

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA / ELETROTÉCNICA

ADRIANO DE ARAÚJO GEHRING
LUCAS FERNANDO DA SILVA LOPES
RODRIGO SCHWEITZER DALMOLIN

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE:
acompanhamento dos índices de mérito no escritório verde da
UTFPR e análise da viabilidade econômica de implantação em
residências.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2015

ADRIANO DE ARAÚJO GEHRING
LUCAS FERNANDO DA SILVA LOPES
RODRIGO SCHWEITZER DALMOLIN

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE:
acompanhamento dos índices de mérito no escritório verde da
UTFPR e análise da viabilidade econômica de implantação em
residências.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de TCC 2 do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Curitiba, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Professor Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA
2015

Adriano de Araújo Gehring
Lucas Fernando da Silva Lopes
Rodrigo Schweitzer Dalmolin

Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: acompanhamento dos índices de mérito no escritório verde da UTFPR e análise da viabilidade econômica de implantação em residências.

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 5 de fevereiro de 2015.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Jair Urbanetz Junior, Prof. Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Jair Urbanetz Junior, Prof. Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gerson Máximo Tiepolo, Prof. Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Roger Gules, Prof. Dr.
Universidade Livre do Conhecimento

DEDICATÓRIA

Aos nossos pais, Marco Antônio e Denise (Adriano), José Carlos e Izabel (Lucas), Michael e Caril (Rodrigo), por conduzirem nossa formação de forma justa e correta e também pelo esforço dedicado, que jamais será esquecido, para nos dar esta oportunidade única em nossas vidas de nos tornamos Engenheiro Eletricistas. Dedicamos também a todos os familiares, pelo apoio e compreensão nos últimos anos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por esta oportunidade e por ter nos possibilitado estarmos firmes durante toda essa trajetória, para assim caminharmos para realização de nossos sonhos.

Agradecemos aos nossos pais pela chance que nos foi dada, pela confiança depositada para que nós possamos realizar este sonho.

Agradecemos a todos os nossos irmãos e familiares sem exceção, pelo apoio e pela palavra de carinho quando precisávamos.

Agradecemos as nossas namoradas pelo apoio e compreensão. Vocês foram fundamentais para que este trabalho fosse realizado da melhor maneira possível.

Agradecemos aos nossos amigos que iniciaram a caminhada junto conosco e a nossos amigos de nossa cidade que mesmo de longe, sempre torceram pelo nosso sucesso.

Agradecemos em especial nosso querido Professor Dr. Jair Urbanetz Junior por nos ter acolhido em seu projeto e pela excelente convivência que teve conosco nos últimos anos, sempre demonstrando apoio e paciência durante o desenvolvimento do trabalho.

Agradecemos aos professores da banca, Roger Gules e Gerson M. Tiepolo pela atenção e contribuição para que nosso trabalho se desenvolvesse da melhor maneira possível.

“De fato, não fracassei ao tentar, cerca de 10.000 vezes, desenvolver um acumulador. Simplesmente, encontrei 10.000 maneiras que não funcionam.”

(Thomas Edison)

RESUMO

GEHRING, Adriano de A.; LOPES, Lucas F. Da S.; DALMOLIN, Rodrigo S. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: acompanhamento dos índices de mérito no escritório verde da UTFPR e análise da viabilidade econômica de implantação em residências. 2015. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Embora o Brasil disponha de grande potencial para a exploração da energia solar fotovoltaica, já que possui elevados níveis de irradiação solar, o papel dessa fonte renovável é muito insignificante na matriz elétrica brasileira. Porém nos últimos anos, devido à crise hídrica e o alto custo da energia elétrica oriunda das fontes térmicas, a energia elétrica fotovoltaica tem se tornada competitiva em relação a estas fontes, em grande parte devido ao decréscimo dos valores dos módulos fotovoltaicos. Um marco importante para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil foi a instituição da Resolução Normativa ANEEL N°482, que definiu o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Por fim, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar o sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFCR) do Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) através de seus índices de mérito que serão descritos durante o desenvolvimento deste trabalho e também criar cenários residências que possuam um SFCR, a fim de analisar sua viabilidade econômica através do modelo tarifário vigente no Brasil.

Palavras-Chave: Sistemas Fotovoltaicos. Energia Solar Fotovoltaica. Resolução Normativa ANEEL N°482. Escritório Verde.

ABSTRACT

GEHRING, Adriano de A.; LOPES, Lucas F. Da S.; DALMOLIN, Rodrigo S. GRID CONNECTED SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: accompaniment of the merit indexes from UTFPR's green office and analysis of the economic feasibility for residential implantation. 2015. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Although Brazil has a great potential for photovoltaic solar energy, since it has high irradiation levels, the role of this renewable source of energy is almost irrelevant in the Brazilian electric scenario. However, in the last years, due to hydric crisis and the increase of the electric energy cost originated from thermal sources, the solar photovoltaic electric energy has become competitive related to those sources, in great part due to the decrease of the photovoltaic modules. An important milestone to the development of the solar photovoltaic energy in Brazil was the ANEEL no. 482 Normative Resolution, which has defined the Energy Compensation System. Finally, this paper has as main objective to analyze the grid connected solar photovoltaic system of the Green Office at the Federal Technological University of Paraná through its merit indexes that will be described during the development of this paper and also create residential scenarios that use Grid Connected Solar Photovoltaic Systems, in order to analyze its financial feasibility through the Brazilian tariff system.

Key words: Photovoltaic Systems, Solar Photovoltaic Energy, Normative Resolution ANEEL nº 482, Green Office.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz de produção de energia elétrica	12
Figura 2 - Participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira	13
Figura 3 - Total anual da radiação incidente no plano inclinado na Alemanha	14
Figura 4 - Média anual diária do total da radiação incidente no plano inclinado no Brasil	15
Figura 5 - Sistema Fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica.....	16
Figura 6 - Evolução da capacidade instalada acumulada fotovoltaica 2000 – 2013 .	20
Figura 7 - Capacidade instalada acumulada fotovoltaica no mundo em GW	21
Figura 8 – Impacto ambiental causado pela construção da usina hidrelétrica de Belo Monte	22
Figura 9 - Geração total de eletricidade, no cenário da Revolução Energética em 2050	23
Figura 10 - Cobertura do Mineirão com módulos fotovoltaicos	24
Figura 11 - Sistema Fotovoltaico instalado na Biblioteca Pública do Rio de Janeiro	25
Figura 12 - Capacidade instalada (MW) fotovoltaica cadastrada no LER 2014	26
Figura 13 - Diagrama esquemático de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica	27
Figura 14 - Exemplo de um sistema fotovoltaico distribuído conectado à rede elétrica	28
Figura 15 - ENCE para Módulos	29
Figura 16 - ENCE para Bateria.....	30
Figura 17 - Tarifa Convencional B1- Residencial	40
Figura 18 - Fatura de energia elétrica	41
Figura 19 - Sistema de compensação de energia	42
Figura 20 - Fachada do Escritório Verde da UTFPR.....	43
Figura 21 - Módulo Fotovoltaico e Inversor Monofásico do Escritório Verde	44
Figura 22 - Energia Gerada pelo SFCR do EV da UTFPR.....	46
Figura 23 - Tela do RADIASOL para ajuste das coordenadas, desvio azimutal e inclinação dos painéis FV.....	48
Figura 24 - Tela de entrada dos dados de irradiação.....	48
Figura 25 - Estimativa de consumo por eletrodomésticos em uma residência.....	54
Figura 26 - Consumo residencial de energia elétrica	54

Figura 27 - Sistema de bandeiras tarifárias.....	56
Figura 28 - Consumo anual em Curitiba.....	57
Figura 29 - Irradiação diária média nas condições ideais para Curitiba, nos anos de 2012, 2013 e 2014 em kWh/m ² .dia	60
Figura 30 - Sistema de Compensação de Energia.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de Eficiência Energética do Silício Cristalino.....	30
Tabela 2 - Classe de Eficiência Energética de Filmes Finos.....	30
Tabela 3 - Características do SFCR do EV da UTFPR	45
Tabela 4 - Irradiação diária média no plano horizontal fornecida pela estação A807 do INMET (kWh/m ² .dia).....	47
Tabela 5 - Irradiação diária média no plano do painel fotovoltaico do Escritório Verde fornecida pelo RADIASOL 2 (kWh/m ² .dia).	49
Tabela 6 - Yield Mensal e Anual dos Anos de 2012, 2013 e 2014 (kWh/kWp)	50
Tabela 7 - Performance Ratio mensal e anual do SFCR do EV da UTFPR.....	51
Tabela 8 - Fator de Capacidade dos anos 2012, 2013 e 2014	52
Tabela 9 - Consumo de eletricidade na rede em GWh	53
Tabela 10 - Irradiação diária média em um plano com as condições ideais para Curitiba (kWh/m ² .dia).	59
Tabela 11 - Custo da Taxa Mínima para Sistema Bifásico.....	63
Tabela 12 - Inflação Brasileira de 2013 e 2014	63
Tabela 13 - Rendimento anual da poupança	64
Tabela 14 - Dados para análise	64
Tabela 15 - Tempo de retorno para Cenário 1	66
Tabela 16 - Tempo de retorno para Cenário 2	67
Tabela 17 - Tempo de retorno para Cenário 3	68

LISTA DE SIGLAS

AT	Alta Tensão
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BT	Baixa Tensão
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
C_F	<i>Capacity Factor</i> (Fator de Capacidade)
COD	Centro de Operação da Distribuição
CSP	<i>Concentrated Solar Power Plant</i> (Usina Solar Concentrada)
DIT	Demais Instalações de Transmissão
DSV	Dispositivo de Seccionamento Vísivel
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EV	Escritório Verde
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
GHI	Irradiação Global Horizontal
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
MME	Ministério de Minas e Energia
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PR	<i>Performance Ratio</i> (Desempenho Global)
P_N	Potência Nominal
PV	<i>Photovoltaic</i> (Fotovoltaico)
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica
SFI	Sistema Fotovoltaico Isolado
USF	Usina Solar Fotovoltaica
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Y_F	<i>Final Yield</i> (Produtividade Anual)

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balço Energético Nacional
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
COSIP	Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPIA	Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
PIS	Programa de Integração Social
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes de Alternativas de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. TEMA DE PESQUISA.....	12
1.1.1. Delimitação do Tema	17
1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS	17
1.3. OBJETIVOS.....	17
1.3.1. Objetivo Geral	17
1.3.2. Objetivos Específicos	18
1.4. JUSTIFICATIVA.....	18
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1. PANORAMA ATUAL DE SFCR NO MUNDO E NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA	20
2.1.1. PANORAMA ATUAL DE SFCR NO MUNDO.....	20
2.1.2. PANORAMA ATUAL DE SFCR NO BRASIL	21
2.1.3. LEILÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	25
2.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE	27
2.3. DESEMPENHO DE UM SFCR	28
2.3.1. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM.....	28
2.4. REQUISITOS DE CONEXÃO PARA O SFCR.....	35
2.4.1. PRODIST: MÓDULO 3 – ACESSO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.....	35
2.4.2. DESPACHO N° 720, DE 25 DE MARÇO DE 2014	36
2.4.3. NTC 905100.....	36
2.4.4. NTC 905200	36
2.5. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	38
2.5.1. RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL N° 482.....	38

2.5.2. RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL N°517.....	39
2.6. ANÁLISE ECONÔMICA.....	39
2.6.1. TARIFA RESIDENCIAL.....	39
2.6.2. TRIBUTOS.....	40
2.6.2.1. PIS/COFINS.....	40
2.6.2.2. ICMS.....	40
2.6.2.3. COSIP.....	41
2.6.3. SISTEMA DE COMPENSAÇÃO.....	42
3. ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR.....	43
3.1. DADOS E ÍNDICES DO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR.....	43
3.2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA (SFCR) DO EV DA UTFPR.....	44
3.3. DESEMPENHO DO SFCR DO EV DA UTFPR.....	45
3.3.1. ENERGIA GERADA PELO SFCR DO EV DA UTFPR.....	45
3.3.2. IRRADIAÇÃO INCIDENTE NO PAINEL FV DO SFCR DO EV DA UTFPR.....	46
3.3.3. ÍNDICES DE MÉRITO DO SFCR DO EV DA UTFPR.....	49
3.3.3.1. <i>YIELD</i> OU PRODUTIVIDADE.....	49
3.3.3.2. <i>PERFORMANCE RATIO</i> OU TAXA DE DESEMPENHO.....	50
3.3.3.3. FATOR DE CAPACIDADE.....	51
4. ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SFCR EM CENÁRIOS RESIDENCIAIS.....	53
4.1. PANORAMA ATUAL BRASILEIRO DO CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA.....	53
4.2. CENÁRIO ATUAL BRASILEIRO EM RELAÇÃO AO PREÇO DA ENERGIA ELÉTRICA.....	54
4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS.....	56
4.3.1. CENÁRIO 1.....	57
4.3.2. CENÁRIO 2.....	58

4.3.3. CENÁRIO 3.....	58
4.4. CARACTERIZAÇÃO DO SFCR PROJETADO.....	59
4.4.1. PREMISSAS	59
4.4.2. IRRADIAÇÃO DIÁRIA MÉDIA NAS CONDIÇÕES IDEAIS	59
4.4.3. CÁLCULO DA POTÊNCIA DO SFCR.....	60
4.5. ANÁLISE ECONÔMICA	61
4.5.1. CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO.....	61
4.5.2. INCIDÊNCIA DE IMPOSTOS NA FATURA DA COPEL	61
4.5.3. SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO	62
4.5.4. CUSTO DA TAXA MÍNIMA	63
4.5.5. REAJUSTES DA TARIFA COPEL	63
4.5.6. INFLAÇÃO	63
4.5.7. POUPANÇA	64
4.5.8. CÁLCULO DO PAYBACK.....	64
4.5.8.1. CENÁRIO 1.....	65
4.5.8.2. CENÁRIO 2.....	66
4.5.8.3. CENÁRIO 3.....	67
REFERÊNCIAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

1.1. TEMA DE PESQUISA

O Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, na qual a fonte hidráulica responde por aproximadamente 68,0% da produção de energia elétrica (MME, 2014), conforme apresentado na figura 1. O grande potencial hídrico brasileiro e o baixo custo da implantação de usinas hidrelétricas, comparado a outras fontes de energia, faz com que essa fonte seja amplamente utilizada. Porém, o impacto ambiental causado por ela é o grande entrave para uma maior utilização. Apesar de a principal fonte de geração de energia elétrica ser de origem hidráulica, o Brasil possui outras fontes de geração de energia elétrica.

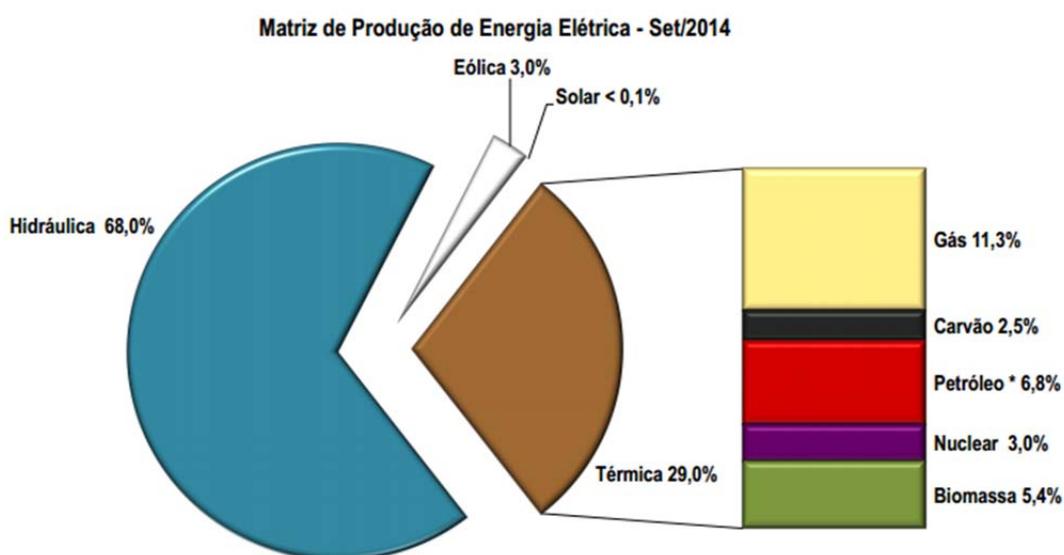


Figura 1 - Matriz de produção de energia elétrica

Fonte: MME, 2014.

De acordo com a figura 2, pode-se afirmar que aproximadamente 79,3% da eletricidade no Brasil é originada de fontes renováveis, bem acima da média mundial que é de aproximadamente 20,3% (EPE, 2014a).

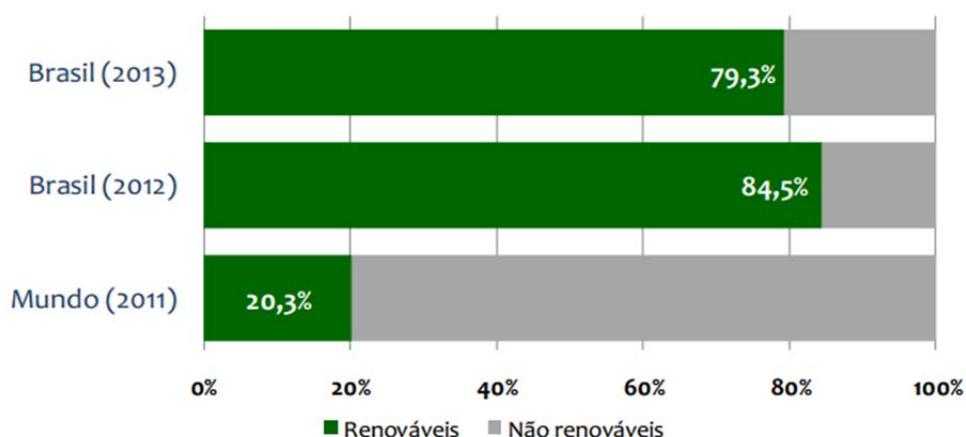


Figura 2 - Participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira

Fonte: Adaptado EPE, 2014a.

Um dos fatores que impulsionou essa diversificação da matriz energética brasileira foi a introdução do PROINFA por parte do governo brasileiro. O PROINFA, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, foi instituído com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN), buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica (MME, 2013).

