,77	8,05%
306	8/8/2004	944,6	4698,13	58471,95	8,03%
231	7/3/2004	944,6	5453,89	69315,12	7,87%
258	6/3/2004	944,6	5391,26	68764,78	7,84%
331	2/1/2004	944,6	4505,31	59137,02	7,62%
302	25/4/2004	944,6	4815,44	63316,85	7,61%

Tabela 5.9: NPE para os 30 maiores picos de demanda com SFIRD constante de 944,60 kWp (NP = 10% do pico histórico).

Posição	DATA	SFIRD de:(kWp)	Geração Solar (kWh/dia) NP 10%	Demanda alimentador (kWh/dia)	NPE
1	8/3/2004	944,60	4755,31	138134,39	3,4%
2	15/4/2004	944,60	4253,95	139486,78	3,0%
3	16/4/2004	944,60	4809,87	140067,97	3,4%
4	2/2/2004	944,60	4106,63	134194,10	3,1%
5	9/3/2004	944,60	3333,06	140413,23	2,4%
6	6/12/2004	944,60	3777,43	134613,58	2,8%
7	13/4/2004	944,60	5043,09	133206,69	3,8%
8	4/2/2004	944,60	4808,38	140076,93	3,4%
9	5/2/2004	944,60	3390,87	136290,08	2,5%
10	7/4/2004	944,60	4846,27	132880,06	3,6%
11	14/4/2004	944,60	3029,37	135656,20	2,2%
12	10/3/2004	944,60	4391,71	135775,23	3,2%
13	8/12/2004	944,60	3462,26	129246,32	2,7%
14	3/2/2004	944,60	4590,95	132258,37	3,5%
15	15/3/2004	944,60	5362,54	128347,83	4,2%
16	18/2/2004	944,60	3380,16	129383,28	2,6%
17	6/4/2004	944,60	3544,09	127885,32	2,8%
18	1/4/2004	944,60	5138,37	122161,32	4,2%
19	2/4/2004	944,60	4672,81	124297,11	3,8%
20	29/1/2004	944,60	4271,86	121609,17	3,5%
21	5/4/2004	944,60	3555,75	123970,84	2,9%
22	17/2/2004	944,60	5559,93	122874,44	4,5%
23	12/4/2004	944,60	3991,46	118025,62	3,4%
24	31/3/2004	944,60	4673,69	120721,08	3,9%
25	11/3/2004	944,60	2605,41	127303,06	2,0%
26	7/12/2004	944,60	526,23	124112,10	0,4%
27	16/3/2004	944,60	3698,76	121437,44	3,0%
28	30/1/2004	944,60	4648,79	124215,72	3,7%
29	16/12/2004	944,60	4891,55	116743,50	4,2%
30	10/2/2004	944,60	5181,27	118737,31	4,4%

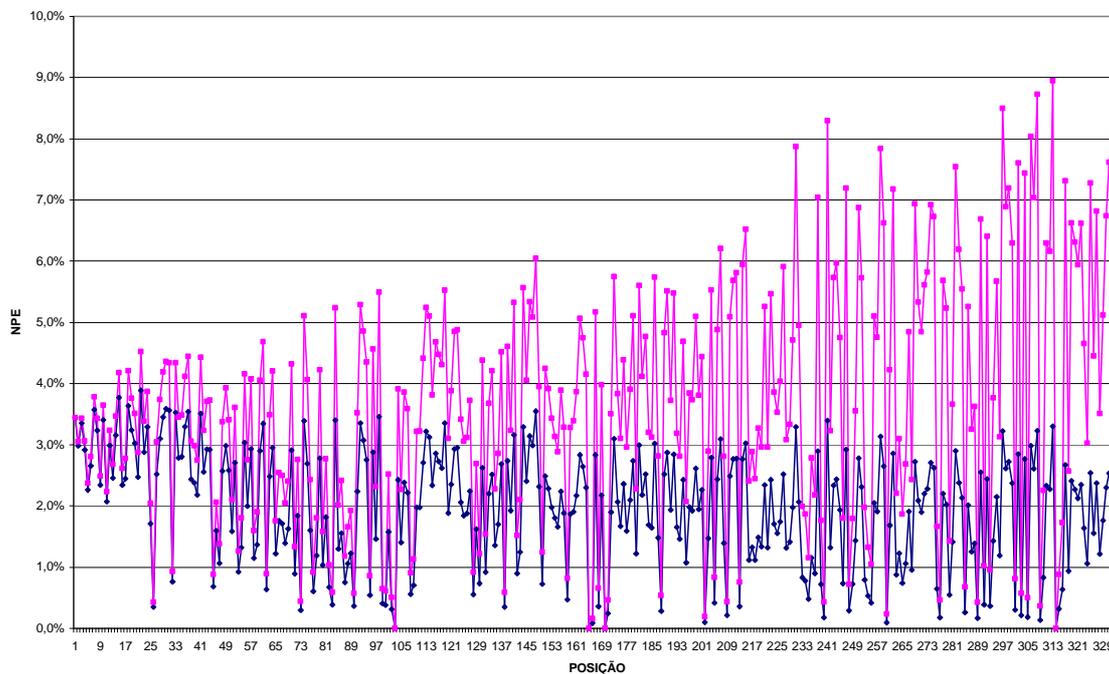


Gráfico 5.19: NPE para NP de 10% (losangos) e NPE para SFIRD constante (quadrados).

5.3.3 O Cálculo do NPE para o SFIRD 2kWp

Nesta seção serão apresentados os dados reais da participação energética do SFIRD objeto deste estudo de caso no alimentador TDE-07. Vale lembrar que os valores relativamente baixos que serão apresentados aqui se devem ao fato que este SFIRD ter sido projetado para uma residência de uma família de quatro membros, e o NPE ter sido calculado para o TDE-07 como um todo que possui, além de toda a carga da UFSC, uma grande quantidade de residências ligadas a ele.

Tabela 5.10: NPE para os 30 maiores picos de demanda com SFIRD 2kWp.