Nesse contexto, apresenta-se a geração de Energia Solar Fotovoltaica. A geração fotovoltaica nada mais é do que um processo de geração de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos, os quais são constituídos por células de material semicondutor que captam a energia solar e a convertem em energia elétrica do tipo corrente contínua. Os Sistemas Fotovoltaicos apresentam pontos positivos como, por exemplo, seu baixo impacto ambiental, produção de energia através de uma fonte renovável e de maneira silenciosa (URBANETZ, 2010).

O Brasil possui uma posição privilegiada em termos de radiação solar, já que a maior parte do território brasileiro localiza-se próximo a linha do Equador, evitando grandes variações na duração solar do dia, com destaque para o Nordeste Brasileiro, o qual apresenta radiação solar comparável as melhores regiões do mundo nesse aspecto (CCEE, 2013). As figuras 3 e 4 são referentes aos níveis de radiação solar na Alemanha (que é um dos países com a maior capacidade fotovoltaica instalada) e no Brasil, respectivamente.

Global irradiation and solar electricity potential

Optimally-inclined photovoltaic modules

GERMANY / DEUTSCHLAND

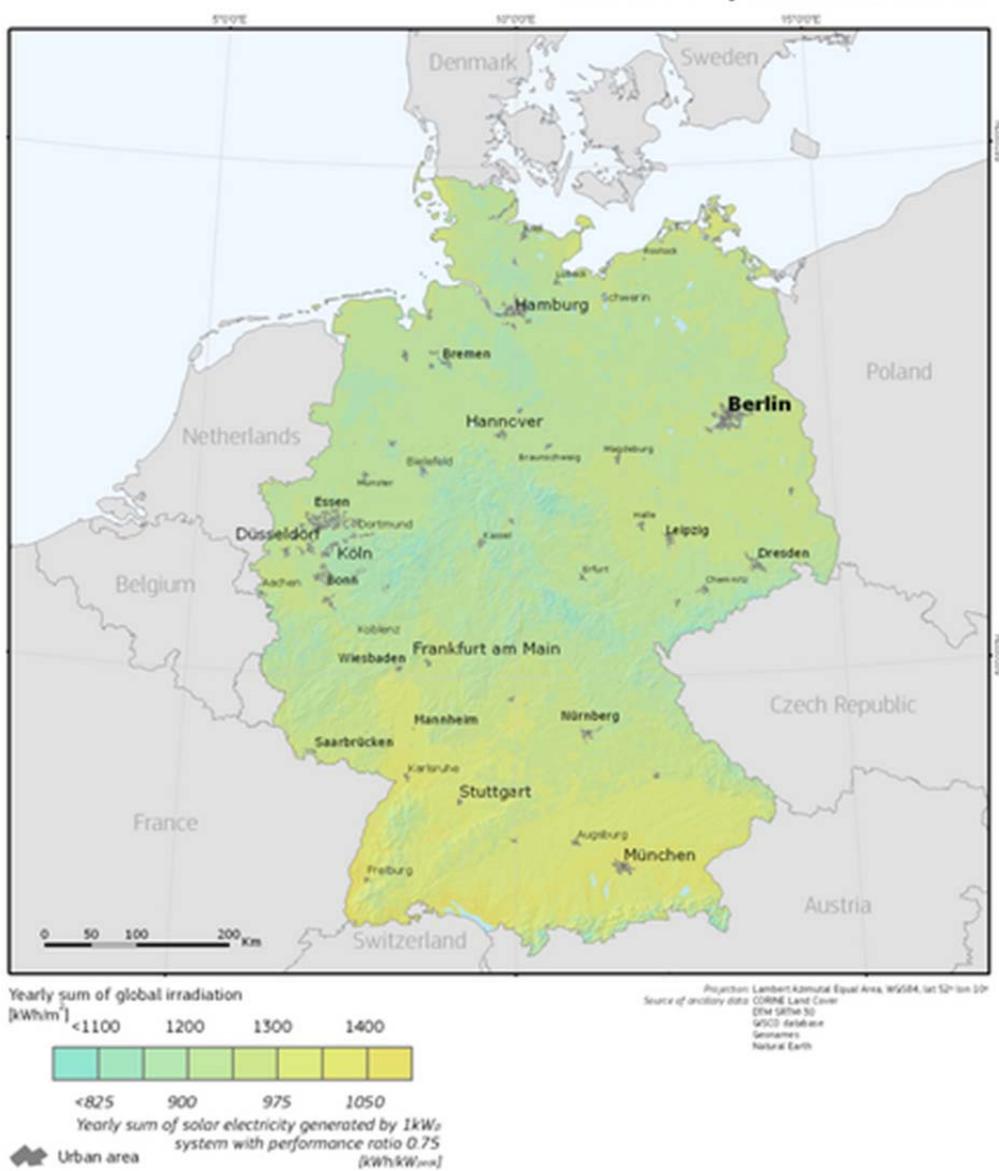


Figura 3 - Total anual da radiação incidente no plano inclinado na Alemanha

Fonte: European Commission, 2014.

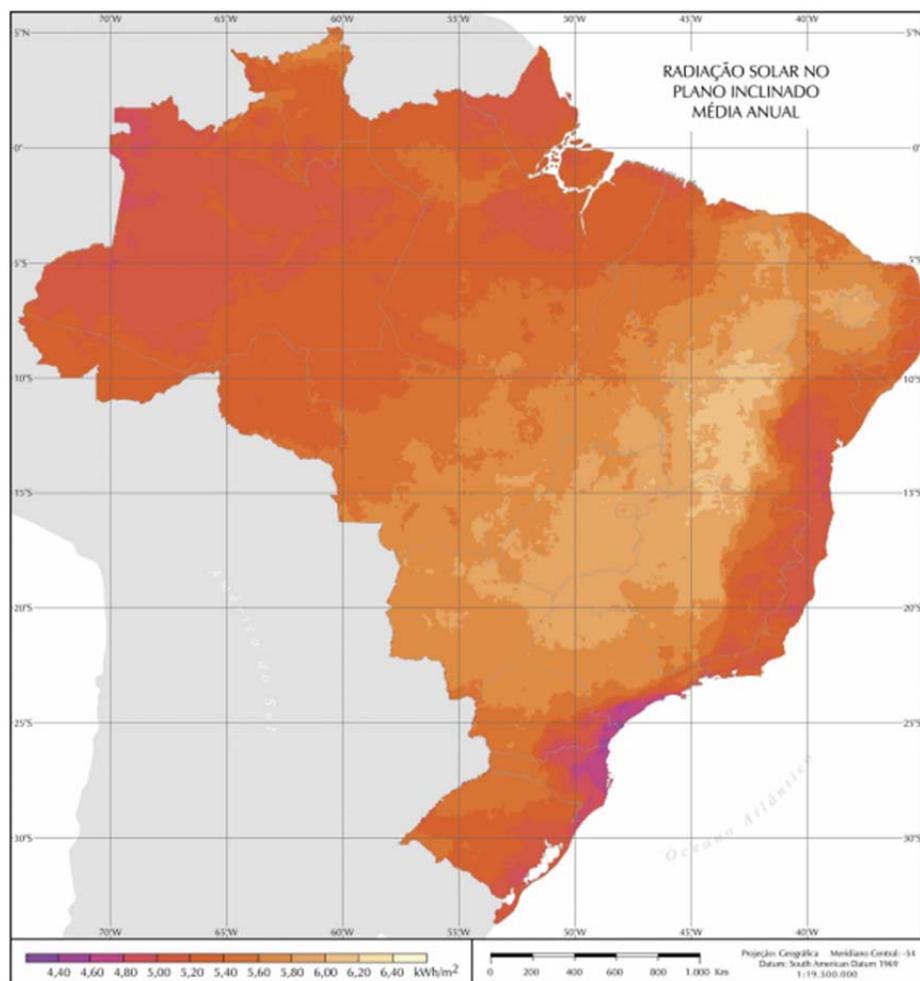


Figura 4 - Média anual diária do total da radiação incidente no plano inclinado no Brasil
Fonte: PEREIRA et al., 2006.

Vale destacar que mesmo nas regiões com menores índices de radiação, é possível verificar um grande potencial fotovoltaico no Brasil, conforme as duas figuras anteriores. Conclui-se também que a região mais ensolarada da Alemanha recebe um índice de radiação solar aproximadamente 40% menor que o índice da região menos ensolarada no Brasil (CABRAL et al., 2013, p.4), comprovando o extenso potencial fotovoltaico brasileiro.

No Estado do Paraná também é possível verificar um grande potencial de geração de energia elétrica solar fotovoltaica, já que mesmo em períodos de menor incidência solar, os valores registrados no Estado do Paraná são superiores aos registrados na Alemanha, que até 2012 tinha um potencial instalado de 32 GWp (TIEPOLO et al., 2013). Para efeito de comparação, a produtividade de um sistema fotovoltaico na Alemanha é de aproximadamente 2,16 e 2,98 kWh / kWp para um dia

médio do ano, sendo que no Paraná a produtividade para um dia médio é de 3,09 e 4,11 kWh / kWp para o plano inclinado nas condições ideais (TIEPOLO et al., 2014).

Por fim, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de duas maneiras:

- Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFI);
- Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR).

Os sistemas Isolados (SFI) são normalmente instalados em locais sem acesso à rede elétrica e necessitam de um elemento armazenador de energia (URBANETZ, 2010), e também são conhecidos como sistemas autônomos.

Já os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede são constituídos basicamente por: painel Fotovoltaico e inversor. Este tipo de sistema não utiliza elementos para armazenar a energia elétrica. Basicamente, a rede elétrica da concessionária é vista como o elemento armazenador, pois toda a energia gerada é colocada em paralelo com a energia da rede (URBANETZ, 2010).

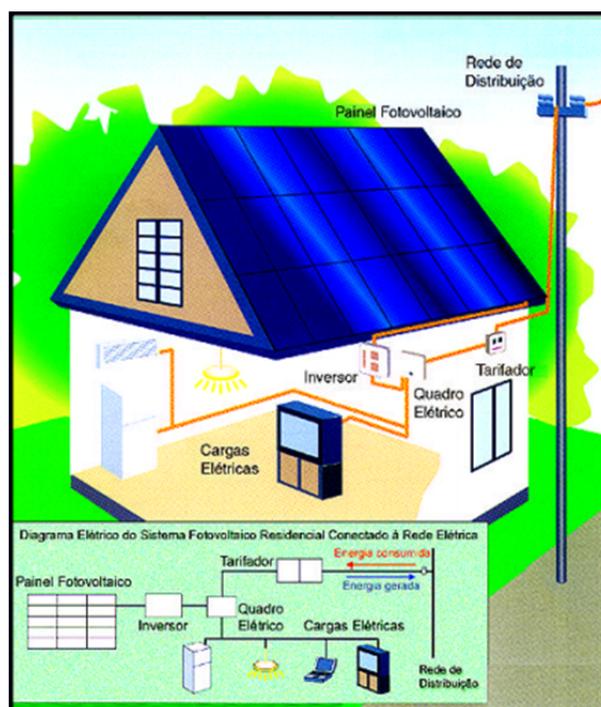


Figura 5 - Sistema Fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica

Fonte: CEPEL, 2003.

Em 2012, visando aumentar a participação da energia solar fotovoltaica na matriz energética brasileira e também aumentar a geração distribuída, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482, onde ficaram estabelecidos os critérios gerais de microgeração e minigeração, criando o Sistema de Compensação de

energia. Tal Sistema de Compensação permite que fontes de até 1 MW de potência instalada se conectem à rede elétrica, para consumo local. O excedente poderá ser injetado na rede, gerando créditos de energia.

1.1.1. Delimitação do Tema

Este trabalho tem em vista acompanhar os índices de mérito, que são indicadores de desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede do Escritório Verde da UTFPR, e analisar a viabilidade econômica de implantação do SFCR em residências, comparando com os dados levantados no escritório verde.

1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS

Nos últimos anos a busca por formas de geração de energia limpa tornou-se uma alternativa cada vez mais procurada, porém para o SFCR ainda faltam estudos sobre sua viabilidade de implantação.

Com a situação do cenário energético mundial buscando alternativas para a geração de energia, surgiu a necessidade de uma análise mais profunda sobre o tema, o qual ainda possui campo para ser explorado e para evoluir. Sabe-se que a energia solar fotovoltaica ainda é pouco utilizada e que o Brasil é um país com potencial para a geração deste tipo de energia e um estudo na área se faz necessário para melhor entendimento do assunto.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Acompanhar os índices de mérito da instalação do sistema fotovoltaico do escritório verde da UTFPR, verificando se o desempenho e geração correspondem com o esperado para esta instalação. E, ainda, comparar os dados levantados com um cenário residencial com o objetivo de analisar a viabilidade econômica da implantação de um SFCR neste cenário.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar a coleta de dados dos índices de desempenho da instalação fotovoltaica do Escritório Verde;
- Analisar os dados coletados e verificar se são compatíveis com os resultados esperados;
- Realizar um balanço anual dos dados coletados com uma análise mais aprofundada dos resultados;
- Criar um cenário onde será possível analisar a instalação de um SFCR num ambiente residencial;
- Analisar a viabilidade econômica de instalação de sistemas fotovoltaicos em residências.

1.4. JUSTIFICATIVA

As fontes alternativas de energia estão sendo cada vez mais estudadas. Existe um incentivo para que as pessoas busquem evitar o desperdício e economizar no consumo de energia. A demanda de energia é crescente e um país que precisa se desenvolver, necessita de uma matriz energética sólida e que corresponda a esse crescimento. Entretanto, quando se fala em energia renovável, existe uma ênfase na busca pelo desenvolvimento deste tipo de energia. Atualmente existem leis regulamentando emissões de poluentes, que não existiam há alguns anos, e que vêm para incentivar o uso de energias alternativas, pois a queima de combustíveis fósseis como forma de energia é altamente poluente. A participação de energias renováveis na matriz elétrica brasileira é uma das maiores do mundo, com cerca de 79,3% de energia renovável (EPE, 2014a).

A energia solar fotovoltaica possui a vantagem de ser limpa, podendo ser utilizada largamente no território brasileiro. Porém, um dos motivos que impede a sua utilização em larga escala é o fator econômico, pois ainda não há um grande incentivo por parte do governo, como por exemplo, a isenção de impostos para a microgeração e geração própria.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As etapas para realização deste trabalho são:

- Realização de pesquisa bibliográfica em livros, artigos, trabalhos já concretizados no EV da UTFPR e sites sobre o assunto. E, também, uma visita à uma empresa especializada em instalação e projeto de SFCR;
- Realizar medições e coleta de dados da energia gerada pelo SFCR do EV da UTFPR;
- Criar cenários residenciais para comparação com o levantamento feito no EV;
- Cálculo da viabilidade econômica da instalação de um SFCR no cenário residencial criado;
- Análise dos dados levantados e dos cálculos de viabilidade econômica.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em quatro capítulos:

- O primeiro capítulo apresenta a introdução, que consiste no tema de pesquisa, os problemas e premissas, objetivos, justificativa, procedimentos metodológicos, estrutura do trabalho e cronograma;
- No segundo capítulo foi feita a fundamentação teórica sobre os SFCR, descrevendo o seu funcionamento, tipos de sistemas, os componentes e desempenho, apresentando os conceitos básicos para a compreensão da análise feita no trabalho;
- O terceiro capítulo mostra os dados levantados com o acompanhamento dos índices de mérito do escritório verde da UTFPR e apresenta cenários residenciais criados a fim de analisar a viabilidade econômica da instalação do SFCR;
- O quarto capítulo mostra as conclusões obtidas com os dados levantados com os cenários criados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. PANORAMA ATUAL DE SFCR NO MUNDO E NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

2.1.1. PANORAMA ATUAL DE SFCR NO MUNDO

Nos últimos anos, a capacidade fotovoltaica instalada cresceu mais de 900% de aproximadamente 10 GW em 2007, com destaque para Alemanha, Itália, Estados Unidos e China (ÁVILA, 2013), conforme apresentado na figura 6.

Já em 2013 a capacidade instalada acumulada fotovoltaica foi de aproximadamente 138,9 GW, fato que corresponde aproximadamente 160 TWh de energia elétrica ao ano. Esta quantidade de energia elétrica também é equivalente à eletricidade produzida por 32 grandes usinas movidas a carvão (EPIA, 2014).

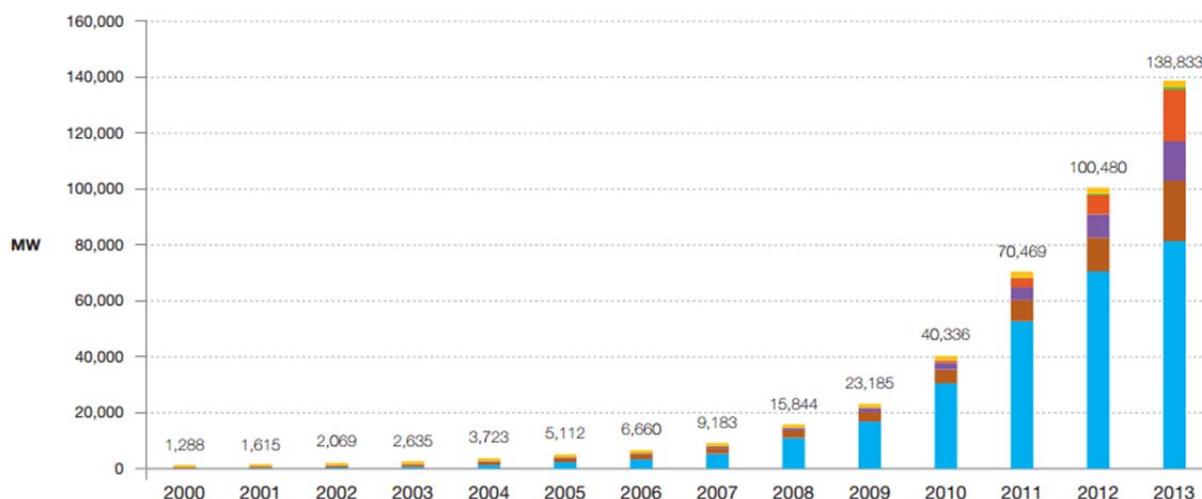


Figura 6 - Evolução da capacidade instalada acumulada fotovoltaica 2000 – 2013

Fonte: EPIA, 2014.