Posição	DATA	SFIRD de:(kWp)	Geração Solar (kWh/dia)	Demanda alimentador (kWh/dia)	NPE
1	8/3/2004	2,074	10,44	138134,39	0,0076%
2	15/4/2004	2,074	9,34	139486,78	0,0067%
3	16/4/2004	2,074	10,56	140067,97	0,0075%
4	2/2/2004	2,074	9,02	134194,10	0,0067%
5	9/3/2004	2,074	7,32	140413,23	0,0052%
6	6/12/2004	2,074	8,29	134613,58	0,0062%
7	13/4/2004	2,074	11,07	133206,69	0,0083%
8	4/2/2004	2,074	10,56	140076,93	0,0075%
9	5/2/2004	2,074	7,45	136290,08	0,0055%
10	7/4/2004	2,074	10,64	132880,06	0,0080%
11	14/4/2004	2,074	6,65	135656,20	0,0049%
12	10/3/2004	2,074	9,64	135775,23	0,0071%
13	8/12/2004	2,074	7,60	129246,32	0,0059%
14	3/2/2004	2,074	10,08	132258,37	0,0076%
15	15/3/2004	2,074	11,77	128347,83	0,0092%
16	18/2/2004	2,074	7,42	129383,28	0,0057%
17	6/4/2004	2,074	7,78	127885,32	0,0061%
18	1/4/2004	2,074	11,28	122161,32	0,0092%
19	2/4/2004	2,074	10,26	124297,11	0,0083%
20	29/1/2004	2,074	9,38	121609,17	0,0077%
21	5/4/2004	2,074	7,81	123970,84	0,0063%
22	17/2/2004	2,074	12,21	122874,44	0,0099%
23	12/4/2004	2,074	8,76	118025,62	0,0074%
24	31/3/2004	2,074	10,26	120721,08	0,0085%
25	11/3/2004	2,074	5,72	127303,06	0,0045%
26	7/12/2004	2,074	1,16	124112,10	0,0009%
27	16/3/2004	2,074	8,12	121437,44	0,0067%
28	30/1/2004	2,074	10,21	124215,72	0,0082%
29	16/12/2004	2,074	10,74	116743,50	0,0092%
30	10/2/2004	2,074	11,38	118737,31	0,0096%

Na Tabela 5.10 são apresentados os NPEs para os trinta maiores picos de carga do ano de 2004 para o SFIRD 2kWp. O NPE para o SFIRD 2kWp para o ano de 2004 ficou em 0,006%, valor que parece ser relativamente baixo: porém se levar em consideração que esse valor se refere a apenas um SFIRD este não é tão baixo. Por exemplo, para alcançar o NPE

do item anterior precisaríamos de 455 residências, cada uma equipada com um sistema de 2,078 kWp.

Segundo Santos (2008) o bairro do Santa Mônica de Florianópolis que está conectado ao alimentador TDE-05, que faz parte da Subestação da Trindade o mesmo do alimentador TDE-07, possui 496 residências que possuem área de telhados suficientes para receber um SFIRD de 2,078 kWp, sendo que o bairro do Santa Mônica representa apenas 23,5% da área de abrangência deste alimentador: ou seja, mesmo com numa área de abrangência pequena de um alimentador semelhante ao TDE-07, temos um número maior de residências do que o necessário para atingirmos os valores de NPE do item anterior.

Assim, pode-se constatar que facilmente pode-se atingir os valores de NPE do item anterior com a instalação de SFIRDS iguais ao objeto deste estudo de caso nas residências do bairro da Trindade que possui características muito semelhantes com o bairro do Santa Mônica. Utilizando o valor de 496 residências com um SFIRD de 2,078 kWp se chegará a um NPE de 2,976%.

Capítulo 6 Conclusões

Neste trabalho foi realizada uma pesquisa detalhada em relação à geração de um SFIRD e suas possibilidades de contribuir com o alimentador em que este se encontra conectado. Primeiramente partiu-se da averiguação de que em alimentadores com característica comercial a demanda energética está diretamente ligada à temperatura local, devido à utilização de ar-condicionados. Assim quanto maior a temperatura, devido a uma maior incidência solar, maior seria a demanda por energia nesta área. Essa possibilidade foi confirmada como mostra o início do Capítulo 5, onde verificou-se que os dias que tiveram os maiores picos de consumo foram os dias que apresentaram as maiores temperaturas médias. Conseqüentemente estes dias com maior incidência solar são os que apresentam o maior potencial de geração fotovoltaica.

O SFIRD analisado neste trabalho encontra-se no LABSOLAR/UFSC e está conectado ao alimentador TDE-07, que é o alimentador que fornece toda energia consumida pela universidade e boa parte da região residencial adjacente à universidade. Este fato foi facilmente percebido nas análises feitas nos dados de demanda deste alimentador, onde se verificam dois comportamentos bem distintos neste alimentador. O primeiro é em relação aos dias de funcionamento da universidade onde a característica diurna da curva de demanda mostra o perfil comercial da carga. O outro nos dias onde as atividades da universidade são bastante reduzidas em que pela característica noturna da curva de demanda fica evidenciada uma carga de perfil residencial. Está relação universidade/alimentador também se verifica na diminuição da demanda no mês de janeiro,

em que mesmo sendo um período de altas temperaturas os picos de consumo foram inferiores aos meses do mesmo período, isso devido ao recesso letivo que ocorre neste mês.

Dando continuidade à pesquisa, analisou-se a despachabilidade do SFIRD a cada dia. Para isso utilizou-se o FECC. Inicialmente para um NP de 10%, que pode-se considerar como uma penetração relativamente alta, pois representa um SFIRD de quase 1MWp para a análise em questão, obteve-se bons índices de despachabilidade, com 80% dos dias que figuram entre os 50 com maiores picos de demanda com valores acima de 40%. Porém alguns dos maiores FECCs obtidos não estavam entre os maiores picos. Isso foi devido ao fato de os maiores picos ocorrerem um pouco mais distante do pico de geração, que nos dias onde foram obtidos FECCs próximos a 80%, apresentavam seu picos de consumo coincidentes com pico de geração ocasionado assim estes elevados FECCs.

Em seguida foram escolhidos alguns dias para uma avaliação mais detalhada do comportamento da evolução do FECC para diferentes NPs. Esta análise se mostrou importante para encontrar o que poder-se-ia chamar de um SFIRD ótimo, ou seja, o maior SFIRD possível onde a despachabilidade deste permanesse a máxima. Aqui também foram encontrados resultados significantes, como no dia 07/04/2004, que para um NP de mais de 27% o FECC permanecia superior a 59%, o que representaria um SFIRD de mais de 2,4MWp. Assim concluí-se neste item que a despachabilidade do SFIRD objeto deste estudo de caso foi satisfatória nos momentos em que a complementação energética se fazia mais necessária.