Segundo Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica (2014) a Europa continua sendo o continente com a maior capacidade instalada de geração fotovoltaica, representando aproximadamente 59% da capacidade instalada fotovoltaica global. Este valor é inferior a anos anteriores, como exemplo 2011, quando a Europa representava aproximadamente 75% da capacidade instalada fotovoltaica no mundo. Este decréscimo da participação da Europa na totalidade da

capacidade instalada global se deve em grande parte a rápida expansão do mercado asiático, com destaque para a China (EPIA, 2014).

A China foi o país que mais investiu no setor fotovoltaico em 2012, colocando - a na segunda posição do ranking dos países com a maior capacidade instalada (PNUMA, 2013).

Faz dois anos que ela é o maior mercado de energia solar do mundo, muito se deve à preocupação da população e das empresas chinesas com os problemas de saúde causados pela fumaça da poluição nos grandes centros. No fim de 2013, a China possuía quase 20 GW de capacidade solar instalada, o que equivale aproximadamente 20 reatores nucleares (VALOR ECONÔMICO, 2014).

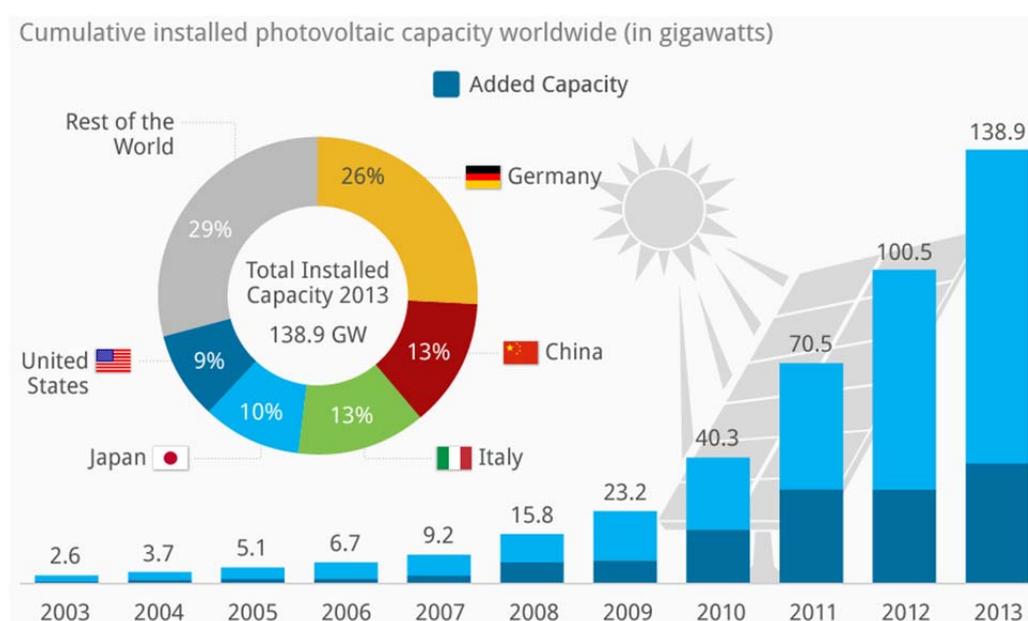


Figura 7 - Capacidade instalada acumulada fotovoltaica no mundo em GW

Fonte: RICHTER, 2014.

2.1.2. PANORAMA ATUAL DE SFCR NO BRASIL

Em relação à matriz elétrica brasileira, ela apresenta uma estrutura de participação de fontes renováveis versus não renováveis inversa em relação à matriz mundial, já que 79,3% da matriz brasileira é de fontes renováveis, enquanto a matriz elétrica mundial somente 20,3% é com participação de energias renováveis.

O Brasil é altamente dependente da fonte hidráulica para geração de energia elétrica, com um extenso potencial ainda não utilizado, como por exemplo, o

potencial na região amazônica que começou a ser explorado agora pelo Governo Brasileiro. Porém, tal atitude não está sendo bem vista por especialistas e pela sociedade, pois as usinas hidrelétricas geram um impacto ambiental muito grande na região em que será construída, fato que gera uma grande discussão.

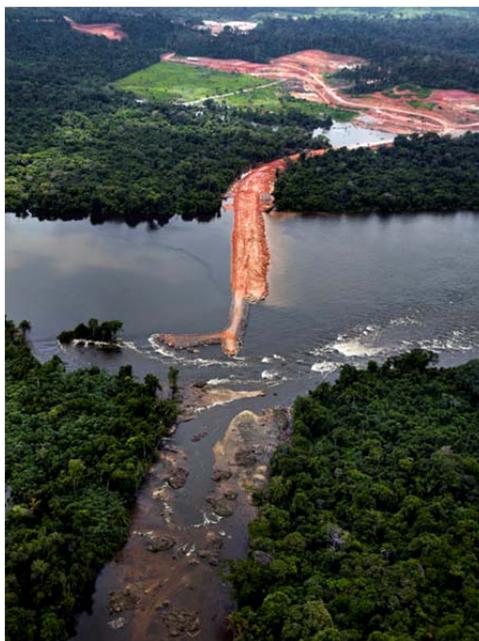


Figura 8 – Impacto ambiental causado pela construção da usina hidrelétrica de Belo Monte
Fonte: Greenpeace, 2012.

Hoje a política energética do Brasil concentra-se na fonte hidráulica. Porém, durante períodos de estiagem, o governo tende a liberar o despacho de energia elétrica através das Usinas Termoelétricas que são fontes poluentes e o custo da energia é mais alto.

Haja vista essas polêmicas e o custo da energia termoelétrica, o Governo Brasileiro está buscando a diversificação da matriz elétrica brasileira, através de novas fontes de energia. Caso o Brasil mantenha o ritmo atual de crescendo econômico, estima-se que o consumo de energia elétrica fique quatro vezes maior até 2050, atingindo aproximadamente 1442 TWh (TESKE et al.,2010), fato que se faz necessário um investimento em eficiência energética afim de atender a demanda brasileira.

Nesse contexto, a energia Solar Fotovoltaica aparece como uma fonte muito interessante para diversificação da matriz elétrica brasileira. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2014d), o Brasil possui uma irradiação diária média anual

entre 1.500 e 2.400 kWh/m²/ano. Se fosse aproveitada 5% dessa energia, toda a demanda brasileira por eletricidade poderia ser atendida (TESKE et al.,2010).

Em 2050, 92,7% da eletricidade produzida no Brasil pode ter origem em fontes renováveis (TESKE et al.,2010).

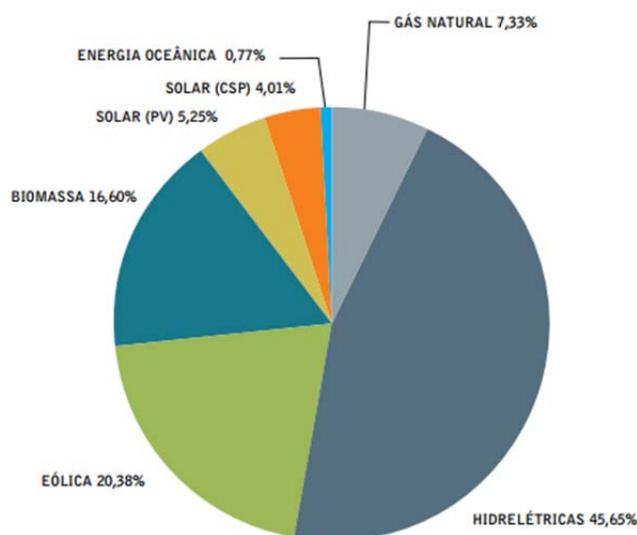


Figura 9 - Geração total de eletricidade, no cenário da Revolução Energética em 2050

Fonte: TESKE et al.,2010.

Observando a figura 9 pode-se notar que a geração de energia solar por Painéis Fotovoltaicos (PV) e Usinas de energia Solar Concentrada (CSP) chegaria a 9,2% da matriz elétrica. A revolução energética defendida pelo Greenpeace tem como grande objetivo eliminar gradualmente as fontes não renováveis e poluentes, desvinculando o crescimento econômico do consumo de combustíveis fósseis, fato que está diretamente ligado a economia mundial nos dias de hoje (TESKE et al.,2010). Da figura 9, também se conclui que dos 100% da matriz elétrica proposta para 2050, apenas 7,33% será de origem não renovável, no caso o Gás Natural.

Hoje, a participação da energia solar no Brasil ainda é pequena, tanto que algumas vezes ela não chega a ser considerada nos dados oficiais, porém é questão de tempo para seu crescimento. Este crescimento está diretamente ligado à ideia da geração distribuída, o que já ocorre, como por exemplo, no estádio do Mineirão e também na Biblioteca do Rio de Janeiro, onde uma parte da geração é usada para consumo próprio e o excedente é injetado na rede da concessionária.

Nos últimos 5 anos o mercado mundial de módulos fotovoltaicos cresceu mais de 30% (TESKE et al.,2010), com destaque para a queda do preço das células fotovoltaicas. Com todos esses fatos, pode-se concluir que em um curto prazo, as células fotovoltaicas serão competitivas em relação aos preços médios de tarifas elétricas.

Outro ponto de destaque da energia fotovoltaica é que ela é incentivada para ser utilizada como uma fonte complementar de geração de energia elétrica. O sistema fotovoltaico além de substituir as fontes fósseis, também promove a descentralização da produção, surgindo um modelo descentralizado de produção de energia elétrica, onde terá mais unidades geradoras em menor escala e mais próxima do ponto de consumo, reduzindo custos com sistemas de transmissão (TESKE et al.,2010).

Alguns estádios da Copa do mundo no Brasil têm como fonte principal de energia elétrica, o sistema fotovoltaico, como por exemplo, o Estádio do Mineirão, localizado em Belo Horizonte.



Figura 10 - Cobertura do Mineirão com módulos fotovoltaicos
Fonte: CEMIG, 2014.

Segundo a Companhia Energética de Minas Gerais (2014) a Usina Solar Fotovoltaica (USF) Mineirão possui uma potência nominal de 1,42 MWp e 5.910 módulos fotovoltaicos, sendo a produção média de energia elétrica entregue a rede 1.600 MWh/ano, o suficiente para atender 1.200 residências.

Toda energia produzida pela USF Mineirão será injetada na rede elétrica da concessionária, sendo que 10% da totalidade produzida serão dedicadas ao consumo do próprio estádio, enquanto os outros 90% serão distribuídos normalmente (CEMIG, 2014).

Outro exemplo de SFCR é o instalado na Biblioteca Pública do Estado do Rio de Janeiro.



Figura 11 - Sistema Fotovoltaico instalado na Biblioteca Pública do Rio de Janeiro
Fonte: Light, 2012.

O empreendimento realizado pela Light, possui 162 módulos fotovoltaicos com capacidade de produção de 51,5 MWh/ano. O SFCR da Biblioteca irá compensar a emissão de aproximadamente 132,5 toneladas de gás carbônico na atmosfera (Light, 2012).

2.1.3. LEILÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Devido ao enorme potencial existente no Brasil e a redução dos preços dos módulos fotovoltaicos, a energia solar tem se tornado cada vez mais atrativa. Vale destacar, a iniciativa do Governo do Estado de Pernambuco, o qual criou em dezembro de 2013 um leilão específico para a fonte solar. Neste leilão, houve a contratação de 6 projetos com a geração de energia elétrica pela fonte solar, ao preço médio de R\$ 228,63 / MWh totalizando uma potência de 122 MWp (EPE, 2014b).

Em 2013, o Ministério de Minas e Energia, através das Portarias n° 226/2013 e n°300/2013, incluiu a fonte solar nos leilões de energia A-3/2013 e A-5/2013 abrindo a possibilidade da fonte solar competir igualmente com outras fontes, como eólica e térmicas, na modalidade “por disponibilidade”. Porém, mesmo com grande interesse na participação do leilão, nenhum projeto fotovoltaico foi vendido nestes leilões, por apresentarem custos mais elevados (EPE, 2014b).

Já no ano de 2014, mais precisamente no dia 31/10/2014 foi realizado o Leilão de Energia de Reserva (LER). Neste certame, os projetos fotovoltaicos competiram apenas entre si e não com outras fontes. Assim, houve um recorde de projetos cadastrados (400), os quais totalizavam mais de 10 GWp (EPE, 2014b), conforme apresentado na figura 12.

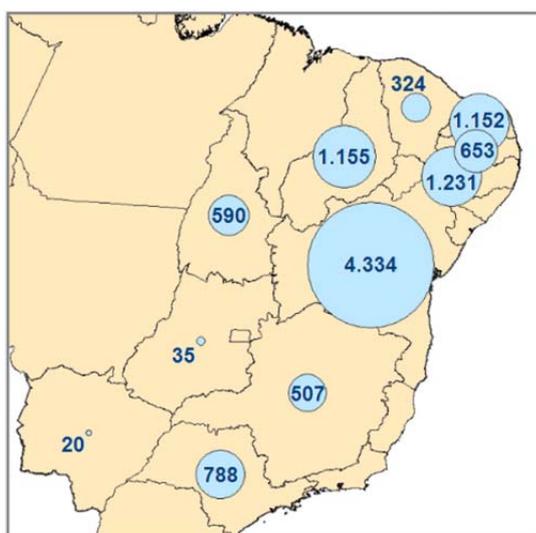


Figura 12 - Capacidade instalada (MW) fotovoltaica cadastrada no LER 2014

Fonte: EPE, 2014b.

Este leilão de Energia de Reserva foi considerado um sucesso e surpreendente por parte do Governo Federal. A fonte solar registrou um deságio de 17,89%, com o preço da energia caindo de um teto de R\$ 262/MWh para um valor médio de R\$ de 215,12/MWh. No LER, 31 projetos foram contratados, somando 202,1 MW médios de energia, sendo a capacidade total 1048 MWp (MEDEIROS, 2014).

2.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

O sistema fotovoltaico conectado à rede também é conhecido como *on grid*. Esse sistema, nada mais é do que um gerador de eletricidade que utiliza como fonte de energia a energia proveniente do sol.

Os SFCR dispensam o uso de baterias, pois toda potência gerada pelo sistema fotovoltaico é consumida pelas cargas ou são injetadas diretamente na rede elétrica.

O sistema é composto de um painel com módulos fotovoltaicos que possuem a função de converter a energia solar em energia elétrica em corrente contínua e também possui os inversores, que convertem essa corrente contínua em corrente alternada, com frequência e tensão compatíveis com os valores da rede elétrica.

Basicamente, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem se dividir em dois tipos, segundo Rütther (2004):

- De forma centralizada, como se fosse uma usina convencional e longe dos consumidores (grandes centrais fotovoltaicas);
- De forma integrada a edificação, próxima ao consumidor e descentralizada (pequeno porte).

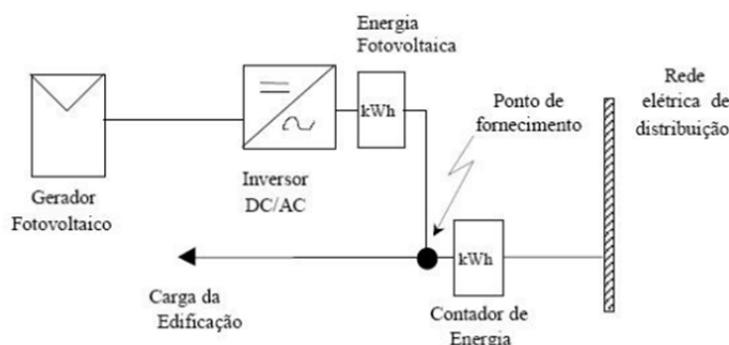


Figura 13 - Diagrama esquemático de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica
Fonte: Zilles, 2011.

Os sistemas fotovoltaicos descentralizados (distribuídos) podem ser instalados de forma integrada a uma edificação, geralmente aparecendo nos telhados das casas ou prédios, isto é, esses módulos estão juntos ao ponto de consumo. Por isso, os sistemas distribuídos apresentam algumas vantagens em relação aos sistemas centralizados, pois estando próximos ao ponto de consumo diminuem as perdas por transmissão e distribuição.



Figura 14 - Exemplo de um sistema fotovoltaico distribuído conectado à rede elétrica
Fonte: Master Solar, 2014.

2.3. DESEMPENHO DE UM SFCR

Basicamente, a análise do desempenho de um sistema é feita levando em consideração as perdas do sistema, para que se possa ter um índice de desempenho ou de performance o mais próximo possível da realidade. A tendência dos sistemas fotovoltaicos é crescer nos próximos anos, e para isso, é necessário mostrar que o seu desempenho é satisfatório, assim um estudo do desempenho dos sistemas fotovoltaicos se faz necessário para que esta tecnologia continue evoluindo. As instalações de sistemas fotovoltaicos são concebidas com um objetivo, o de ter o melhor desempenho possível, evitando as perdas e itens desnecessários. A análise de desempenho de qualquer sistema nos permite analisar a viabilidade de sua concepção ou instalação.

2.3.1. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM

O INMETRO possui um sistema de etiquetagem que classifica um produto quanto à sua eficiência energética. Um dos primeiros passos para determinar o desempenho de um sistema fotovoltaico é a análise de seus equipamentos, que são submetidos a testes padronizados pelo INMETRO no Brasil.

2.3.2. PORTARIA N° 004 DE 2001 DO INMETRO

Com a necessidade de estabelecer requisitos mínimos de desempenho e segurança dos sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica foi criada a portaria n° 004 de 2001 do INMETRO, cujo objetivo é estabelecer os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, através do mecanismo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, atende aos requisitos do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, visando à eficiência energética e adequado nível de segurança (INMETRO, 2011).

Os produtos englobados por esta portaria e que devem ser padronizados através da etiquetagem são módulos fotovoltaicos, controladores de carga, inversores e baterias estacionárias para aplicação fotovoltaica.

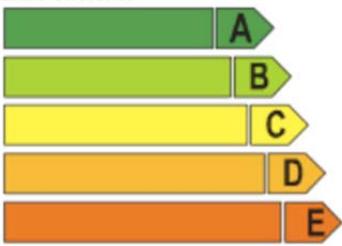
Energia (Elétrica)		MÓDULO FOTOVOLTAICO
Fabricante		ABCDEF
Marca		XYZ(Logo)
Modelo		XPQOPT
Mais eficiente		A
		
Menos eficiente		
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)		XY,Z
Área Externa do Módulo (m ²)		0,00
Produção Média Mensal de Energia (kWh/mês)		0,00
Potência nas Condições Padrão (W)		0,00
<small>Resultado de Avaliação de Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica</small> <small>Instruções de instalação e recomendações de uso, leia o Manual do aparelho</small>		
 <small>PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</small>		
<small>IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR</small>		

Figura 15 - ENCE para Módulos
Fonte: INMETRO, 2011.

LOGOMARCA E INFORMAÇÕES DO FORNECEDOR DO PRODUTO	
TIPO (Tecnologia da bateria)	
MODELO (Código comercial)	CAPACIDADE NOMINAL (120h até 1,80V/cél @ 25°C) XXXX Ah
TENSÃO NOMINAL XX V	NÚMERO DE CICLOS (Conforme RAC nº 013) XXXX
Regulamento de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica - RAC/013-FOT - Bateria	
 PROCEL	PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
ESTE PRODUTO TEM SEU DESEMPENHO APROVADO PELO INMETRO E ESTÁ EM CONFORMIDADE COM O PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM	
*1,00V/cé para bateria Ni-Cd	
Unidade: mm	

Figura 16 - ENCE para Bateria
Fonte: INMETRO, 2011.

Tabela 1 - Classe de Eficiência Energética do Silício Cristalino

Classe de Eficiência Energética Silício Cristalino (m-Si ou p-Si)
A > 13,5%
13% < B ≤ 13,5%
12% < C ≤ 13%
11% < D ≤ 12%
E < 11%

Fonte: INMETRO, 2011.

Tabela 2 - Classe de Eficiência Energética de Filmes Finos

Classe de Eficiência Energética Filmes Finos
A > 9,5%
7,5% < B ≤ 9,5%
6,5% < C ≤ 7,5%
5% < D ≤ 6,5%
E < 5%

Fonte: INMETRO, 2011.

2.3.3. Perdas no SFCR

2.3.3.1. Variação de temperatura nas células Fotovoltaicas

Com a elevação da temperatura das células fotovoltaicas, ocorre uma significativa redução na tensão e um mínimo aumento na corrente fotogerada, resultando na diminuição da potência fornecida pelo sistema. Esse efeito é acentuado durante o verão e se agrava quando a instalação encontra-se em edificações onde possa haver redução na ventilação do painel. Normalmente a potência do gerador FV utilizando tecnologia silício cristalina decai entre 0,3 e 0,4 % a cada 1°C acima da temperatura padrão de testes dos módulos FV de 25°C (ALMEIDA, 2012).

2.3.3.2. Degradação das células Fotovoltaicas

Assim como equipamentos elétricos e eletrônicos, as células fotovoltaicas presentes nos módulos geradores, independentemente do material utilizado, possuem uma degradação natural que afeta a eficiência e o rendimento global do módulo. Segundo Jordan e Kurtz (2011), esta perda é inevitável e contribui para a redução gradual do desempenho ao longo dos anos. Estima-se um decaimento médio anual de 0,8%.

2.3.3.3. Sombreamento parcial

Levando em consideração que a energia gerada por um módulo fotovoltaico é diretamente proporcional aos raios solares incidentes nas células fotovoltaicas, pode-se afirmar que qualquer sombreamento ou ausência total ou parcial de raios solares irá diminuir o rendimento e a energia gerada pela instalação. Os fatores causadores de sombreamento são, em geral, devido a edificações próximas (prédios altos e indústrias) e a efeitos da natureza, como ventos que possam derrubar folhas sobre os módulos, ou, também, neve.

O percentual de perda de energia é maior do que a porcentagem de área sombreada. Em geradores fotovoltaicos de pequeno porte, com poucas (ou nenhuma) conexões em paralelo, uma única folha pode causar a redução da saída

do sistema a uma fração pequena da potência nominal, eventualmente resultando em falha. Células fotovoltaicas sombreadas em série com células iluminadas causam o bloqueio da corrente e tendem a se polarizar reversamente, transformando-se em cargas onde a potência é dissipada na forma de calor, ocasionando perdas e pontos quentes (ALMEIDA, 2012).

2.3.3.4. Poeira e acúmulo de sujeira sobre os módulos

Uma medida simples e que ajuda a evitar perdas na geração é a limpeza dos módulos fotovoltaicos. Assim como o sombreamento parcial, causado por fatores diversos, o acúmulo de poeira também causa perda na eficiência e pode ser prejudicial ao rendimento do gerador. Este acúmulo ocorre com mais frequência próximo aos grandes centros urbanos e à beira de estradas.

2.3.3.5. Eficiência dos inversores

Inversores com baixa eficiência são responsáveis por grande parte de perdas de um sistema fotovoltaico. Além disso, mesmo inversores eficientes apresentam baixo rendimento quando operam com frações pequenas da potência nominal. Inversores modernos normalmente possuem perdas menores, pois apresentam eficiência elevada para uma grande faixa de operação (ALMEIDA, 2012).

2.3.4. Índices de mérito na análise do gerador FV

Para que se possa analisar o desempenho anual do gerador fotovoltaico, é importante analisar os índices de mérito da instalação.

Segundo Benedito (2009), três destes parâmetros de desempenho podem ser usados para definir a eficiência global de um sistema fotovoltaico conectado à rede, no que diz respeito ao aproveitamento da radiação solar, produção de energia e efeitos das perdas do sistema. Estes parâmetros são respectivamente: fator de capacidade (C_F), produtividade anual (Y_F ou *Final Yield*) e desempenho global (PR ou *Performance Ratio*).

A análise destes índices de mérito permite a comparação do desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica operando com diferentes

configurações e tecnologias e em diferentes localidades. Deste modo, é possível avaliar se um sistema fotovoltaico opera de forma otimizada, ou se pode ser reconfigurado de modo a maximizar sua eficiência (BENEDITO, 2009).

2.3.4.1. Fator de Capacidade de um SFCR

Este índice representa a razão entre a energia real entregue pelo sistema e a energia que seria entregue caso se operasse na potência nominal de forma contínua, 24 horas por dia durante o ano inteiro. Assim, o fator de capacidade geralmente é apresentado em percentual e é muito utilizado para comparar a capacidade de geração de diferentes tipos de fontes de energia (BENEDITO, 2009).

$$C_F = \frac{\int_0^T P(t)dt}{\int_0^T P_N dt} \quad (1)$$

Onde:

- $P(t)$ representa a potência entregue pelo sistema no instante t , em kW;
- P_N representa a potência nominal do sistema, em kW;
- T representa o período de integração (geralmente um ano, 8.760 horas).

Esta equação pode ser simplificada da seguinte forma:

$$C_F = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência FV} * 24 * \text{n}^\circ \text{ dias}} \quad (2)$$

No caso dos SFCR brasileiros, o C_F normalmente está entre 13% e 18%, variando de acordo com a disponibilidade do recurso solar e do tipo de tecnologia e de dimensionamento adotados (BENEDITO, 2009).

2.3.4.2. Produtividade anual de um SFCR

O índice de Produtividade Anual (Y_F ou *Final Yield*) de um SFCR é encontrado através da relação entre a energia gerada pela potência instalada do sistema fotovoltaico. Ele representa qual a produção anual, em kWh para cada kWp instalado. Este parâmetro também indica o número de horas que o sistema deveria

operar, em carga nominal, para prover a energia entregue no período de um ano (BENEDITO, 2009).

$$Y_F = \frac{\int_0^T P(t)dt}{P_N} \quad (3)$$

Onde:

- $P(t)$ representa a potência entregue pelo sistema no instante t , em kW;
- P_N representa a potência nominal do sistema, em kWp;
- T representa o período de integração (8.760 horas).

Simplificando a equação obtém-se:

$$Y_F = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência FV}} \quad (4)$$

O Y_F é calculado dividindo-se o total de energia gerada, registrada através de um medidor, em kWh, pela potência CC equivalente a soma das potências de cada módulo fotovoltaico instalado no painel. Como esta potência é definida nas condições padrões de ensaio, onde se tem a incidência de 1000 W/m² de irradiância e o controle de temperatura das células em 25°C, a equação de Y_F oferece a vantagem de relacionar a potência CA entregue ao sistema com uma condição padrão, permitindo a comparação de outros sistemas, com relação à eficiência de conversão CC para CA ou de diferentes configurações e ambientes de montagem, onde haverá variação na temperatura dos módulos fotovoltaicos (MARION, et al., 2005).

2.3.4.3. Desempenho Global

O índice de Desempenho Global (PR ou *Performance Ratio*) é muito útil, pois ele quantifica as perdas globais ocorridas no sistema devido à ineficiência do inversor, às perdas na fiação, incompatibilidades na conversão CC para CA, aos componentes de proteção, temperatura dos módulos, instalação incorreta do painel, sujeira e eventuais desligamentos. Este índice de mérito representa a real capacidade do sistema em converter a energia solar disponível no plano dos painéis em eletricidade, pois é a razão entre a produtividade entregue pelo sistema e

produtividade que esteve disponível no plano considerado (MARION, et al., 2005).

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (5)$$

Onde Y_R representa a produtividade de referência do sistema em função da radiação solar incidente, que por sua vez dependerá da localização e orientação do painel e da variação do clima no local.

$$Y_R = \frac{H_t}{G_{ref}} \quad (6)$$

Onde:

- H_t representa a irradiação no plano do arranjo, em kWh/m² no período considerado;
- G_{ref} representa a irradiância de referência na condição padrão de testes, sendo igual a 1000 W/m².

Por si só, o desempenho global não representa a quantidade de energia produzida, porque um sistema fotovoltaico com um desempenho global baixo em um local com abundância de recurso solar pode produzir mais energia do que um sistema com um alto desempenho global em um local com pouco recurso solar. No entanto, para um determinado sistema, se uma mudança nos componentes ou no projeto eleva o desempenho global, ocorre também um aumento na produtividade final (ALMEIDA, 2012).

2.4. REQUISITOS DE CONEXÃO PARA O SFCR

2.4.1. PRODIST: MÓDULO 3 – ACESSO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Os Procedimentos de Distribuição – PRODIST – são documentos elaborados pela ANEEL e normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica e contém 9 módulos (ANEEL, 2012a).

Estabelecer as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, ao sistema de distribuição, não abrangendo as Demais Instalações de Transmissão –

DIT, e definir os critérios técnicos e operacionais, os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos acessantes bem como aos existentes (ANEEL, 2012a).

2.4.2. DESPACHO N° 720, DE 25 DE MARÇO DE 2014

Na data de 25 de Março de 2014, a ANEEL publicou um despacho que retira a obrigatoriedade do uso do Dispositivo de Seccionamento Visível (DSV) em sistemas de microgeração distribuída. Após a divulgação desta nota, houve uma mudança no texto do módulo 3 do PRODIST.

Pode-se entender esta publicação como um incentivo a mais para a microgeração, até 100 kW, pois é um gasto a menos para quem decidir instalar equipamentos de energia solar.

2.4.3. NTC 905100

A Norma Técnica da COPEL 905100 – Manual de acesso de geração distribuída ao sistema da COPEL engloba aplicações cuja potência instalada é maior que 1 MW e menor que 30 MW para conexões em Baixa Tensão – BT (220/127 V), Média Tensão – MT (13,8 e 34,5 kV) e Alta Tensão – AT (69 e 138 kV).

2.4.4. NTC 905200

A Norma Técnica da COPEL 905200 – Acesso de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema COPEL tem como objetivo fornecer os requisitos para acesso de geradores de energia elétrica conectados através de unidades consumidoras optantes pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica (micro e minigeradores), instituído pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (COPEL, 2014c). Esta norma aplica-se ao acesso de microgeração e minigeração distribuída ao sistema de distribuição da COPEL que acessem o sistema elétrico através de unidades consumidoras e que façam a adesão ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica, com potência instalada de geração até 1 MW.

2.4.4.1. REQUISITOS PARA CONEXÃO

O inversor utilizado na instalação será conferido no momento da vistoria, devendo obedecer exatamente às características informadas na etapa de Solicitação de Acesso, sob pena de recusa do equipamento substituto. Neste caso, nova data de vistoria deverá ser solicitada, após a regularização, para a conexão da central geradora. O prazo para realização de nova vistoria é de 7 dias. Em nenhuma hipótese a geração poderá operar ilhada alimentando cargas da rede da concessionária, e para isso devem ser tomadas todas as medidas técnicas necessárias para restringir esta possibilidade. No entanto, o gerador poderá operar de forma isolada somente se for alimentar as cargas de sua unidade consumidora. A conexão deve ser realizada em corrente alternada com frequência de 60 Hz. O acessante deverá prever o controle de reativos dos geradores síncronos. Os sistemas com geradores assíncronos e conversores CC/CA deverão ter fator de potência mínimo de 0,92 no ponto de conexão (COPEL, 2014c).

2.4.4.1.1. DEFINIÇÃO DOS TIPOS DE CONEXÃO

I. Acessantes de geração até 100 kW

A conexão poderá ser feita diretamente em BT, porém, dependendo das circunstâncias, através de transformador particular.

II. Acessantes de geração de 101 kW até 300 kW

A conexão deverá ser trifásica por meio de relés de proteção secundários e transformador exclusivo do acessante. Para esta faixa de potência é admitido o uso de proteção na BT.

III. Acessantes de geração de 301 kW até 500 kW

A conexão deverá ser trifásica por meio de disjuntor, relés de proteção secundários e transformador exclusivo do acessante na própria unidade consumidora. Os equipamentos de proteção e operação devem ser automatizados,

disponibilizando a supervisão e comandos no COD (Centro de Operação da Distribuição).

IV. Acessantes de geração de 501 kW até 1000 kW

A conexão deverá ser trifásica por meio de disjuntor, relés de proteção secundários e transformador exclusivo do acessante na própria unidade consumidora. Os equipamentos de proteção e operação devem ser automatizados, disponibilizando a supervisão e comandos no COD.

2.5. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Nos últimos anos, com a crescente demanda por energias renováveis, viu-se a necessidade de criação de uma legislação específica para esse tipo de geração de energia. Anteriormente a Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, a geração distribuída de pequeno porte era enquadrada em leis gerais que definiam os sistemas de geração de energia elétrica no Brasil (BENEDITO, 2009). A seguir serão apresentadas as atuais legislações vigentes no Brasil e no Paraná para a geração por sistema fotovoltaico conectado à rede.

2.5.1. RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL N° 482

A Resolução Normativa nº 482 da ANEEL de 17 de abril de 2012, procura estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e define o sistema de compensação de energia elétrica que será apresentado no item 2.6.3. deste trabalho. A REN 482/2012 foi definida através das considerações obtidas na Consulta Pública nº15/2010 e na Audiência Pública nº 42/2011.

Assim ficam definidas como, microgeração distribuída as geradoras com potência instalada menor ou igual a 100 kW; e minigeração distribuída as geradoras com potência instalada superior a 100 kW e menor igual a 1 MW, ambas para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição.

2.5.2. RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL N°517

Proposta em 11 de dezembro de 2012 altera a Resolução Normativa 482/2012 na definição, no contrato e no faturamento do sistema de compensação. E também altera o limite de potência do sistema de compensação para as unidades consumidoras do grupo A e considera que os custos de reforços no sistema de distribuição para a conexão de micro e minigeração são arcados pela distribuidora.

2.6. ANÁLISE ECONÔMICA

Os incentivos à geração distribuída aumentam à medida que as melhorias e potenciais benefícios de seu uso são demonstrados. Entre os benefícios, destacam-se: o baixo impacto ambiental, a redução do carregamento das redes, a redução de perdas em transmissão. Como o interesse de implantação do SFCR é do consumidor, cabe a ele calcular e analisar a relação custo benefício para a instalação do sistema. Existem vários pontos a serem analisados antes da instalação do SFCR, principalmente o porte da unidade consumidora e da central geradora, localização do sistema, a tarifa a qual a unidade consumidora está submetida e condições de pagamento do sistema. (ANEEL, 2014).

Serão analisadas as principais tarifas, tributos e custos que incidem em um SFCR a ser implantado em uma residência situada no estado do Paraná submetida a atendimento da COPEL.

2.6.1. TARIFA RESIDENCIAL

A tarifa residencial se enquadra no grupo B1 de atendimento da COPEL, ao qual pertencem as unidades consumidoras com tensão inferior a 2,3 kV, neste grupo só é faturado o consumo de energia elétrica. Conforme a Resolução Homologatória da ANEEL n° 1.763 de 24 de junho de 2014, a tarifa aplicada às unidades consumidoras residências atendidas pela COPEL é:

CONVENCIONAL	Resolução ANEEL Nº 1.763, de 22 de julho de 2014	
Tarifa em R\$/kWh	Resolução ANEEL	com Impostos: ICMS e PIS/COFINS
B1 - Residencial	0,32637	0,49078
Vigência em 24/06/2014		

Figura 17 - Tarifa Convencional B1- Residencial
Fonte: COPEL, 2014b.

2.6.2. TRIBUTOS

No Brasil os tributos estão embutidos no preço dos bens e serviços, e são cobrados de forma compulsória, para assegurar os recursos para que o Poder Público desenvolva suas atividades. Como visto anteriormente, a ANEEL determina o preço das tarifas e com esses valores as distribuidoras adicionam os tributos, recolhendo-os e repassando aos cofres públicos (BEHENCK, 2011).

2.6.2.1. PIS/COFINS

Conforme as Leis nº 10.637/2002 e nº 10.833/2003, o PIS (Programa de Integração Social) e o COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social), são tributos federais e obedecem ao regime de tributação não cumulativo e são calculados mensalmente em função dos créditos adquiridos nas etapas anteriores da cadeia produtiva (ANEEL, 2014). Estes tributos são mostrados na conta de energia da COPEL pelo valor final em reais cobrado em cima do consumo de energia conforme a resolução ANEEL 93/2005.

2.6.2.2. ICMS

O ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços) é o imposto estadual pago sobre produtos e prestação de serviços, este imposto varia de estado

para estado. No estado do Paraná ele é de 29% sobre a energia consumida, determinado pela Lei nº 16.370 de 29 de dezembro de 2009.

2.6.2.3. COSIP

Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública amparada no artigo 149-A da Constituição Federal é o imposto municipal pago pelos consumidores para cobrir os gastos com ampliação, operação, manutenção, eficientização e o consumo da energia elétrica da iluminação pública, o qual pode ser reajustado anualmente, ou de acordo com a necessidade da COPEL (COPEL, 2014b).