Outro importante fator analisado nesta dissertação foi o NPE, que quantifica a participação que o SFIRD deu em termos de energia (kWh) para o alimentador. Neste ponto três análises diferentes foram realizadas. Na primeira análise foi visto a participação

com cada dia um SFIRD diferente que representava um NP de 10% do pico daquele dia. Neste ponto obteve-se resultados de cerca de 2% de participação energética total. No segundo para um único SFIRD, no valor de 10% do maior pico do alimentador TDE-07, o resultado alcançado foi de quase 3% de geração fotovoltaica no montante total de energia consumida por este alimentador. Vale lembrar que o comportamento do NPE é linear com o NP, ou seja, se aumentarmos o NP para 20%, por exemplo, o NPE que seria obtido ficaria na faixa dos 6%. No final deste item verificou-se a participação real do SFIRD 2kWp, que como gerador unitário se mostrou insignificante. Porém esta análise foi feita para um único sistema, que tem capacidade para atender a apenas uma residência. Sendo assim, verificou-se que para atingirmos um NPE de 3% seria necessário pouco mais de 450 residências, número que é facilmente alcançado no setor residencial da área de abrangência do alimentador TDE-07, afirmação esta que foi corroborada pelos dados da região do bairro Santa Mônica, vizinho ao TDE-07, e com sua área residencial bem semelhante às adjacências da universidade.

Ainda se valendo da semelhança da área residencial de abrangência do TDE-05 com o TDE-07, onde em pouco menos de um quarto de sua abrangência possui quase 500 residências, pode-se considerar assim que existem cerca de 2000 casas no setor residencial do TDE-07. Sendo assim, imaginando que no âmbito do alimentador TDE-07 tivesse 2000 SFIRDs iguais ao 2kWp, atingir-se-ia um NPE de 12% neste alimentador. Porém nosso NP seria de mais de 40%. Assim o FECC já não seria mais o ideal, ou seja, já ter-se-ia ultrapassado o NP ótimo. Então poder-se-ia concluir que do ponto de vista da despachabilidade, não é interessante termos um penetração energética mais elevada, mas isso com uma visão estritamente em um único alimentador, pois se aumentarmos nosso

foco e olharmos, por exemplo, para o sistema de distribuição de toda a ilha de Santa Catarina, ver-se-ia que mesmo com esse NP elevado no alimentador TDE-07, este poderia contribuir com outros alimentadores adjacentes que também possuem características diurnas, que é o caso dos alimentadores da Subestação Ilha Centro.

Assim, através do exposto neste trabalho acredita-se ter contribuído para demonstrar que a energia fotovoltaica, além de limpa, abundante e renovável, também apresenta bom potencial para colaborar com o sistema de distribuição atualmente existente. Sendo utilizada de forma adequada pelas concessionárias locais, a geração solar fotovoltaica distribuída pode vir a contribuir evitando falhas por sobrecarga em alimentadores de característica diurna, pois mostrou um potencial de despachabilidade significativo nos momentos mais críticos da operação da rede.

Referências Bibliográficas

ABNT. Associação Brasileira de Normas técnicas, **Norma ABNT -11704**, 2007.

AGUIAR, W.M.. **O Uso de Fontes Alternativas de Energia como Fator de Desenvolvimento Social para Segmentos Marginalizados da Sociedade**. Tese de mestrado. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

ANEEL. Matriz de Energia Elétrica. www.aneel.gov.br, p. acesso em:06/05/2007., 2007.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição (PRODIST)**. www.aneel.gov.br/383.htm, p. acesso em: 04/03/2008., 2008.

BEN. **Resultados preliminares - Balanço Energético Nacional 2007**: Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2007.

CAMARGO, C. C. B.; **Anotações de Aula da disciplina Gerenciamento Pelo Lado da Demanda**; (2006).

CASTAÑER, L., SILVESTRE, S., **Modelling Photovoltaic Systems**, John Wiley and Sons, 2002.

CENTRO DE ESTUDOS EM ECONOMIA DA ENERGIA DOS TRANSPORTES E DO AMBIENTE (CEEETA); **Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos**; 2002.

CONTI, S.; RAITI, S.; TINA, G. & VAGLGIASIND, U. **Integration of multiple of building-integrated photovoltaic power systems**. National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-710-25266, 2003.

DAILY, P. A.; MORRISON, J.. **Understanding the potential benefits of distributed generation on power delivery systems**, in Proc. 2001 Rural Electric Power Conference, pp. A2-1-A2-13.

DUTRA, R.M.; SZKLO, A.S.. **Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation**. Renewable Energy, Vol 33, pg 65-76, 2008.

ENERGY PARTNERS. **Innovation and the Learning Curve: reducing costs and creating value**, 2006.

ERGE, T.; HOFFMANN, V.U. & KIEFER, K. . **The German experience with grid-connected PV-systems**. Solar Energy, Vol. 70. 2001.

GARVER, L. L. **Effective load carrying capability of generating units**. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, v.8 Pas-85, August, p.910-919, 1966.

GELLER, H. S. **Revolução Energética: Políticas para um Futuro Sustentável** . 1 ed. Editora Relume Dumará, 2003.

GERMANY2000. **Act on granting priority to renewable energy sources** (Renewable Energy Sources Act, Germany, 2000). Solar Energy, Vol. 70. 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2007: the scientific basis**. Paris, (2007).

IEA, International Energy Agency. www.iea.org, p. acesso em: 05/12/2006., 2006.

JARDIM, C. S. . **A Inserção da geração solar fotovoltaica em alimentadores urbanos enfocando a redução do pico de demanda diurno**. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

JARDIM, C. S. ; RÜTHER, R. ; SALAMONI, I. T. ; VIANA, T. ; REBECHI, S. H.; KNOB, P. . **The strategic siting and the roofing area requirements of building-integrated photovoltaic solar energy generators in urban areas in Brazil**. Energy and Buildings, vol 40, pg 365-370, 2008.

JENKINS, N.; ALLAN, R.; CROSSLEY, P.; KIRSCHEN, D.; and STRBAC, G.. **Embedded generation**. London: Institution of Electrical Engineers, 2000.

LA ROVERE, E.L.. **Um enfoque alternativo para o planejamento energético**. Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, 1986.

LEHR, U.; NITSCH, J.; KRATZAT, M.; LUTZ, C.; EDLER, .D.. **Renewable energy and employment in Germany**. Energy Policy. Vol 36, pg 108-111, 2008.

MARTINOT, E.. **Renewables—2005 Global Status Report REN21**. Worldwide Institute, Washington, DC, 2006.

MARTINOT, E.. **Renewables—2007 Global Status Report REN21**. Worldwide Institute, Washington, DC, 2008.

MARTINS, F. R.; RÜTHER, R.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L.. **Solar energy scenarios in Brazil. Part two: Photovoltaics applications**. Energy Policy. Vol 36, pg 2855-2867, 2008.

MINTS, P., 2006. **Analysis of worldwide markets for photovoltaics: products and five-year application forecast**. Navigant Consulting, 1–28.