COPEL
Copel Distribuição S.A.
José Izidoro Szazetto, 159 bl.C - Mossungüê - Curitiba PR - CEP 81200-240
CNPJ: 04.368.898/0001-06 IE 90.233.073 99 IM 423.992-4



PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO

www.copel.com
0800 51 00 116

Mês de referência
Abril/2014

Nº de Identificação

Vencimento
15/05/2014

VALOR A PAGAR
R\$ 84,10

Responsavel pela manutencao da Iluminacao Publica: Municipio 156

Informações Técnicas				Nº Medidor: - Bifasico					
Reside/Residencial		Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Constante de Multiplicação	Total Faturado	Consumo Médio Diário	Data de Apresentação	Próxima Leitura Prevista
		24/03/2014 8461	23/04/2014 8657	30 dias 196 kWh	1	196 kWh	6,53 kWh	23/04/2014	22/05/2014

Histórico de Consumo e Pagamento				Valores Faturados			
Mês	kWh	Dt.Pgto.	Valor	NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELETRICA Nº 003.439.632- SÉRIE B			
03/2014	230	28/04/2014	101,58	Emitida em 23/04/2014			
02/2014	196	19/03/2014	84,34				
01/2014	109	20/02/2014	47,34				
12/2013	218	17/01/2014	95,37				
11/2013	200	20/12/2013	84,00				
10/2013	214	02/12/2013	96,70				
09/2013	229	15/10/2013	102,75				
08/2013	183	26/09/2013	77,25				
07/2013	229	26/09/2013	102,48				
06/2013	187	21/08/2013	75,29				
05/2013	196	15/07/2013	70,61				
04/2013	178	14/06/2013	72,69				

Indicadores de Qualidade			
Conjunto: BATEL Mês Ref.: 02/2014			
	DIC	FIC	DMIC
Realizado:	2,03	2,00	1,50
Limite Mensal:	4,47	2,98	2,43
Limite Trimestral:	8,95	5,97	-
Limite Anual:	17,91	11,95	-
Tensão Contratada: 127/220 volts Limite Adequado de Tensão: 116 a 133/201 a 231 volts			
O não cumprimento dos indicadores DIC, FIC, DMIC e DICRI definidos pela ANEEL resulta em compensação financeira ao consumidor pela concessionária no faturamento. É direito do consumidor solicitar a apuração destes indicadores a qualquer tempo.			

ICMS		
Base de Cálculo do ICMS	Valor ICMS	Valor Total da Nota Fiscal
77,66	22,52	84,10
Composição dos Valores		Reservado ao Fisco
Distribuição	16,89	CA09.4779.9D68.D885.D171.3AFA.701B.0A17
Enc. Setoriais	5,55	
Energia	27,42	
Transmissão	1,59	
Tributos	26,01	
Total	77,66	

INCLUSO NA FATURA PIS R\$0,62 E COFINS R\$2,87 CONFORME RES. ANEEL 130/2005. **PIS/COFINS**

DEBITOS: 03/2014 R\$ 101,58

A PARTIR DE 2015 VIGORARÁ O SISTEMA DE BANDEIRAS TARIFARIAS. A BANDEIRA VERDE NÃO IMPLICARÁ COBRANÇA ADICIONAL. AS BANDEIRAS AMARELA OU VERMELHA, QUANDO ACONDADAS, IMPLICARÃO TARIFAS DE MAIOR VALOR, DEVIDO AO MAIOR CUSTO DE GERAÇÃO.

NO MÊS DE ABRIL VIGORARÁ A BANDEIRA VERMELHA, A QUAL IMPLICARÁ R\$0,03/KWH DE ACRESCIMO AO VALOR DA TARIFA, LÍQUIDO DE TRIBUTOS. MAIS INFORMACÕES EM WWW.ANEEL.GOV.BR

Figura 18 - Fatura de energia elétrica
Fonte: Adaptada de fatura da COPEL.

2.6.3. SISTEMA DE COMPENSAÇÃO

O Sistema de Compensação é definido na REN 482/2012 como um arranjo onde o excedente de energia gerado pelas unidades consumidoras com microgeração ou minigeração distribuída é injetado na rede da distribuidora gerando assim créditos em energia (kWh) na próxima fatura. Este crédito pode ser compensado na mesma unidade consumidora ou em outra unidade com a mesma titularidade da unidade consumidora geradora, por um prazo de até 36 meses. Caso a unidade geradora injete mais energia na rede do que consumir, será cobrado no mínimo o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, e a demanda contratada para o consumidor do grupo A (ANEEL, 2014).

Nas unidades que possuem postos tarifários (ponta e fora de ponta) e que a energia injetada em um posto tarifário seja maior que a consumida, este excedente será utilizado em outro posto tarifário sendo aplicado um fator de ajuste. Assim, o Sistema de Compensação segue uma ordem de compensação para o excedente injetado, primeiramente o excedente será compensado no mesmo posto tarifário, caso ainda haja excedente, ele será compensado em outro posto tarifário da mesma unidade, e se após isso restar excedente a ser compensado, ele pode ser utilizado em outra unidade consumidora de mesmo titular (ANEEL, 2014).

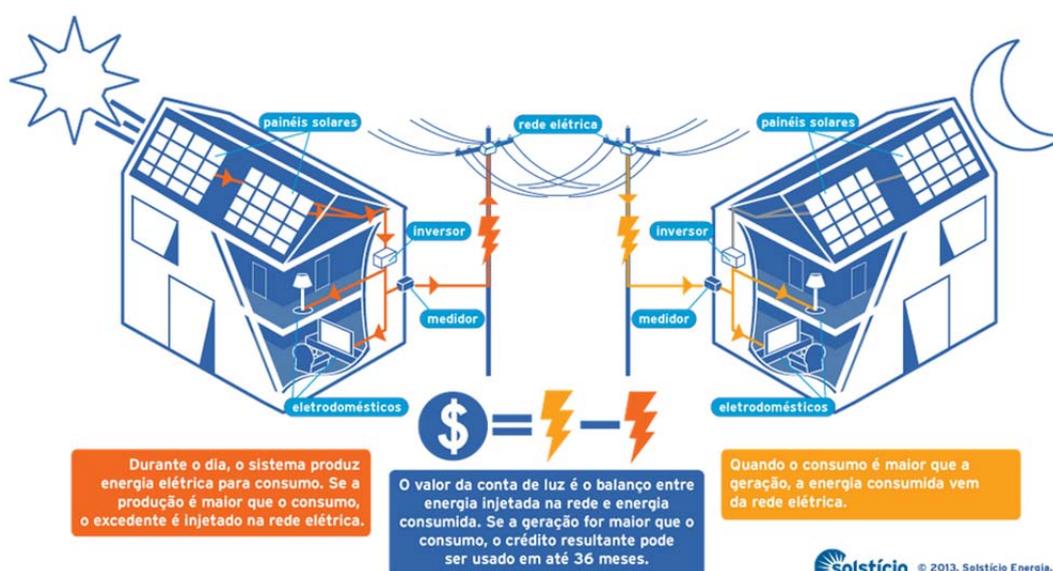


Figura 19 - Sistema de compensação de energia
Fonte: Solstício Energia, 2013.

3. ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR

3.1. DADOS E ÍNDICES DO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR

Um exemplo de sistema fotovoltaico descentralizado é o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Inaugurado em 2011, mais precisamente no mês de Dezembro, o Escritório Verde da UTFPR, é mais um exemplo de edificação sustentável desenvolvida no Brasil.

Um dos principais objetivos do EV é fazer proveito da máxima eficiência energética que a edificação possa oferecer, sendo assim, faz-se uso da iluminação natural e também de lâmpadas de LEDs que comparadas com as lâmpadas convencionais, possui um excelente desempenho.

Partindo desses princípios de eficiência energética, foi introduzido um sistema de geração fotovoltaica, como principal fonte geradora de energia elétrica para o Escritório Verde.

O sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do EV funciona da seguinte maneira: havendo incidência solar sobre o painel fotovoltaico, há geração de energia elétrica, e esta é disponibilizada diretamente na rede elétrica da edificação (URBANETZ et al., 2014). Sendo a energia gerada superior à consumida, ela é enviada à rede elétrica da concessionária. Vale destacar que nos momentos de baixa ou nenhuma incidência solar, a concessionária é quem supre o consumidor, como se fosse um consumidor normal, isto é, como se não houvesse um sistema fotovoltaico.



Figura 20 - Fachada do Escritório Verde da UTFPR

Fonte: URBANETZ et al., 2014.

O sistema fotovoltaico da UTFPR entrou em operação no dia 14 de dezembro de 2011 e até o final do ano de 2014 gerou aproximadamente 7,2 MWh, valor que representa em média 200 kWh/mês (URBANETZ et al., 2014). O valor é superior ao consumido no escritório verde, tornando-a uma edificação de energia positiva.

3.2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA (SFCR) DO EV DA UTFPR

O Sistema Fotovoltaico do Escritório Verde é composto por 10 módulos fotovoltaicos de silício policristalino ligados em série, possuindo uma potência nominal instalada de 2,1 kWp (URBANETZ et al., 2014). Os módulos fotovoltaicos possuem a função de converter a energia radiante do sol em energia elétrica. Vale destacar que os módulos fotovoltaicos de silício policristalino possui um custo menor do que outras tecnologias, como por exemplo, o módulo de silício monocristalino (ALVARENGA, 2014).

Os módulos cobrem uma área de aproximadamente 15 m² na cobertura do prédio do Escritório verde.

Por fim, o Sistema Fotovoltaico do EV também é composto por um inversor monofásico de 220 V de 2 kW de potência nominal (URBANETZ et al., 2014). Os inversores são equipamentos que convertem corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), e também realizam a interface de acoplamento da fonte geradora com a rede elétrica (DUGAN et al., 2004).



Figura 21 - Módulo Fotovoltaico e Inversor Monofásico do Escritório Verde
Fonte: URBANETZ et al., 2014.

Tabela 3 - Características do SFCR do EV da UTFPR

Potência Máxima	210W
Tensão de Máxima Potência	26,6V
Corrente de Máxima Potência	7,90A
Tensão de Circuito Aberto	33,2V
Corrente de Curto-circuito	8,58A
Tensão Máxima do Sistema	600V
Coefficiente de Temperatura da Voc	-0,120V/°C
Coefficiente de Temperatura da Isc	5,15x10 ⁻³ A/°C
Número de Células por Módulo	54
Comprimento X Largura X Espessura	1500mmx990mmx46mm
Peso	18kg
Temperatura de Operação	-40°C até 90°C

Fonte: FUSANO, 2013.

3.3. DESEMPENHO DO SFCR DO EV DA UTFPR

3.3.1. ENERGIA GERADA PELO SFCR DO EV DA UTFPR

A geração de energia elétrica é proporcional a irradiação incidente no painel FV, onde nos meses de verão (maior incidência solar) há maior geração de energia elétrica e nos meses de inverno, (menor incidência solar) há menor geração. (URBANETZ et al., 2014). A figura 22 mostra uma comparação da energia gerada nos anos de 2012, 2013 e 2014.

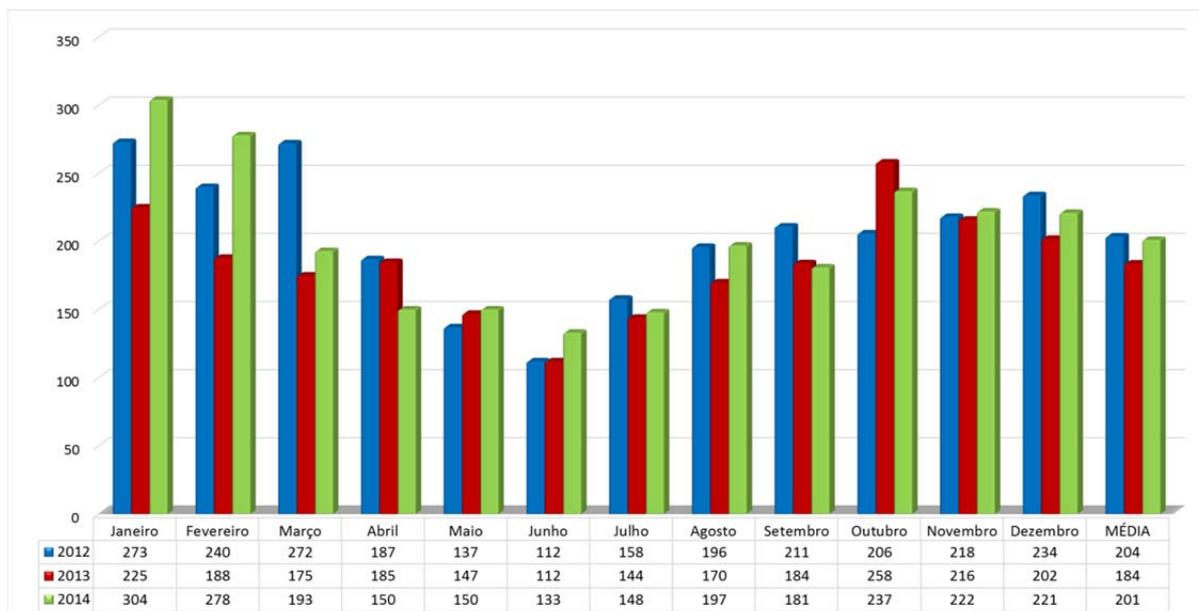


Figura 22 - Energia Gerada pelo SFCR do EV da UTFPR em kWh

Fonte: Adaptado de URBANETZ et al., 2014.

3.3.2. IRRADIAÇÃO INCIDENTE NO PAINEL FV DO SFCR DO EV DA UTFPR

A base de cálculo de irradiação incidente no painel fotovoltaico do SFCR do EV da UTFPR foi obtida no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) através da estação A807, onde existe um piranômetro no plano horizontal. Esta estação está localizada na região metropolitana de Curitiba (URBANETZ et al., 2014).

Tabela 4 - Irradiação diária média no plano horizontal fornecida pela estação A807 do INMET (kWh/m².dia).

Irradiação (kWh/m².dia)			
Mês	2012	2013	2014
Jan.	5,65	5,12	6,14
Fev	5,21	4,68	5,32
Mar	5,31	3,78	4,35
Abr	3,76	4,16	3,14
Mai	2,78	3,07	2,97
Jun	2,15	2,39	2,59
Jul	2,81	2,85	2,50
Ago	4,28	3,66	*4,69
Set	4,65	3,70	*4,77
Out	4,69	5,11	5,40
Nov	5,22	4,66	5,83
Dez	5,45	5,55	5,44
Dia médio do ano	4,33	4,06	4,43
Dia médio dos três anos			4,27

*Os meses de Agosto e Setembro de 2014 foram obtidos do banco de dados do SIMEPAR.
Fonte: Autoria própria, 2014.

Porém, para calcular a irradiação que efetivamente incide no painel FV do EV é preciso considerar esta irradiação no plano inclinado, para este cálculo foi utilizado o programa RADIASOL 2, que é disponibilizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Neste programa é possível inserir os dados obtidos no INMET e considerar a inclinação de 15°, desvio azimutal de 22° oeste e posição geográfica (-25,440418, -49,268610) do painel do SFCR do EV.

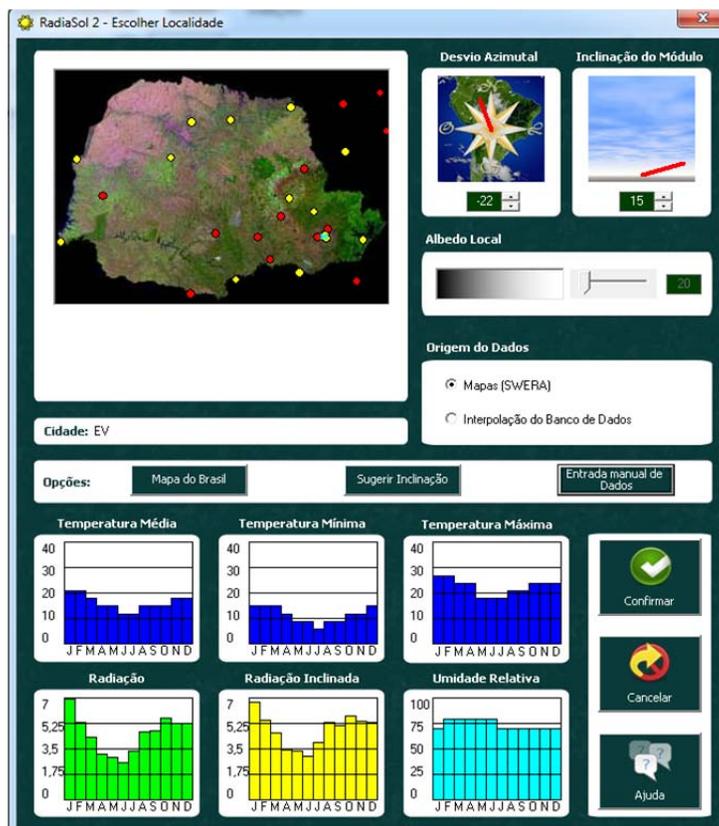


Figura 23 - Tela do RADIASOL para ajuste das coordenadas, desvio azimutal e inclinação dos painéis FV
Fonte: Autoria própria, 2014.

Entrada Manual de Dados - Alterando

Entre com os dados da localização do sistema:

Latitude: Longitude: Nome:
-25,44 49,28 EV

Mês	Radiação*	Umidade Relativa	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Janeiro	6,14	70	27,0	21,0	15,0
Fevereiro	5,32	80	27,0	21,0	15,0
Março	4,35	80	24,0	18,0	15,0
Abril	3,14	80	24,0	15,0	12,0
Mai	2,97	80	18,0	15,0	9,0
Junho	2,59	80	18,0	12,0	9,0
Julho	2,50	70	18,0	12,0	6,0
Agosto	4,69	70	21,0	15,0	9,0
Setembro	4,77	70	21,0	15,0	9,0
Outubro	5,40	70	24,0	15,0	12,0
Novembro	5,83	70	24,0	18,0	12,0
Dezembro	5,44	70	24,0	18,0	15,0

* Radiação em kWh/m²-dia

Figura 24 - Tela de entrada dos dados de irradiação
Fonte: Autoria própria, 2014.

Assim foram obtidos os seguintes dados de irradiação mensal no plano inclinado:

Tabela 5 - Irradiação diária média no plano do painel fotovoltaico do Escritório Verde fornecida pelo RADIASOL 2 (kWh/m².dia).

Irradiação (kWh/m².dia)			
Mês	2012	2013	2014
Jan.	4,45	5,02	5,99
Fev	4,65	4,74	5,40
Mar	5,41	4,00	4,61
Abr	4,48	4,64	3,45
Mai	3,67	3,56	3,42
Jun	2,99	2,81	3,07
Jul	3,91	3,36	2,92
Ago	5,41	4,13	5,29
Set	5,10	4,00	5,15
Out	4,52	5,27	5,54
Nov	4,37	4,63	5,73
Dez	4,31	5,43	5,28
Dia médio do ano	4,44	4,30	4,65
Dia médio dos três anos	4,46		

Fonte: Autoria própria, 2014.

3.3.3. ÍNDICES DE MÉRITO DO SFCR DO EV DA UTFPR

3.3.3.1. YIELD OU PRODUTIVIDADE

É a relação entre a energia gerada (kWh) e a potência FV instalada (kWp), normalmente calculado no período anual, *yield* anual, entretanto, também existe um *yield* mensal, calculado mês a mês. Os dados apresentados na tabela 6 são o *yield* mensal e anual para 2012, 2013 e 2014. A equação 7 representa o cálculo do Yield.

$$Y_F = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência FV}} \quad (7)$$

Tabela 6 - Yield Mensal e Anual dos Anos de 2012, 2013 e 2014 (kWh/kWp)

Mês	Yield 2012	Yield 2013	Yield 2014
Janeiro	130,0	107,1	144,8
Fevereiro	114,3	89,5	132,4
Março	129,5	83,3	91,9
Abril	89,0	88,1	71,4
Maio	65,2	70,0	71,4
Junho	53,3	53,3	63,3
Julho	75,2	68,6	70,5
Agosto	93,3	81,0	93,8
Setembro	100,5	87,6	86,2
Outubro	98,1	122,9	112,9
Novembro	103,8	102,9	105,7
Dezembro	111,4	96,2	105,2
TOTAL	1163,8	1050,5	1126,3
Yield Médio dos 3 ANOS		1113,5	

Fonte: Adaptado de URBANETZ et al., 2014.

3.3.3.2. PERFORMANCE RATIO OU TAXA DE DESEMPENHO

A taxa de desempenho ou *performance ratio* é expressa em porcentagem e calculada pela relação entre a produtividade medida em kWh/kWp e a quantidade de horas de sol a 1.000 W/m² incidentes no painel fotovoltaico, normalmente calculada anualmente, porém neste trabalho são apresentados os valores mensais. (URBANETZ et al., 2014). A equação 8 apresenta o cálculo do PR.

$$PR = \frac{Yield}{(Irradiação/1000)} (\%) \quad (8)$$

Tabela 7 - Performance Ratio mensal e anual do SFCR do EV da UTFPR

Mês	PR 2012	PR 2013	PR 2014
Janeiro	78,36%	71,14%	71,81%
Fevereiro	72,29%	65,16%	81,87%
Março	76,69%	69,62%	66,45%
Abril	71,18%	63,56%	68,81%
Mai	67,96%	65,91%	69,62%
Junho	70,55%	63,04%	68,54%
Julho	76,00%	68,43%	57,86%
Agosto	64,95%	65,34%	59,00%
Setembro	66,58%	73,02%	55,68%
Outubro	67,70%	77,71%	65,20%
Novembro	66,93%	73,26%	67,38%
Dezembro	69,82%	61,54%	68,12%
ANO	70,75%	68,14%	66,69%
PR Médio dos 3 ANOS		68,53%	

Fonte: Adaptado de URBANETZ et al., 2014.

3.3.3.3. FATOR DE CAPACIDADE

É sua capacidade real de gerar energia em função da energia que ele geraria se operasse em potência nominal durante 24 horas por dia, também expresso em percentagem (URBANETZ et al., 2014). A tabela 8 apresenta o Fator de Capacidade mensal e anual de 2012, 2013 e 2014. A equação 9 mostra como calcular o Fator de Capacidade.

$$C_F = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência } FV * 24 * n^{\circ} \text{ dias}} (\%) \quad (9)$$

Tabela 8 - Fator de Capacidade dos anos 2012, 2013 e 2014

Mês	FC 2012	FC 2013	FC 2014
Janeiro	17,5%	14,4%	19,5%
Fevereiro	16,4%	13,3%	19,7%
Março	17,4%	11,2%	12,4%
Abril	12,4%	12,2%	9,9%
Maio	8,8%	9,4%	9,6%
Junho	7,4%	7,4%	8,8%
Julho	10,1%	9,2%	9,5%
Agosto	12,5%	10,9%	12,6%
Setembro	14,0%	12,2%	12,0%
Outubro	13,2%	16,5%	15,2%
Novembro	14,4%	14,3%	14,7%
Dezembro	15,0%	12,9%	14,1%
TOTAL	13,3%	12,0%	13,2%
FC Médio dos 3 ANOS		12,8%	

Fonte: Adaptado de URBANETZ et al., 2014.

Após a análise dos índices de mérito do Escritório Verde da UTFPR, pode-se chegar à conclusão que o sistema está operando como esperado, já que os resultados dos últimos três anos são bem consistentes um com o outro. Outro ponto que merece destaque é em relação aos meses de verão, que é quando o SFCR possui um elevado fator de capacidade comparado aos outros meses. Assim, o SFCR do EV até o fim de 2014 já gerou 7,2 MWh, tornando-se um interessante sistema de geração de energia elétrica auxiliar para utilização em residências, devido ao panorama atual de crescimento das tarifas de energia elétrica.

4. ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SFCR EM CENÁRIOS RESIDENCIAIS

4.1. PANORAMA ATUAL BRASILEIRO DO CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2013), no relatório “Projeção da Demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2014 - 2023)”, o consumo residencial brasileiro de eletricidade irá crescer, variando 4,3% ao ano durante este período de 2013-2023, conforme tabela 9. Ainda segundo o mesmo relatório, ao final do ano de 2023, o consumo por consumidor residencial deverá estar situado em torno de 202 kWh/mês.

Tabela 9 - Consumo de eletricidade na rede em GWh

Ano	Residencial
2013	124.890
2014	129.983
2015	135.785
2016	142.078
2017	148.390
2018	154.879
2019	161.535
2020	168.368
2021	175.378
2022	182.568
2023	189.934
Varição (% ao ano)	
2013 – 2018	4,4
2018 – 2023	4,2
2013 – 2023	4,3

Fonte: Adaptado de EPE, 2013.

O crescimento do consumo residencial está diretamente ligado ao maior acesso da população ao uso de eletrodomésticos, como ar-condicionado. Segundo Maurício Tolmasquim, presidente da EPE, o aumento do consumo residencial é consequência das políticas de transferência de renda, adotada pelo Governo Federal (OLIVEIRA, 2014).

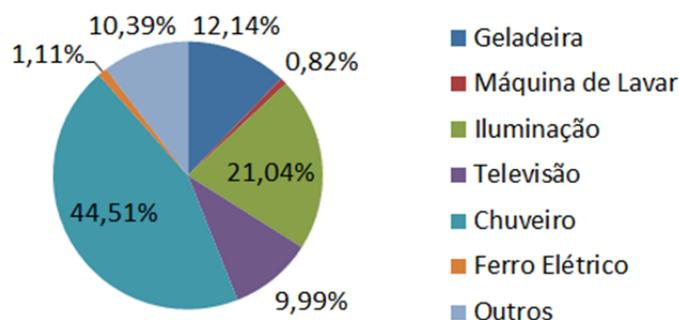


Figura 25 - Estimativa de consumo por eletrodomésticos em uma residência

Fonte: COPEL, 2015.

Até novembro de 2014, o consumo de energia elétrica residencial aumentou 5,9% em relação ao ano anterior, conforme figura 26 (EPE, 2014c). Muito desse aumento se deve a evolução do número de consumidores.

REGIÃO/CLASSE	EM NOVEMBRO			ATÉ NOVEMBRO			12 MESES		
	2014	2013	%	2014	2013	%	2014	2013	%
BRASIL	40.817	39.919	2,3	433.735	423.567	2,4	473.290	461.330	2,6
RESIDENCIAL	11.372	10.710	6,2	120.913	114.191	5,9	131.618	124.324	5,9

Figura 26 - Consumo residencial de energia elétrica

Fonte: EPE, 2014c.

4.2. CENÁRIO ATUAL BRASILEIRO EM RELAÇÃO AO PREÇO DA ENERGIA ELÉTRICA

Segundo estudo divulgado pelo Instituto Brasileiro de Economia e Finanças, 81% das concessionárias que foram analisadas, isto é, 21 entre 26, apresentaram nos últimos anos reajustes na tarifa de energia maior que os índices inflacionários (ONGARATTO, 2014).

Um dos principais motivos para a alta do custo da energia elétrica é a falta de chuvas, conseqüentemente houve uma menor geração de energia elétrica de origem hidráulica. Vale destacar neste cenário que a produção de energia por hidrelétricas, no mês de agosto de 2014 possuiu o menor volume produzido de energia elétrica desde 2005, segundo dados divulgados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (AMATO, 2014). Conseqüentemente, para suprir a demanda brasileira foi liberado o acionamento das usinas térmicas. Para efeito comparativo, o custo médio das

térmicas está calculado em R\$ 900/MWh, enquanto das pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) o custo médio é R\$ 180/MWh (ABRAPCH, 2014a).

Com esse cenário de falta de chuvas e aumento do despacho térmico, vários Estados brasileiros sofreram com um alto reajuste na tarifa de energia elétrica. No Estado do Paraná, a ANEEL definiu um reajuste médio de 35,05%, porém o reajuste passado aos consumidores foi 24,86%, sendo aproximadamente 10% do reajuste congelado pela COPEL, sendo repassado aos consumidores num futuro próximo (JUNGES, 2014).

Em 2012, a Medida Provisória 579, popularmente conhecida como MP do Setor elétrico, reduziu em 20% a tarifa de energia elétrica, fato que era para aliviar os consumidores, porém, seu efeito acabou sendo o oposto. Segundo o Tribunal de Contas da União, a MP 579 já gerou R\$ 61 bilhões de custos adicionais, que serão repassados ao consumidor, conseqüentemente novos reajustes estão programados a partir de 2015 (ABRAPCH, 2014b).

Com isso, existirá uma nova rodada de reajustes na tarifa de energia. Segundo relatório desenvolvido pela Safira Energia, o custo do despacho das usinas térmicas, começara a ser sentido em 2015, sendo o custo total diluído nos próximos anos (NOGUEIRA et al., 2014).

Assim, segundo a Safira Energia o reajuste será de 18,7% em 2015, novamente 18,7% em 2016 e nos anos de 2017 e 2018 o reajuste será de 14,1% em cada ano. Boa parte do reajuste de 18,7% em 2015 é resultado da ajuda do Governo Federal as distribuidoras de energia que já chegou ao custo de R\$ 24,2 bilhões em 2014. Assim, para fechar as contas dos próximos anos a Safira considerou um percentual de 7,5% em média no reajuste das tarifas de energia elétrica e também os custos das usinas térmicas que começaram a ser utilizadas mais intensamente em 2013, porém seu custo só será repassado ao consumidor a partir de 2015 (NOGUEIRA et al., 2014).

Outro ponto que irá influenciar o preço da tarifa de energia elétrica será o Sistema de Bandeiras Tarifárias adotado pelo Governo Federal. Este sistema está dividido em 3 bandeiras: verde, amarela e vermelha, as quais indicarão se a energia custará mais ou menos, em função das condições de geração de eletricidade (COPEL, 2015).

Assim, a ANEEL prevê a cobrança média de R\$ 2,50 para cada 100 quilowatt-hora (kWh) consumidos em períodos de bandeira amarela e R\$ 5,50 para cada 100 kWh em bandeira vermelha (RODRIGUES, 2015).



Figura 27 - Sistema de bandeiras tarifárias
Fonte: Adaptado RODRIGUES, 2015.

4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

Todos os cenários citados a seguir estão localizados na cidade de Curitiba – PR, possuindo fornecimento de energia em rede Bifásica através da concessionária responsável pela cidade de Curitiba, COPEL. Todas as residências estão classificadas no grupo B e classe 1. Também será adotado um valor fixo de consumo de energia elétrica que será de 205,82 kWh/mês, valor que representa a média mensal do consumo residencial de energia elétrica em Curitiba no ano de 2013 (VEMD, 2014).

Consumo (kWh) - 2013		Número de consumidores - 2013	
Município	CURITIBA	Município	CURITIBA
Grupo	B	Grupo	B
Classe	1	Classe	1
Janeiro	129.390.862	Janeiro	649.888
Fevereiro	128.065.018	Fevereiro	650.841
Março	129.092.973	Março	652.608
Abril	129.125.848	Abril	654.976
Maiο	136.345.997	Maiο	656.077
Junho	144.299.740	Junho	658.098
Julho	148.098.472	Julho	660.004
Agosto	151.596.562	Agosto	660.801
Setembro	145.731.409	Setembro	664.190
Outubro	142.959.617	Outubro	665.947
Novembro	135.282.116	Novembro	667.775
Dezembro	132.843.131	Dezembro	669.203
Total 2013	1.652.831.745		
Média Mensal (kWh)	137.735.978,75		

Média (kWh) em 2013	205,82
---------------------	---------------

Figura 28 - Consumo anual em Curitiba

Fonte: Adaptado de VEMD, 2014.

Serão criados três cenários residências, os quais possuirão um sistema fotovoltaico conectado à rede da COPEL. No cenário 1 espera-se uma amortização financeira mais rápida já que não será contabilizado os impostos e tributos incidentes da COPEL em relação ao preço da energia. Já no cenário 2 e 3, serão contabilizados todos os impostos e tributos incidentes em relação à geração de energia elétrica fotovoltaica, consequentemente esta análise estará mais real em relação ao cenário atual fotovoltaico brasileiro.

4.3.1. CENÁRIO 1

Nesta primeira análise, não serão considerados os tributos e impostos em relação à energia fotovoltaica, a fim de analisar o quão rápido e mais barato seria caso o Brasil não tivesse uma tributação tão alta em relação a essa fonte de energia. Vale ressaltar que nesta análise não importa a característica do consumo

residencial, uma vez que não incidem tributos sobre o consumo de energia gerada durante o dia e consumida durante a noite.

4.3.2. CENÁRIO 2

Neste cenário a simulação será de acordo com os impostos e tributos atuais do Brasil, em relação à fonte fotovoltaica e de acordo com as tarifas da concessionária atendente em Curitiba, no caso a COPEL. Por isso, será uma análise mais próxima da realidade em relação ao cenário 1.

O cenário 2 é composto por uma família que reside em Curitiba, a qual passa praticamente todo o período diurno fora de casa. O consumo de energia diurno é devido às cargas constantes, como geladeira e equipamentos em *stand by*. Já o período noturno irá concentrar a maior utilização de energia elétrica, pois é o momento em que a família está em casa e também quando se dá a utilização dos eletrodomésticos que mais consomem energia elétrica, como por exemplo, chuveiro e iluminação da casa. Assim foi considerado o consumo concomitante com a geração de 20% do consumo total mensal e 80% não concomitante com a geração.

4.3.3. CENÁRIO 3

Este cenário novamente será composto por uma família que reside em Curitiba, a qual passa praticamente meio período fora de casa e meio período está em casa consumindo energia. O consumo de energia diurno é devido às cargas constantes, como geladeira, equipamentos em *stand by* e alguns equipamentos como televisão, chuveiro e ferro de passar. Já no período noturno o consumo de energia será próximo ao consumo diurno. Assim foi considerado o consumo concomitante com a geração de 50% do consumo total mensal e 50% não concomitante com a geração.

Novamente a simulação será de acordo com os impostos e tributos atuais do Brasil, em relação à fonte fotovoltaica e de acordo com as tarifas da concessionária atendente em Curitiba, no caso a COPEL.

4.4. CARACTERIZAÇÃO DO SFCR PROJETADO

4.4.1. PREMISSAS

Nos cálculos para determinação da potência do SFCR considerou-se as instalações em condições ideais, inclinação ideal para Curitiba que é de 25° e orientação para o norte verdadeiro, desvio azimutal zero. Desconsiderou-se a inclinação da cobertura onde será instalado o SFCR e o sombreamento causado por obstáculos à luz.

4.4.2. IRRADIAÇÃO DIÁRIA MÉDIA NAS CONDIÇÕES IDEAIS

Para calcular a irradiação diária média nas condições ideais é preciso considerar a irradiação no plano horizontal, obtida do banco de dados da estação A807 do INMET, com as premissas estabelecidas no item 4.3.1. Para este cálculo foi utilizado o programa RADIASOL 2. Assim foram obtidos os seguintes dados de irradiação diária média nas condições ideais, a partir dos dados de irradiação obtidos no plano horizontal, para os anos de 2012, 2013 e 2014.

Tabela 10 - Irradiação diária média em um plano com as condições ideais para Curitiba (kWh/m².dia).

Irradiação (kWh/m².dia)			
Mês	2012	2013	2014
Jan.	5,27	4,79	5,77
Fev	5,18	4,70	5,26
Mar	5,70	4,07	4,69
Abr	4,41	4,86	3,63
Mai	3,47	3,88	3,72
Jun	2,76	3,08	3,39
Jul	3,65	3,67	3,17
Ago	5,23	4,44	5,73
Set	5,21	4,13	5,37
Out	4,85	5,28	5,55
Nov	5,03	4,48	5,55
Dez	5,08	5,10	5,06
Dia médio do ano	4,65	4,37	4,74
Dia médio dos três anos			4,59

Fonte: Autoria própria, 2014.