-
- MINTS, P., 2008. **Review of Global Incentive Programs**. Navigant Consulting, 1–72.
- MOOR, H. D.;SCHAEFFER, G. J.;SEEBREGTS, A.;BEURSKENS, L.;DURSTEWITZ, M.;ALSEMA, E.;SARK, W. V.;LAUKAMP, H.;BOULANGER, P.; ZUCCARO, C. **Experience curve approach for more effective policy instruments**. In: Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, 2003. **Anais**. Osaka, Japan, 2003.v.p.
- PEREZ, R.; BRYAN, J.. **Estimating Market Potential for Reducing Customer Peak Loads Through Photovoltaics**. Albany - NY, University of New York at Albany, 1996.
- PEREZ, R.; SEALS, R.; et al.. **Photovoltaics can add capacity to the utility grid**. Golden - CO, NREL - National Renewable Energy Laboratory, 1996.
- PEREZ, R.. **Determination of Photovoltaic Effective Capacity for New Jersey**. Clean Power Research. 2003.
- PEREZ, R.; COLLINS, B.. **Solar Energy Security: Could Dispersed PV Generation Have Made a Difference in the Massive North American Blackout?**. Refocus; Elsevier; July/August 2004, p. 24-29.
- PEREZ R.; B. COLLINS; R. MARGOLIS; T. HOFF; C. HERIG J. WILLIAMS; and S. LETENDRE. **Solution to the Summer Blackouts – How dispersed solar power generating systems can help prevent the next major outage**. Solar Today, July/August 2005 Issue. 2005.
- RAMAGE, J.; SCURLOCK, J. Biomass. In: BOYLE, G. (Ed.). **Renewable energy: power for a sustainable future**. Oxford: Oxford University Press, 1996. cap. 4, p. 137-182.
- RUIZ, B.J.; RODRÍGUEZ, V.; BERMANN, C.. **Analysis and perspectives of the government programs to promote the renewable electricity generation in Brazil**. Energy Policy, Vol 35, pg 2989-2994, 2007.
- RÜTHER, R. . **Experiences and Operational Results of the First Grid - Connected, Building - Integrated, Thin Film Photovoltaic Installation in Brazil**. In: 2nd World Conference and Exhibition of Photovoltaic Solar Energy Conversion, 1998, Viena. Anais do 2nd World Conference and Exhibition of Photovoltaic Solar Energy Conversion, 1998. p. 2655-2658.
- RÜTHER, R. ; DACOREGIO, M. M. . **Performance Assessment of a 2 kWp Grid - Connected, Building - Integrated, Amorphous Silicon Photovoltaic Installation in Brazil**. Progress In Photovoltaics, Inglaterra, v. 7, n. 2, p. 257-266, 2000.
- RÜTHER, R.; SCHMID, A.; BEYER, H.G.; MONTENEGRO, A.A.; OLIVEIRA, S.H.F.. **Cutting on diesel, Boosting PV: The potential of hybrid diesel/PV systems in existing**
-

mini-grids in the Brazilian Amazon. In: Proceedings of the Third World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, pp. 555–558, 2003.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública.** Editora da UFSC. LABSOLAR Florianópolis, 2004.

RÜTHER, R. ; DACOREGIO, M. M. ; SALAMONI, I. T. ; KNOB, P. ; BUSSEMAS, U. . **Performance of the First Grid-Connected, BIPV Installation in Brazil Over Eight Years of Continuous Operation.** In: 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2006, Dresden - Alemanha. Proceedings of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference. Munich, Alemanha : WIP - München, 2006. v. 1. p. 119-122.

RÜTHER,R.;KNOB, P.;JARDIM, C.; REBECHI, S. H.. **The potential of building-integrated photovoltaic solar energy generators in assistng daytime peaking feeders in urban areas in Brazil.** Energy Conversion & Management, vol 49, pg 1074-1079, 2008.

SALAMONI, I. T. ; RÜTHER, R. ; KNOB, P. ; ZOMER, C. ; DINIZ, A. S. C. . **O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Edificação e Interligados a Rede Elétrica em Centros Urbanos no Brasil: Dois Estudos de Caso.** In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável & X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. Anais da I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável & X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo : ENTAC, 2004. v. 1. p. 432-446.

SANTOS, I. P.; SALAMONI, I. T. ; RÜTHER, R.. **A Proposta de uma Tipologia de Kits para a Disseminação da Tecnologia Solar Fotovoltaica.** In: II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES, Florianópolis, 2008.

SICK, F. & ERGE, T. **Photovoltaics in Buildings – A design handbook for architects and engineers.** International Energy Agency. James & James Science Publishers. 1996.

SPRENG, Daniel. **Distribution of energy consumption and 2000 W/capita target.** Energy Policy, v.33, p.1905-1911, 2005.

WAI-LING, M Ng. **Low Power (1W=5V@200mA) Off Line (240V) Power Supply options/Implementation.** University of Queensland. 1999.

ANEXOS

ANEXO I:

LISTA DE PUBLICAÇÕES:

RÜTHER,R.;KNOB, P.;JARDIM, C.; REBECHI, S. H.. The potential of building-integrated photovoltaic solar energy generators in assistng daytime peaking feeders in urban areas in Brazil. Energy Conversion & Management, vol 49, pg 1074-1079, 2008.

JARDIM, C. S. ; RÜTHER, R. ; SALAMONI, I. T. ; VIANA, T. ; REBECHI, S. H.; KNOB, P. . The strategic siting and the roofing area requirements of building-integrated photovoltaic solar energy generators in urban areas in Brazil. Energy and Buildings, vol 40, pg 365-370, 2008.

ANEXO II:

Valores do pico de demanda para todos os dias analisados de 2004 com o valor do SFIRD correspondente para um NP de 10%, os FECCs reais e do dia limpo para um NP de 10% , NPEs para um NP de 10% em ordem do maior para o menor pico de demanda energética.

Anexos

Posição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	NPE
1	8/3/2004	9445,95	944,60	59,45%	53,50%	3,4%
2	15/4/2004	9230,83	923,08	57,34%	67,77%	3,0%
3	16/4/2004	9220,07	922,01	49,02%	60,71%	3,4%
4	2/2/2004	8999,22	899,92	43,86%	76,39%	2,9%
5	9/3/2004	8998,50	899,85	25,05%	45,72%	2,3%
6	6/12/2004	8946,15	894,62	46,22%	62,03%	2,7%
7	13/4/2004	8914,60	891,46	62,84%	68,16%	3,6%
8	4/2/2004	8903,85	890,38	63,74%	73,63%	3,2%
9	5/2/2004	8893,09	889,31	55,30%	76,39%	2,3%
10	7/4/2004	8829,27	882,93	59,60%	68,16%	3,4%
11	14/4/2004	8751,83	875,18	40,01%	65,83%	2,1%
12	10/3/2004	8735,33	873,53	48,99%	58,90%	3,0%
13	8/12/2004	8667,93	866,79	38,71%	69,47%	2,5%
14	3/2/2004	8592,64	859,26	74,07%	76,39%	3,2%
15	15/3/2004	8524,52	852,45	66,17%	58,90%	3,8%
16	18/2/2004	8467,15	846,72	27,88%	71,86%	2,3%
17	6/4/2004	8342,38	834,24	51,64%	68,16%	2,4%
18	1/4/2004	8158,09	815,81	59,41%	68,16%	3,6%
19	2/4/2004	8138,74	813,87	61,43%	68,16%	3,2%
20	29/1/2004	8137,30	813,73	75,78%	73,02%	3,0%
21	5/4/2004	8137,30	813,73	40,59%	68,16%	2,5%
22	17/2/2004	8117,94	811,79	68,91%	71,86%	3,9%
23	12/4/2004	8044,80	804,48	64,13%	68,16%	2,9%
24	31/3/2004	8026,87	802,69	65,38%	58,90%	3,3%
25	11/3/2004	7909,99	791,00	31,19%	58,99%	1,7%
26	7/12/2004	7834,70	783,47	10,82%	53,38%	0,4%
27	16/3/2004	7822,51	782,25	45,60%	58,90%	2,5%
28	30/1/2004	7815,34	781,53	53,99%	56,79%	3,1%
29	16/12/2004	7780,20	778,02	57,27%	62,03%	3,5%
30	10/2/2004	7762,27	776,23	78,02%	76,39%	3,6%

Posição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	NPE
31	30/3/2004	7753,67	775,37	62,02%	45,48%	3,6%
32	19/4/2004	7709,21	770,92	20,51%	68,16%	0,8%
33	16/2/2004	7671,92	767,19	40,94%	71,86%	3,5%
34	17/3/2004	7631,05	763,10	42,56%	58,90%	2,8%
35	12/2/2004	7614,56	761,46	71,92%	73,27%	2,8%
36	6/2/2004	7557,19	755,72	69,92%	75,36%	3,3%
37	9/2/2004	7536,40	753,64	77,08%	76,39%	3,5%
38	11/2/2004	7525,64	752,56	40,71%	76,39%	2,4%
39	13/2/2004	7525,64	752,56	36,40%	76,39%	2,4%
40	18/3/2004	7506,28	750,63	22,87%	58,90%	2,2%
41	2/12/2004	7488,35	748,84	67,61%	69,47%	3,5%
42	29/3/2004	7466,84	746,68	49,41%	58,90%	2,6%
43	26/3/2004	7448,91	744,89	58,89%	58,90%	2,9%
44	8/4/2004	7411,63	741,16	55,28%	64,28%	2,9%
45	19/2/2004	7362,86	736,29	10,90%	49,49%	0,7%
46	23/4/2004	7326,29	732,63	58,76%	68,16%	1,6%
47	22/4/2004	7320,56	732,06	9,97%	68,16%	1,1%
48	24/3/2004	7186,47	718,65	59,91%	58,90%	2,6%
49	2/3/2004	7180,73	718,07	47,84%	30,50%	3,0%
50	25/3/2004	7157,78	715,78	57,28%	58,55%	2,6%
51	3/3/2004	7130,53	713,05	57,78%	59,06%	2,8%
52	27/1/2004	7119,78	711,98	38,49%	73,02%	1,6%
53	21/9/2004	7067,43	706,74	47,52%	61,47%	2,7%
54	19/3/2004	6938,36	693,84	23,20%	58,90%	0,9%
55	28/1/2004	6905,38	690,54	25,15%	73,02%	1,3%
56	29/4/2004	6901,79	690,18	60,40%	68,16%	3,0%
57	20/9/2004	6853,75	685,37	35,14%	61,47%	2,0%
58	26/2/2004	6802,83	680,28	21,81%	71,86%	2,9%
59	26/1/2004	6790,64	679,06	17,34%	57,48%	1,1%
60	22/9/2004	6783,47	678,35	15,98%	61,47%	1,4%

Anexos

Posição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	NPE
61	18/10/2004	6763,40	676,34	29,65%	64,88%	2,9%
62	4/3/2004	6749,77	674,98	54,37%	30,50%	3,3%
63	12/3/2004	6734,00	673,40	13,63%	58,90%	0,6%
64	30/4/2004	6728,26	672,83	40,37%	68,16%	2,5%
65	15/12/2004	6635,76	663,58	61,98%	62,03%	3,0%
66	3/12/2004	6566,20	656,62	27,60%	64,37%	1,2%
67	3/5/2004	6505,97	650,60	18,04%	60,96%	1,8%
68	9/12/2004	6490,91	649,09	41,09%	62,03%	1,7%
69	20/4/2004	6412,19	641,22	14,17%	68,16%	1,4%
70	28/4/2004	6384,07	638,41	30,79%	68,16%	1,6%
71	20/12/2004	6358,97	635,90	33,84%	62,03%	2,9%
72	27/9/2004	6328,85	632,89	13,67%	67,93%	0,9%
73	14/12/2004	6311,64	631,16	26,91%	62,03%	1,8%
74	25/5/2004	6293,71	629,37	5,00%	55,94%	0,3%
75	19/10/2004	6268,62	626,86	56,81%	64,88%	3,4%
76	27/2/2004	6262,88	626,29	17,42%	71,43%	2,7%
77	1/3/2004	6240,65	624,07	19,53%	30,50%	1,6%
78	2/6/2004	6233,48	623,35	18,52%	60,30%	0,6%
79	1/6/2004	6227,03	622,70	24,93%	52,81%	1,2%
80	27/4/2004	6202,65	620,26	59,52%	68,16%	2,8%
81	24/5/2004	6199,78	619,98	19,57%	51,31%	1,0%
82	3/6/2004	6197,63	619,76	52,58%	51,51%	1,8%
83	4/5/2004	6153,89	615,39	12,11%	59,65%	0,7%
84	28/9/2004	6143,85	614,38	2,97%	61,47%	0,4%
85	20/2/2004	6135,96	613,60	45,95%	68,74%	3,4%
86	14/10/2004	6113,73	611,37	36,41%	76,02%	1,3%
87	5/3/2004	6069,99	607,00	21,13%	30,50%	1,6%
88	6/5/2004	6039,87	603,99	13,25%	59,65%	0,8%
89	1/7/2004	6032,70	603,27	0,00%	56,46%	1,1%
90	22/10/2004	6030,55	603,06	32,32%	76,02%	1,2%