Na figura 29 é apresentado o gráfico da irradiação diária média dos últimos três anos:

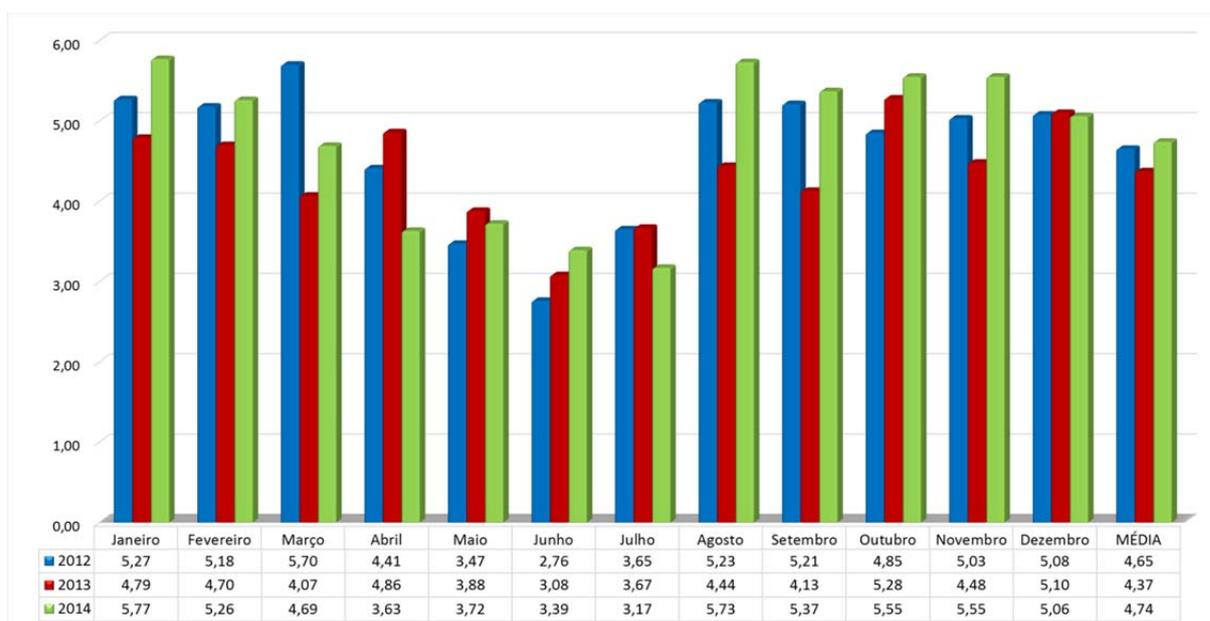


Figura 29 - Irradiação diária média nas condições ideais para Curitiba, nos anos de 2012, 2013 e 2014 em kWh/m².dia

Fonte: Autoria própria, 2014.

4.4.3. CÁLCULO DA POTÊNCIA DO SFCR

A potência do SFCR, P_{FV} (kWp), é calculada pela equação 10, e é apresentada em função da energia elétrica desejada E (kWh/m²/dia), da irradiância solar incidente nas condições de referência G (1 kW/m²), da irradiação diária média no plano inclinado H_{TOT} (kWh/m².dia) e da *performance ratio* PR (0,75) (URBANETZ, et al., 2014).

(10)

O consumo médio mensal das residências em Curitiba é de 205,82 kWh/mês (VEMD, 2014), porém, de acordo com a COPEL, como a taxa mínima de consumo para os cenários criados é de 50 kWh/mês, pode-se considerar necessário gerar 155,82 kWh/mês, admitindo-se um mês médio de trinta dias, a energia diária gerada deve ser de 5,194 kWh. Nas condições ideais a irradiação diária média no plano

inclinado pode ser obtida da tabela 10, assim pode-se calcular, através da equação 10, a potência do SFCR a ser instalada.

$$P_{FV} = \frac{5,194 * 1}{4,59 * 0,75} = 1,5087 \text{ kWp} \quad (11)$$

Assim o SFCR será de 1,50 kWp.

4.5. ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica para a viabilidade da instalação, e que poderá definir se o investidor irá ou não concretizar o investimento, deve ser feita levando-se em consideração os custos e impostos da instalação e funcionamento do sistema. Deve-se buscar uma análise precisa e coerente com a realidade.

4.5.1. CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Na análise econômica deve-se levar em consideração o custo do investimento para que possa ser calculado um retorno financeiro mais perto da realidade. Os custos de implantação estão relacionados à compra de materiais e à mão de obra especializada para a instalação e configuração do sistema. A vida útil do inversor, segundo EPE (2012), está estimada em 10 anos, e seu custo está estimado em 10% do custo total da instalação, equipamentos e mão de obra. Foi feito um orçamento dia 26 de novembro de 2014 junto à empresa Solar Energy, especializada em instalações de SFCRs, no qual pode-se ter o valor do investimento do sistema fotovoltaico de potência 1,68 kWp. O valor do sistema, que possui 7 módulos de 240 W_p cada e 1 inversor de 1,5 kW, é de R\$ 15.640,80.

4.5.2. INCIDÊNCIA DE IMPOSTOS NA FATURA DA COPEL

Os impostos estão presentes na fatura do consumo de energia da COPEL, e podemos calcular a tarifa da COPEL, com impostos, através equação 12:

$$\text{Tarifa com imposto} = \frac{\text{Tarifa sem imposto}}{100\% - (\text{ICMS} + \text{PIS} + \text{PASEP} + \text{COFINS})} \quad (12)$$

Os impostos são o ICMS, PIS, PASEP e COFINS. Utilizando a equação 12 e a tarifa Residencial pela resolução da ANEEL que define o valor de R\$ 0,32637/kWh, pode-se calcular o valor da tarifa COPEL com impostos, em R\$/kWh, já apresentado na figura 17.

4.5.3. SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO

O sistema de compensação adotado pela COPEL, cujas regras são definidas pela Resolução ANEEL nº 482/2012, estabelece como é feita a compensação entre a energia injetada no sistema de distribuição e a energia consumida na própria unidade consumidora. A figura 30 ilustra o modo de funcionamento deste sistema.

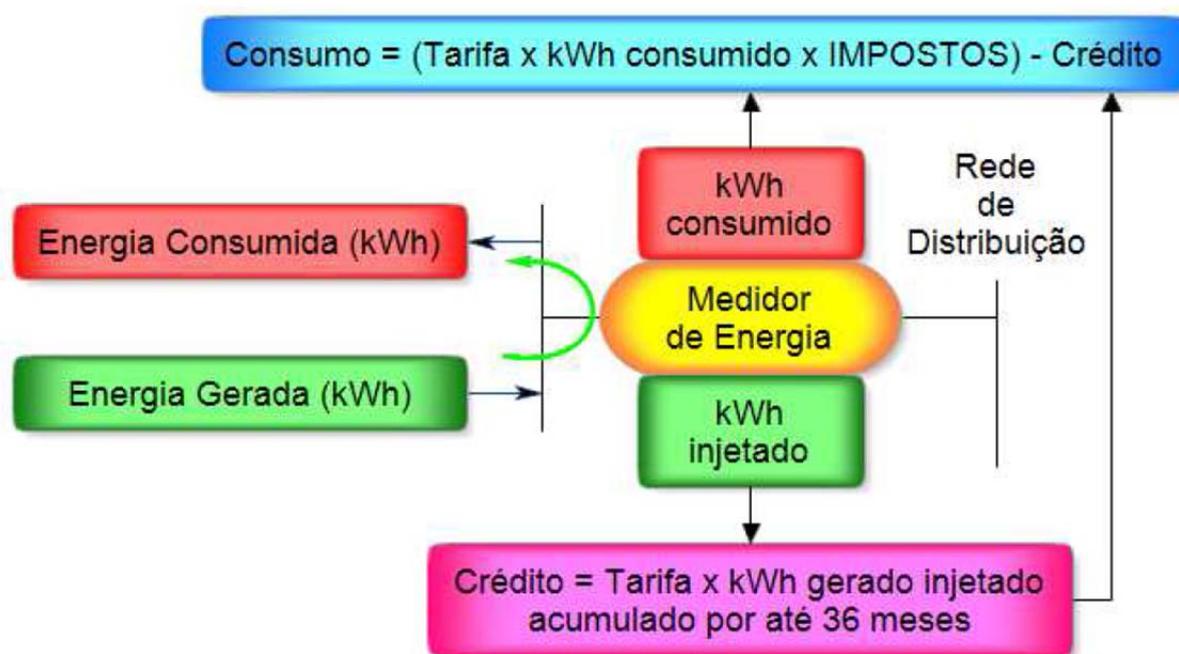


Figura 30 - Sistema de Compensação de Energia
Fonte: GARCETE, 2013.

4.5.4. CUSTO DA TAXA MÍNIMA

A COPEL determina uma taxa mínima em sua cobrança de energia elétrica, também chamado de custo de disponibilidade, de acordo com a característica da instalação elétrica. Sendo a instalação elétrica dos cenários analisados de característica bifásica, a taxa mínima a ser paga é no valor de 50 kWh. Na tabela 11 verifica-se o valor mínimo a ser pago. Neste valor não está embutido à taxa da iluminação pública, variável de acordo com o consumo.

Tabela 11 - Custo da Taxa Mínima para Sistema Bifásico

Taxa Mínima Sistema Bifásico (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Tarifa Mínima Sistema Bifásico (R\$)
50	0,49078	24,539

Fonte: Autoria própria.

4.5.5. REAJUSTES DA TARIFA COPEL

Com base nas notícias apresentadas no item 4.2 e com as dificuldades encontradas no cenário energético atual, será adotada a tarifa da COPEL com um reajuste de 18% ao ano, para análise do tempo de retorno do investimento no sistema fotovoltaico.

4.5.6. INFLAÇÃO

Para o cálculo do retorno sobre o investimento, também será levado em conta à inflação anual. Assim como a tabela de reajuste da tarifa da COPEL, a tabela 12 mostra a inflação num período de 2013 a 2014, e no final, a média dos valores.

Tabela 12 - Inflação Brasileira de 2013 e 2014

Ano	Inflação
2013	5,91%
2014	4,60%
2013 e 2014	5,26%

Fonte: Portal Brasil, 2014a.

4.5.7. POUPANÇA

Outro fator importante para o cálculo do investimento é índice anual do rendimento da poupança, o qual será usado para calcular quanto seria o valor do dinheiro do investimento no sistema fotovoltaico se fosse depositado na poupança. Para o cálculo, foi considerada a média do índice dos anos de 2013 e 2014, que pode ser visto na tabela 13.

Tabela 13 - Rendimento anual da poupança

Ano	Índice
2013	6,32%
2014	7,02%
2013 e 2014	6,67%

Fonte: Portal Brasil, 2014b.

4.5.8. CÁLCULO DO PAYBACK

Após ter o custo do orçamento, foi realizada a análise do tempo de retorno do investimento do sistema fotovoltaico. Para esta análise, foram adotadas mais algumas premissas, apresentadas na tabela 14.

Tabela 14 - Dados para análise

Premissas e Dados para análise	
Reajuste Anual COPEL	18,0%
Rendimento Anual da Poupança	6,67%
Reajuste Anual da Inflação	5,26%
Custo Anual de Manutenção do Sistema (porcentagem sobre valor do sistema FV)	1,0%
Vida útil do Inversor	10 anos

Fonte: Autoria própria, 2014.

Com estas premissas e dados, foi possível calcular o tempo de retorno sobre o investimento fotovoltaico.

4.5.8.1. CENÁRIO 1

Analisando a tabela 15, tem-se a apresentação dos dados para a análise do retorno financeiro. A coluna **A** representa o valor do sistema fotovoltaico aplicado na poupança, com juros de 6,67% ao ano. O custo do inversor é de 10% do valor inicial do investimento no sistema fotovoltaico e sua vida útil é de 10 anos, a coluna **B** mostra este custo corrigido pela inflação, que é de 5,26% ao ano. O custo de manutenção do sistema está estimado em 1,0% sobre o valor do sistema fotovoltaico, a coluna **C** mostra este custo de manutenção anual corrigido pela inflação. A coluna **D** mostra o valor acumulado do custo de manutenção anual somado ao valor do inversor, trocado a cada 10 anos. A coluna **E** mostra a economia anual que o sistema fotovoltaico proporciona na conta de energia elétrica, para as condições propostas. A coluna **F** mostra o valor acumulado da economia anual. Finalmente, na coluna **G** tem-se o valor da diferença entre a economia e os custos, valor que é utilizado para a análise do tempo de retorno.

Para determinar o tempo de retorno, o valor da coluna **G** deve ser maior que o valor da coluna **A**, logo como visto na tabela 15, após 17 anos, o valor do investimento do sistema foi amortizado.

Tabela 15 - Tempo de retorno para Cenário 1

	Investimento	Custo			Receita		Lucro
	A	B	C	D	E	F	G
	Valor do SFV aplicado em poupança	Custo do investidor	Custo Anual de Manutenção	Custo Acumulado	Economia Anual com o Sistema FV	Economia Acumulada	Receita-Custo
	R\$ 15.640,80	R\$ 1.564,08	R\$ 156,41	-	-	-	-
ANO 1	R\$ 16.684,04		R\$ 164,64	R\$ 164,64	R\$ 623,21	R\$ 623,21	R\$ 458,58
ANO 2	R\$ 17.796,87		R\$ 173,29	R\$ 337,93	R\$ 735,39	R\$ 1.358,60	R\$ 1.020,67
ANO 3	R\$ 18.983,92		R\$ 182,41	R\$ 520,34	R\$ 867,76	R\$ 2.226,36	R\$ 1.706,02
ANO 4	R\$ 20.250,15		R\$ 192,00	R\$ 712,35	R\$ 1.023,96	R\$ 3.250,32	R\$ 2.537,98
ANO 5	R\$ 21.600,83		R\$ 202,10	R\$ 914,45	R\$ 1.208,27	R\$ 4.458,59	R\$ 3.544,14
ANO 6	R\$ 23.041,61		R\$ 212,74	R\$ 1.127,18	R\$ 1.425,76	R\$ 5.884,35	R\$ 4.757,16
ANO 7	R\$ 24.578,48		R\$ 223,92	R\$ 1.351,11	R\$ 1.682,39	R\$ 7.566,74	R\$ 6.215,63
ANO 8	R\$ 26.217,87		R\$ 235,70	R\$ 1.586,81	R\$ 1.985,23	R\$ 9.551,97	R\$ 7.965,16
ANO 9	R\$ 27.966,60		R\$ 248,10	R\$ 1.834,91	R\$ 2.342,57	R\$ 11.894,54	R\$ 10.059,62
ANO 10	R\$ 29.831,97	R\$ 2.611,52	R\$ 261,15	R\$ 4.707,58	R\$ 2.764,23	R\$ 14.658,76	R\$ 9.951,18
ANO 11	R\$ 31.821,76		R\$ 274,89	R\$ 4.982,47	R\$ 3.261,79	R\$ 17.920,55	R\$ 12.938,08
ANO 12	R\$ 33.944,27		R\$ 289,35	R\$ 5.271,82	R\$ 3.848,91	R\$ 21.769,46	R\$ 16.497,65
ANO 13	R\$ 36.208,36		R\$ 304,57	R\$ 5.576,38	R\$ 4.541,72	R\$ 26.311,18	R\$ 20.734,80
ANO 14	R\$ 38.623,45		R\$ 320,59	R\$ 5.896,97	R\$ 5.359,22	R\$ 31.670,40	R\$ 25.773,43
ANO 15	R\$ 41.199,64		R\$ 337,45	R\$ 6.234,42	R\$ 6.323,88	R\$ 37.994,29	R\$ 31.759,87
ANO 16	R\$ 43.947,65		R\$ 355,20	R\$ 6.589,62	R\$ 7.462,18	R\$ 45.456,47	R\$ 38.866,85
ANO 17	R\$ 46.878,96		R\$ 373,88	R\$ 6.963,50	R\$ 8.805,38	R\$ 54.261,85	R\$ 47.298,35
ANO 18	R\$ 50.005,79		R\$ 393,55	R\$ 7.357,05	R\$ 10.390,35	R\$ 64.652,20	R\$ 57.295,14

Fonte: Autoria própria, 2014.

4.5.8.2. CENÁRIO 2

A tabela 16 apresenta os cálculos para o cenário 2, a qual está apresentada da mesma maneira em que estão os dados da tabela 15, considerando o mesmo raciocínio do cenário 1. Analisando-se os dados, foi possível verificar que o valor do sistema foi amortizado após 22 anos.

Tabela 16 - Tempo de retorno para Cenário 2

	Investimento		Custo			Receita		Lucro
	A	B	C	D	E	F	G	
	Valor do SFV aplicado em poupança	Custo do investidor	Custo Anual de Manutenção	Custo Acumulado	Economia Anual com o Sistema FV	Economia Acumulada	Receita-Custo	
	R\$ 15.640,80	R\$ 1.564,08	R\$ 156,41	-	-	-	-	
ANO 1	R\$ 16.684,04		R\$ 164,64	R\$ 164,64	R\$ 377,28	R\$ 377,28	R\$ 212,64	
ANO 2	R\$ 17.796,87		R\$ 173,29	R\$ 337,93	R\$ 445,19	R\$ 822,46	R\$ 484,53	
ANO 3	R\$ 18.983,92		R\$ 182,41	R\$ 520,34	R\$ 525,32	R\$ 1.347,78	R\$ 827,44	
ANO 4	R\$ 20.250,15		R\$ 192,00	R\$ 712,35	R\$ 619,88	R\$ 1.967,66	R\$ 1.255,31	
ANO 5	R\$ 21.600,83		R\$ 202,10	R\$ 914,45	R\$ 731,45	R\$ 2.699,11	R\$ 1.784,66	
ANO 6	R\$ 23.041,61		R\$ 212,74	R\$ 1.127,18	R\$ 863,12	R\$ 3.562,23	R\$ 2.435,04	
ANO 7	R\$ 24.578,48		R\$ 223,92	R\$ 1.351,11	R\$ 1.018,48	R\$ 4.580,70	R\$ 3.229,59	
ANO 8	R\$ 26.217,87		R\$ 235,70	R\$ 1.586,81	R\$ 1.201,80	R\$ 5.782,50	R\$ 4.195,69	
ANO 9	R\$ 27.966,60		R\$ 248,10	R\$ 1.834,91	R\$ 1.418,13	R\$ 7.200,63	R\$ 5.365,72	
ANO 10	R\$ 29.831,97	R\$ 2.611,52	R\$ 261,15	R\$ 4.707,58	R\$ 1.673,39	R\$ 8.874,02	R\$ 4.166,44	
ANO 11	R\$ 31.821,76		R\$ 274,89	R\$ 4.982,47	R\$ 1.974,60	R\$ 10.848,62	R\$ 5.866,15	
ANO 12	R\$ 33.944,27		R\$ 289,35	R\$ 5.271,82	R\$ 2.330,03	R\$ 13.178,65	R\$ 7.906,83	
ANO 13	R\$ 36.208,36		R\$ 304,57	R\$ 5.576,38	R\$ 2.749,43	R\$ 15.928,08	R\$ 10.351,69	
ANO 14	R\$ 38.623,45		R\$ 320,59	R\$ 5.896,97	R\$ 3.244,33	R\$ 19.172,41	R\$ 13.275,44	
ANO 15	R\$ 41.199,64		R\$ 337,45	R\$ 6.234,42	R\$ 3.828,31	R\$ 23.000,72	R\$ 16.766,30	
ANO 16	R\$ 43.947,65		R\$ 355,20	R\$ 6.589,62	R\$ 4.517,40	R\$ 27.518,12	R\$ 20.928,50	
ANO 17	R\$ 46.878,96		R\$ 373,88	R\$ 6.963,50	R\$ 5.330,54	R\$ 32.848,66	R\$ 25.885,16	
ANO 18	R\$ 50.005,79		R\$ 393,55	R\$ 7.357,05	R\$ 6.290,03	R\$ 39.138,69	R\$ 31.781,64	
ANO 19	R\$ 53.341,17		R\$ 414,25	R\$ 7.771,30	R\$ 7.422,24	R\$ 46.560,93	R\$ 38.789,63	
ANO 20	R\$ 56.899,03	R\$ 4.360,40	R\$ 436,04	R\$ 12.567,74	R\$ 8.758,24	R\$ 55.319,18	R\$ 42.751,44	
ANO 21	R\$ 60.694,20		R\$ 458,98	R\$ 13.026,72	R\$ 10.334,73	R\$ 65.653,91	R\$ 52.627,19	
ANO 22	R\$ 64.742,50		R\$ 483,12	R\$ 13.509,84	R\$ 12.194,98	R\$ 77.848,89	R\$ 64.339,05	
ANO 23	R\$ 69.060,82		R\$ 508,53	R\$ 14.018,37	R\$ 14.390,08	R\$ 92.238,96	R\$ 78.220,59	

Fonte: Autoria própria, 2014.