Posição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	NPE
91	13/10/2004	6004,02	600,40	11,24%	42,86%	0,4%
92	21/10/2004	6003,30	600,33	57,24%	76,02%	2,2%
93	15/10/2004	5991,11	599,11	64,29%	67,16%	3,4%
94	26/4/2004	5981,07	598,11	54,56%	68,16%	3,1%
95	27/5/2004	5973,19	597,32	69,52%	59,65%	2,8%
96	5/5/2004	5960,28	596,03	17,74%	58,26%	0,5%
97	11/5/2004	5953,11	595,31	55,56%	60,96%	2,9%
98	24/9/2004	5952,39	595,24	42,35%	61,47%	1,5%
99	20/10/2004	5945,94	594,59	59,69%	64,88%	3,5%
100	12/5/2004	5926,58	592,66	2,96%	59,65%	0,4%
101	23/9/2004	5925,86	592,59	8,30%	69,19%	0,4%
102	9/9/2004	5917,25	591,73	22,28%	49,21%	1,6%
103	7/5/2004	5894,31	589,43	8,88%	59,65%	0,3%
104	2/7/2004	5884,27	588,43	0,00%	44,68%	0,0%
105	10/5/2004	5862,04	586,20	43,78%	60,96%	2,4%
106	14/9/2004	5844,83	584,48	0,76%	61,47%	1,4%
107	17/6/2004	5839,81	583,98	49,35%	53,33%	2,4%
108	23/6/2004	5838,38	583,84	47,44%	50,91%	2,2%
109	13/5/2004	5832,64	583,26	12,94%	59,65%	0,6%
110	25/10/2004	5831,21	583,12	9,84%	75,58%	0,7%
111	31/5/2004	5808,98	580,90	26,66%	26,66%	2,0%
112	14/5/2004	5799,65	579,97	26,85%	60,96%	2,0%
113	1/10/2004	5798,22	579,82	52,26%	64,88%	2,7%
114	5/12/2004	5788,18	578,82	64,14%	64,37%	3,2%
115	27/10/2004	5781,73	578,17	78,75%	52,90%	3,1%
116	21/6/2004	5776,71	577,67	49,29%	53,33%	2,3%
117	5/10/2004	5768,10	576,81	61,64%	76,02%	2,9%
118	2/9/2004	5760,93	576,09	36,57%	49,21%	2,7%
119	26/5/2004	5749,46	574,95	22,32%	22,32%	2,6%
120	29/10/2004	5736,55	573,66	62,12%	64,88%	3,4%

Anexos

Posição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	NPE
121	4/6/2004	5735,84	573,58	48,00%	39,80%	1,9%
122	29/9/2004	5735,84	573,58	58,15%	61,47%	2,4%
123	26/10/2004	5719,34	571,93	33,72%	64,88%	2,9%
124	28/10/2004	5715,04	571,50	61,69%	74,17%	2,9%
125	20/5/2004	5705,72	570,57	34,67%	59,65%	2,1%
126	7/6/2004	5705,00	570,50	0,01%	0,19%	1,8%
127	18/6/2004	5701,42	570,14	61,22%	60,30%	1,9%
128	30/6/2004	5692,09	569,21	32,16%	40,84%	2,2%
129	17/12/2004	5688,51	568,85	4,65%	53,38%	0,6%
130	29/6/2004	5682,06	568,21	32,43%	40,84%	1,6%
131	24/6/2004	5675,60	567,56	15,07%	47,57%	0,7%
132	28/5/2004	5654,81	565,48	64,66%	59,17%	2,6%
133	21/5/2004	5649,79	564,98	16,71%	59,65%	0,9%
134	22/6/2004	5644,77	564,48	38,24%	38,24%	2,2%
135	14/6/2004	5636,88	563,69	60,81%	60,30%	2,5%
136	4/10/2004	5628,27	562,83	28,52%	41,89%	1,4%
137	8/10/2004	5619,67	561,97	19,86%	76,02%	1,7%
138	15/9/2004	5618,95	561,90	62,11%	61,47%	2,7%
139	13/9/2004	5614,65	561,47	9,93%	64,24%	0,4%
140	6/10/2004	5614,65	561,47	54,95%	64,88%	2,7%
141	19/5/2004	5613,93	561,39	20,39%	44,21%	1,9%
142	13/12/2004	5607,48	560,75	67,18%	62,03%	3,2%
143	10/12/2004	5601,03	560,10	18,53%	57,73%	0,9%
144	10/9/2004	5597,44	559,74	16,81%	46,59%	1,2%
145	17/9/2004	5591,70	559,17	78,95%	69,19%	3,3%
146	16/9/2004	5588,12	558,81	63,23%	61,47%	2,4%
147	30/9/2004	5564,46	556,45	63,55%	61,47%	3,1%
148	7/10/2004	5559,44	555,94	57,68%	26,85%	3,0%
149	8/9/2004	5548,68	554,87	68,78%	69,19%	3,6%
150	16/6/2004	5533,62	553,36	43,15%	43,15%	2,3%

Posição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	NPE
151	25/6/2004	5532,90	553,29	11,84%	51,51%	0,7%
152	15/6/2004	5528,60	552,86	47,07%	35,18%	2,5%
153	16/10/2004	5516,41	551,64	29,50%	51,16%	2,3%
154	8/6/2004	5448,29	544,83	0,00%	0,00%	2,0%
155	3/9/2004	5446,14	544,61	41,73%	69,19%	1,8%
156	18/5/2004	5434,67	543,47	0,00%	0,00%	1,7%
157	18/8/2004	5432,52	543,25	33,22%	34,32%	2,2%
158	19/8/2004	5430,36	543,04	34,46%	40,93%	1,9%
159	28/6/2004	5416,74	541,67	0,00%	0,19%	0,5%
160	9/6/2004	5387,34	538,73	0,00%	0,00%	1,9%
161	20/8/2004	5309,90	530,99	25,30%	40,51%	1,9%
162	4/8/2004	5299,14	529,91	58,74%	55,39%	2,2%
163	15/1/2004	5281,21	528,12	43,11%	65,77%	2,8%
164	17/5/2004	5258,27	525,83	0,00%	0,00%	2,6%
165	6/8/2004	5221,70	522,17	33,58%	48,42%	2,3%
166	17/8/2004	5215,96	521,60	-	29,97%	0,0%
167	8/7/2004	5183,69	518,37	0,23%	26,03%	0,1%
168	30/8/2004	5180,11	518,01	41,58%	48,42%	2,8%
169	27/8/2004	5163,61	516,36	7,85%	58,72%	0,4%
170	5/8/2004	5162,90	516,29	24,72%	24,72%	2,2%
171	19/12/2004	5148,56	514,86	-	69,24%	0,0%
172	23/8/2004	5125,61	512,56	8,65%	35,81%	0,2%
173	1/9/2004	5113,42	511,34	15,00%	41,09%	1,9%
174	22/3/2004	5089,76	508,98	49,04%	30,50%	3,1%
175	20/1/2004	5083,30	508,33	31,46%	65,77%	2,1%
176	7/7/2004	5081,87	508,19	12,15%	13,69%	1,7%
177	16/8/2004	5079,72	507,97	27,10%	27,10%	2,4%
178	5/7/2004	5073,26	507,33	0,00%	0,00%	1,6%
179	14/7/2004	5068,24	506,82	31,50%	44,68%	2,1%
180	31/8/2004	5063,22	506,32	11,75%	11,75%	2,7%

Anexos

sição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	NPE
181	22/1/2004	5060,36	506,04	37,15%	65,77%	1,2%
182	23/1/2004	5052,47	505,25	66,07%	65,77%	3,0%
183	6/7/2004	5007,29	500,73	0,00%	0,00%	2,2%
184	16/1/2004	4990,80	499,08	29,20%	73,02%	2,5%
185	26/8/2004	4980,04	498,00	15,69%	15,69%	1,7%
186	7/1/2004	4975,02	497,50	44,19%	65,77%	1,6%
187	11/8/2004	4968,57	496,86	0,00%	0,00%	3,0%
188	25/8/2004	4955,66	495,57	10,56%	10,56%	1,5%
189	9/7/2004	4947,06	494,71	7,10%	52,53%	0,3%
190	21/12/2004	4932,72	493,27	37,03%	62,03%	2,5%
191	12/1/2004	4911,92	491,19	69,08%	65,77%	2,9%
192	14/1/2004	4904,04	490,40	46,19%	71,04%	1,9%
193	13/1/2004	4899,73	489,97	57,01%	65,77%	2,8%
194	9/8/2004	4896,15	489,61	3,66%	3,66%	1,7%
195	12/8/2004	4896,15	489,61	0,00%	0,00%	1,5%
196	13/8/2004	4892,56	489,26	43,69%	54,23%	2,4%
197	21/1/2004	4891,84	489,18	20,42%	71,93%	1,1%
198	10/8/2004	4879,65	487,97	0,00%	0,00%	2,0%
199	3/8/2004	4852,41	485,24	12,71%	12,71%	1,9%
200	24/8/2004	4841,65	484,17	0,00%	0,00%	2,6%
201	19/1/2004	4839,50	483,95	35,07%	65,77%	1,9%
202	9/1/2004	4818,70	481,87	17,43%	65,77%	2,3%
203	15/7/2004	4805,08	480,51	1,07%	16,17%	0,1%
204	12/7/2004	4800,06	480,01	12,85%	12,85%	1,5%
205	25/2/2004	4771,38	477,14	50,41%	60,44%	2,8%
206	13/7/2004	4767,07	476,71	5,07%	28,43%	0,4%
207	2/8/2004	4708,99	470,90	0,00%	0,00%	2,4%
208	29/12/2004	4707,56	470,76	61,97%	62,03%	3,1%
209	8/1/2004	4686,76	468,68	23,78%	65,77%	1,4%
210	16/7/2004	4632,98	463,30	7,35%	50,46%	0,2%

Posição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	NPE
211	6/1/2004	4622,94	462,29	41,50%	65,77%	2,5%
212	30/12/2004	4596,41	459,64	64,08%	62,03%	2,8%
213	5/1/2004	4506,78	450,68	60,29%	64,27%	2,8%
214	19/7/2004	4414,99	441,50	10,62%	12,51%	0,4%
215	27/12/2004	4389,90	438,99	43,70%	62,03%	2,8%
216	28/12/2004	4389,18	438,92	50,42%	62,03%	3,0%
217	30/7/2004	4376,27	437,63	25,23%	25,23%	1,1%
218	28/7/2004	4337,55	433,76	0,00%	0,00%	1,3%
219	29/7/2004	4297,39	429,74	10,68%	10,68%	1,1%
220	20/7/2004	4282,34	428,23	0,00%	0,00%	1,5%
221	26/7/2004	4254,37	425,44	0,00%	0,00%	1,3%
222	17/4/2004	4212,06	421,21	0,00%	0,00%	2,3%
223	22/12/2004	4203,46	420,35	25,92%	62,03%	1,3%
224	21/7/2004	4197,72	419,77	0,00%	0,00%	2,4%
225	27/7/2004	4181,95	418,19	17,83%	17,83%	1,7%
226	23/7/2004	4147,53	414,75	0,00%	0,00%	1,6%
227	22/7/2004	4076,54	407,65	0,00%	0,00%	1,7%
228	1/2/2004	4025,63	402,56	0,00%	0,00%	2,5%
229	18/9/2004	4022,04	402,20	0,00%	0,00%	1,3%
230	27/3/2004	4021,32	402,13	0,00%	0,00%	2,5%
231	4/12/2004	3994,07	399,41	0,00%	0,00%	1,4%
232	5/6/2004	3968,98	396,90	0,00%	0,00%	2,0%
233	7/3/2004	3948,90	394,89	0,00%	0,00%	3,3%
234	31/1/2004	3946,03	394,60	0,00%	0,00%	2,1%
235	28/3/2004	3932,41	393,24	0,00%	0,00%	0,8%
236	18/4/2004	3926,67	392,67	0,00%	0,00%	0,8%
237	3/4/2004	3920,22	392,02	0,00%	0,00%	0,5%
238	6/9/2004	3910,18	391,02	0,00%	0,00%	1,2%
239	4/4/2004	3905,88	390,59	0,00%	0,00%	0,9%
240	23/3/2004	3881,49	388,15	0,00%	0,00%	2,9%

Anexos

Posição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	NPE
241	21/4/2004	3874,32	387,43	0,00%	0,00%	0,7%
242	10/6/2004	3871,46	387,15	0,00%	0,00%	0,2%
243	19/9/2004	3867,87	386,79	0,00%	0,00%	3,4%
244	26/6/2004	3854,96	385,50	0,00%	0,00%	1,3%
245	29/5/2004	3853,53	385,35	0,00%	0,00%	2,3%
246	6/6/2004	3852,81	385,28	0,00%	0,00%	2,4%
247	25/9/2004	3844,21	384,42	0,00%	0,00%	1,9%
248	14/3/2004	3843,49	384,35	0,00%	0,00%	0,7%
249	30/10/2004	3837,75	383,78	0,00%	0,00%	2,9%
250	23/5/2004	3828,43	382,84	0,00%	0,00%	0,3%
251	23/10/2004	3828,43	382,84	0,00%	0,00%	0,7%
252	13/3/2004	3822,70	382,27	0,00%	0,00%	1,4%
253	9/5/2004	3816,24	381,62	0,00%	0,00%	2,8%
254	26/9/2004	3811,94	381,19	0,00%	0,00%	2,3%
255	14/2/2004	3804,05	380,41	0,00%	0,00%	0,8%
256	22/5/2004	3802,62	380,26	0,00%	0,00%	0,5%
257	27/6/2004	3798,31	379,83	0,00%	0,00%	0,4%
258	8/5/2004	3796,16	379,62	0,00%	0,00%	2,0%
259	17/10/2004	3796,16	379,62	0,00%	0,00%	1,9%
260	6/3/2004	3777,52	377,75	0,00%	0,00%	3,1%
261	2/10/2004	3775,37	377,54	0,00%	0,00%	2,6%
262	11/6/2004	3766,05	376,60	0,00%	0,19%	0,1%
263	19/6/2004	3763,90	376,39	0,00%	0,00%	1,7%
264	7/9/2004	3763,18	376,32	0,00%	0,00%	2,9%
265	12/10/2004	3747,40	374,74	0,00%	0,00%	0,9%
266	24/10/2004	3732,34	373,23	0,00%	0,00%	1,2%
267	23/12/2004	3726,61	372,66	12,08%	69,47%	0,7%
268	21/8/2004	3722,31	372,23	0,00%	0,00%	1,1%
269	15/2/2004	3718,72	371,87	0,00%	0,00%	1,9%
270	3/7/2004	3710,12	371,01	0,00%	0,00%	1,0%

Posição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	NPE
271	13/6/2004	3705,81	370,58	0,00%	0,00%	2,7%
272	11/10/2004	3701,51	370,15	0,00%	0,00%	2,1%
273	12/12/2004	3700,79	370,08	0,00%	0,00%	1,9%
274	8/2/2004	3697,93	369,79	0,00%	0,00%	2,2%
275	20/6/2004	3695,06	369,51	0,00%	0,00%	2,3%
276	9/4/2004	3694,34	369,43	0,00%	0,00%	2,7%
277	28/2/2004	3686,45	368,65	0,00%	0,00%	2,6%
278	4/9/2004	3671,39	367,14	0,00%	0,00%	0,6%
279	4/7/2004	3669,96	367,00	0,00%	0,00%	0,2%
280	11/12/2004	3654,18	365,42	0,00%	0,00%	2,2%
281	20/3/2004	3646,30	364,63	0,00%	0,00%	2,0%
282	11/4/2004	3641,99	364,20	0,00%	0,00%	0,6%
283	24/4/2004	3639,84	363,98	0,00%	0,00%	1,4%
284	3/10/2004	3634,11	363,41	0,00%	0,00%	2,9%
285	29/2/2004	3631,95	363,20	0,00%	0,00%	2,4%
286	9/10/2004	3630,52	363,05	0,00%	0,00%	2,1%
287	11/9/2004	3627,65	362,77	0,00%	0,00%	0,3%
288	28/8/2004	3624,78	362,48	0,00%	0,00%	2,0%
289	25/1/2004	3621,20	362,12	0,00%	0,00%	1,2%
290	30/5/2004	3616,18	361,62	0,00%	0,00%	1,4%
291	14/8/2004	3610,44	361,04	0,00%	0,00%	0,2%
292	15/8/2004	3605,42	360,54	0,00%	0,00%	2,6%
293	10/10/2004	3603,27	360,33	0,00%	0,00%	0,4%
294	29/8/2004	3600,40	360,04	0,00%	0,00%	2,4%
295	10/7/2004	3589,65	358,96	0,00%	0,00%	0,4%
296	15/5/2004	3586,06	358,61	0,00%	0,00%	1,4%
297	12/6/2004	3584,63	358,46	0,00%	0,00%	2,2%
298	24/1/2004	3583,91	358,39	0,00%	0,00%	1,2%
299	21/3/2004	3582,48	358,25	0,00%	0,00%	3,2%
300	16/5/2004	3579,61	357,96	0,00%	0,00%	2,6%

Anexos

Posição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	npe p/ 10%
301	5/9/2004	3578,89	357,89	0,00%	0,00%	2,7%
302	7/2/2004	3563,12	356,31	0,00%	0,00%	2,4%
303	31/10/2004	3540,89	354,09	0,00%	0,00%	0,3%
304	25/4/2004	3538,74	353,87	0,00%	0,00%	2,8%
305	12/9/2004	3521,53	352,15	0,00%	0,00%	0,2%
306	21/2/2004	3510,77	351,08	0,00%	0,00%	2,8%
307	7/8/2004	3510,05	351,01	0,00%	0,00%	0,2%
308	8/8/2004	3506,47	350,65	0,00%	0,00%	3,0%
309	11/7/2004	3497,15	349,71	0,00%	0,00%	2,6%
310	2/5/2004	3496,43	349,64	0,00%	0,00%	3,2%
311	22/8/2004	3496,43	349,64	0,00%	0,00%	0,1%
312	10/4/2004	3493,56	349,36	0,00%	0,00%	0,8%
313	26/12/2004	3491,41	349,14	0,00%	0,00%	2,3%
314	24/2/2004	3487,11	348,71	0,00%	0,00%	2,3%
315	25/12/2004	3486,39	348,64	0,00%	0,00%	3,3%
316	18/12/2004	3469,90	346,99	0,00%	0,00%	0,0%
317	1/5/2004	3465,59	346,56	0,00%	0,00%	0,3%
318	18/7/2004	3457,71	345,77	0,00%	0,00%	0,6%
319	23/2/2004	3447,67	344,77	0,00%	0,00%	2,7%
320	17/7/2004	3436,19	343,62	0,00%	0,00%	0,9%
321	1/8/2004	3436,19	343,62	0,00%	0,00%	2,4%
322	31/12/2004	3400,34	340,03	0,00%	0,00%	2,3%
323	31/7/2004	3380,98	338,10	0,00%	0,00%	2,1%
324	11/1/2004	3354,45	335,44	0,00%	0,00%	2,3%
325	18/1/2004	3321,46	332,15	0,00%	0,00%	1,6%
326	25/7/2004	3312,86	331,29	0,00%	0,00%	1,1%
327	24/7/2004	3297,80	329,78	0,00%	0,00%	2,5%
328	24/12/2004	3291,35	329,13	0,00%	0,00%	1,5%
329	22/2/2004	3287,76	328,78	0,00%	0,00%	2,4%
330	10/1/2004	3261,23	326,12	0,00%	0,00%	1,2%

Posição	Data	Pico C (kW)	FV (kW)	FECC	FECC (dia limpo)	npe p/ 10%
331	17/1/2004	3259,08	325,91	0,00%	0,00%	1,8%
332	4/1/2004	3218,92	321,89	0,00%	0,00%	2,3%
333	2/1/2004	3140,76	314,08	0,00%	0,00%	2,5%
334	3/1/2004	3115,66	311,57	0,00%	0,00%	2,7%

Anexos