4.5.8.3. CENÁRIO 3

A tabela 17 apresenta os cálculos para o cenário 3, a qual está apresentada da mesma maneira em que estão os dados das tabelas 15 e 16, considerando o mesmo raciocínio dos cenários 1 e 2. Analisando-se os dados, foi possível verificar que o valor do sistema foi amortizado após 20 anos.

Tabela 17 - Tempo de retorno para Cenário 3

	Investimento		Custo			Receita		Lucro
	A	B	C	D	E	F	G	
	Valor do SFV aplicado em poupança	Custo do investidor	Custo Anual de Manutenção	Custo Acumulado	Economia Anual com o Sistema FV	Economia Acumulada	Receita-Custo	
	R\$ 15.640,80	R\$ 1.564,08	R\$ 156,41	-	-	-	-	
ANO 1	R\$ 16.684,04		R\$ 164,64	R\$ 164,64	R\$ 469,50	R\$ 469,50	R\$ 304,87	
ANO 2	R\$ 17.796,87		R\$ 173,29	R\$ 337,93	R\$ 554,01	R\$ 1.023,51	R\$ 685,58	
ANO 3	R\$ 18.983,92		R\$ 182,41	R\$ 520,34	R\$ 653,73	R\$ 1.677,25	R\$ 1.156,91	
ANO 4	R\$ 20.250,15		R\$ 192,00	R\$ 712,35	R\$ 771,41	R\$ 2.448,66	R\$ 1.736,31	
ANO 5	R\$ 21.600,83		R\$ 202,10	R\$ 914,45	R\$ 910,26	R\$ 3.358,91	R\$ 2.444,47	
ANO 6	R\$ 23.041,61		R\$ 212,74	R\$ 1.127,18	R\$ 1.074,11	R\$ 4.433,02	R\$ 3.305,84	
ANO 7	R\$ 24.578,48		R\$ 223,92	R\$ 1.351,11	R\$ 1.267,45	R\$ 5.700,47	R\$ 4.349,36	
ANO 8	R\$ 26.217,87		R\$ 235,70	R\$ 1.586,81	R\$ 1.495,59	R\$ 7.196,05	R\$ 5.609,24	
ANO 9	R\$ 27.966,60		R\$ 248,10	R\$ 1.834,91	R\$ 1.764,79	R\$ 8.960,84	R\$ 7.125,93	
ANO 10	R\$ 29.831,97	R\$ 2.611,52	R\$ 261,15	R\$ 4.707,58	R\$ 2.082,45	R\$ 11.043,30	R\$ 6.335,72	
ANO 11	R\$ 31.821,76		R\$ 274,89	R\$ 4.982,47	R\$ 2.457,30	R\$ 13.500,59	R\$ 8.518,12	
ANO 12	R\$ 33.944,27		R\$ 289,35	R\$ 5.271,82	R\$ 2.899,61	R\$ 16.400,20	R\$ 11.128,39	
ANO 13	R\$ 36.208,36		R\$ 304,57	R\$ 5.576,38	R\$ 3.421,54	R\$ 19.821,74	R\$ 14.245,36	
ANO 14	R\$ 38.623,45		R\$ 320,59	R\$ 5.896,97	R\$ 4.037,42	R\$ 23.859,16	R\$ 17.962,19	
ANO 15	R\$ 41.199,64		R\$ 337,45	R\$ 6.234,42	R\$ 4.764,15	R\$ 28.623,31	R\$ 22.388,89	
ANO 16	R\$ 43.947,65		R\$ 355,20	R\$ 6.589,62	R\$ 5.621,70	R\$ 34.245,00	R\$ 27.655,38	
ANO 17	R\$ 46.878,96		R\$ 373,88	R\$ 6.963,50	R\$ 6.633,60	R\$ 40.878,61	R\$ 33.915,10	
ANO 18	R\$ 50.005,79		R\$ 393,55	R\$ 7.357,05	R\$ 7.827,65	R\$ 48.706,26	R\$ 41.349,20	
ANO 19	R\$ 53.341,17		R\$ 414,25	R\$ 7.771,30	R\$ 9.236,63	R\$ 57.942,89	R\$ 50.171,58	
ANO 20	R\$ 56.899,03		R\$ 436,04	R\$ 12.567,74	R\$ 10.899,22	R\$ 68.842,11	R\$ 56.274,36	
ANO 21	R\$ 60.694,20		R\$ 458,98	R\$ 13.026,72	R\$ 12.861,08	R\$ 81.703,19	R\$ 68.676,47	

Fonte: Autoria própria, 2014.

5. CONCLUSÕES

No ano de 2014 o sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica do Escritório Verde operou de forma ininterrupta, gerando 2,414 MWh. Essa energia gerada é superior à energia necessária para atender as cargas existentes na edificação, tornando-a uma edificação de energia positiva.

Os índices de mérito: *Yield*, *Performance Ratio* e Fator de Capacidade estão adequados se comparados aos anos de 2012 e 2013. As médias dos três anos para o *Yield* foi de 1.113,5 kWh/kWp, para o *Performance Ratio* foi de 68,53% e para o Fator de Capacidade foi de 12,8%. Vale destacar que os índices de mérito terão maior consistência e relevância à medida que mais estudos de desempenho forem sendo gerados ao longo dos anos de operação do SFCR do EV da UTFPR. Assim será possível verificar se este sistema continua a operar de forma adequada.

Os SFCR aplicados à edificações são uma opção para produzir eletricidade, já que o cenário atual brasileiro passa por momentos de dificuldades de produção de energia elétrica. Assim a energia solar fotovoltaica mostra-se uma fonte complementar de geração de energia, através de alguns incentivos dados pelo Governo Brasileiro, como por exemplo o Sistema de Compensação de Energia, o qual foi definido após a instituição da Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, onde ficou estabelecido que o excedente de energia gerado pelas unidades consumidoras com microgeração ou minigeração distribuída é injetado na rede da distribuidora, gerando assim créditos em energia (kWh) na próxima fatura.

Criaram-se cenários residenciais, os quais possuíam um sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica e também definiu-se porcentagens do consumo concomitante com a geração e não concomitante da geração.

Com a análise dos dados, pode-se perceber que o sistema terá o retorno em 17 anos para cenário 1. Já para o cenário 2 o retorno será após 22 anos, enquanto que para o cenário 3 será 20 anos. Destaque-se o cenário ideal 1, o qual não possui impostos incidentes provenientes da concessionária, assim o retorno do capital investido para a instalação da planta foi de 17 anos.

Pode-se concluir que o longo tempo de retorno é influenciado pela baixa potência do sistema, que resulta num alto custo na relação R\$/Wp, sendo de R\$ 9,31/Wp para o sistema implantado nos cenários criados.

Portanto, mesmo com o custo de implantação elevado, do ponto de vista ambiental, o sistema fotovoltaico permite complementar a oferta de energia da matriz energética brasileira de forma limpa, segura e com uma fonte renovável.

Para que o tempo de retorno sobre o investimento do SFCR se dê de forma mais rápida, ainda é necessário que as várias imposições tarifárias e econômicas governamentais sejam reduzidas através de medidas de políticas fiscais e de financiamento. Assim, será possível aliar a micro e minigeração distribuída como uma forma de complementar a matriz elétrica brasileira.

REFERÊNCIAS

ABRAPCH – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FOMENTO ÀS PEQUENAS CENTRAIS HIDROELÉTRICAS. **Aumento no custo da energia nos últimos dez anos está acima da inflação.** Curitiba, 24 out. 2014a. Disponível em: <<http://abrapch.com.br/aumento-no-custo-da-energia-nos-ultimos-dez-anos-esta-acima-da-inflacao/>>. Acesso em: 17 dez. 2014.

_____. **Consumidor pagará dívida de R\$ 61 bilhões da MP do Setor Elétrico, afirma TCU.** Curitiba, 2 out. 2014b. Disponível em: <<http://abrapch.com.br/consumidor-pagara-divida-de-r-61-bilhoes-da-mp-do-setor-eletrico-afirma-tcu/>>. Acesso em: 17 dez. 2014.

Acesso em: 14 dez. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Micro e Minigeração Distribuída.** Sistema de Compensação de Energia Elétrica. ANEEL, 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2014.

_____. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição.** ANEEL, 2012a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo3_Revisao_5_Retifica%C3%A7%C3%A3o_1.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2015.

_____. **Resolução N°482, de 17 de abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. ANEEL, 2012b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2014.

_____. **Resolução N°517, de 11 de dezembro de 2012.** Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012, e o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. ANEEL, 2012c. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2014

_____. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil), 2008.

ALMEIDA, Marcelo P. **Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.** USP. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://lsf.iee.usp.br/lsf/pdf/mestrado/Mestrado_Marcelo_Pinho_Almeida.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2014.

ALVARENGA, Carlos A. **O módulo fotovoltaico para gerador solar de eletricidade.** Solenerg Engenharia, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/Modulo-Fotovoltaico-Solenerg.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2014.

AMATO, Fábio. Produção de energia elétrica por hidrelétricas é a menor desde 2005. **Portal G1,** Brasília, 08 set. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2014/09/producao-de-energia-por-hidreletricas-e-menor-desde-2005.html>>. Acesso em: 06 dez. 2014.

ÁVILA, Fabiano. **Capacidade fotovoltaica global aumentou 900% em cinco anos.** Disponível em: <<http://www.mercadoetico.com.br/arquivo/capacidade-fotovoltaica-global-aumentou-900-em-cinco-anos/>>. Acesso em 17 mai. 2014.

BEHENCK, Ivann S. **Estudo Comparativo da Viabilidade de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, Através de Software Homer.** 2011. 106f. Projeto (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003924.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2014.

BENEDITO, Ricardo S. **Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, No Brasil, Sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório.** São Paulo 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-12082010-142848/pt-br.php>>. Acesso em: 17 mai. 2014.

BITTENCOURT, Cezinando.; BASSACO, Rafael L. T. **Estudo do Desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede: Estudo de Caso - Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

CABRAL, Isabelle de S.; TORRES, Adriana C.; SENNA Pedro R. **Energia Solar – Análise comparativa entre Brasil e Alemanha.** In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2011, Salvador. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/X-009.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2014.

CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_afzLoop=898992113486000#%40%3F_afzLoop%3D898992113486000%26_adf.ctrl-state%3D12yvl7wgdy_34>. Acesso em: 28 dez. 2013.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **USF Mineirão.** Disponível em: <http://www.cemig.com.br/ptbr/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Documents/USF%20Mineir%C3%A3o%20-%20%C3%81lbum%20de%20fotografias.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2014.

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Energia Solar Fotovoltaica, Estágio Atual e Perspectivas**. In: CIER 2003 – CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENERGIA RENOVÁVEL, 2003, Recife. Disponível em: <http://www.agg.ufba.br/cier_solarfotovoltaica.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2014.

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Alterações Tarifárias**. 2014a. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F04afb43850ca33c503257488005939b7>>. Acesso em: 28 out. 2014.

_____. **Taxas e Tarifas**. 2014b. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fe3a5cb971ca23bf503257488005939ba>>. Acesso em: 28 out. 2014.

_____. **NORMAS TÉCNICAS COPEL NTC905200 – Acesso de Micro e Minigeração Distribuído ao Sistema da COPEL**. 2014c. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/ntc905200/\\$FILE/905200.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/ntc905200/$FILE/905200.pdf)>. Acesso em: 19 mai. 2014.

_____. **Entenda as bandeiras tarifárias que começam em Janeiro**. 2015. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Frural%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FC2F891926071E8F203257DC50046A10B>>. Acesso em: 16 jan. 2015.

DUGAN, Roger C.; MACGRANAGHAN, Mark F.; SANTOSO, Surya; BEATY, H. W. "**Electrical Power Systems Quality - Second Edition**". McGraw-Hill. 2004.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2015.

_____. **Energia Solar.** São Paulo, 2014d. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/aepe14.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2014.

_____. **Inserção da geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos.** Rio de Janeiro, 2014b. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20\(Revisada\).pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20(Revisada).pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2014.

_____. **Projeção da Demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2014 - 2023).** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20140203_1.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2014.

_____. **Resenha mensal do mercado de Energia Elétrica.** Rio de Janeiro, 2014c. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%20Novembro%202014.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

_____. **Síntese do Relatório Final do Balanço Energético Nacional 2014.** Rio de Janeiro, 2014a. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese2014.aspx>>. Acesso em: 03 dez. de 2014.

EPIA - ASSOCIAÇÃO EUROPÉIA DA INDÚSTRIA FOTOVOLTAICA. **Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018.** Disponível em: <http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/44_epia_gmo_report_ver_17_mr.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2014.

European Commission. Disponível em: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_DE.png>. Acesso em: 13 dez. 2014.

FUSANO, Renato H. **Análise dos índices de Mérito do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede do Escritório Verde da UTFPR**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

GARCETE, Esteban., A., V.; **Requisitos de Conexão para Geração Distribuída Fotovoltaica no Brasil e o Sistema de Compensação de Energia**. Monografia (Pós-Graduação em Eficiência Energética). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Greenpeace. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Belo-Monte-e-seu-rastro-de-caos-e-destruicao/>>. Acesso em: 17 mai. 2014.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria 004/2011 - Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (Módulo, controlador de carga, inversor e bateria)**. INMETRO. Brasília, p. 42. 2011.

JORDAN, Dirk C.; KURTZ, Sarah R. **Photovoltaic Degradation Rates — an Analytical Review. Progress in Photovoltaics: Research and Applications**. Published online in Wiley Online Library, 2011.

JUNGES, Cíntia. Copel aprova reajuste de 24% na tarifa e adia diferença para 2015. **Gazeta do Povo**, Curitiba, 04 jul. 2014. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/economia/conteudo.phtml?id=1481408&tit=Copel-aprova-reajuste-de-24-na-tarifa-e-adia-diferenca-para-2015>>. Acesso em: 17 dez. 2014.

Light. **Revista de eficiência energética da Light.** Disponível em: <<http://www.light.com.br/Repositorio/Eficiencia-Energetica/revista-eficiencia-energetica3.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2015.

MARION, B.; ADELSTEIN, J.; BOYLE, K. **Performance parameters for grid-connected PV systems.** Golden - Colorado: Photovoltaic Specialists Conference, IEEE, 2005.

Master Solar. Disponível em: <<http://www.mastersolar.com.br/site/?page=noticia&id=224>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

MEDEIROS, Carolina. Solar: 1GWp para começar. **Canal Energia**, 07 nov. 2014. Disponível em: <<http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/Materias/Retrospectiva.asp?id=103852&a=2014#>>. Acesso em: 14 dez. 2014.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim mensal de monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – Outubro 2014.** Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/Boletim_de_Monitoramento_do_Sistema_Eltrico_-_Outubro-2014.pdf>. Acesso em: 03 dez. de 2014.

_____. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de energia Elétrica – PROINFA.** Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>>. Acesso em: 14 dez. 2013.

NOGUEIRA, Danielle; BATISTA, Henrique G.; RODRIGUES, Lino. Conta de luz pode subir 18,7% em 2015. **O Globo**, 25 abril 2014. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/conta-de-luz-pode-subir-187-em-2015-12291292>>. Acesso em: 18 dez. 2014.

OLIVEIRA, Nielmar. EPE: Consumo de energia elétrica cresce 4,9 em dezembro de 2013. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro, 19 jan. 2014. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2014-01/epe-consumo-de-energia-eletrica-cresce-49-em-dezembro-de-2013>>. Acesso em: 14 dez. 2014.

ONGARATTO, Nicole. Concessionárias reajustaram até 168% preço da energia no horário fora de ponta. **Investimentos e Notícias**, 23 out. 2014. Disponível em: <<http://www.investimentosenoticias.com.br/noticias/negocios/concessionarias-reajustaram-ate-168-preco-da-energia-no-horario-fora-de-ponta>>. Acesso em: 16 jan. 2015.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; ABREU, Samuel L.; RUTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2015.

PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Tendências globais do investimento em energias renováveis em 2013**. Disponível em: <<http://www.dw.de/energia-solar-pa%C3%ADses-com-maior-capacidade-instalada/a-16991069>>. Acesso em: 09 mai. 2014.

PORTAL BRASIL. **Caderneta de poupança**. 2014a. Disponível em: <www.portalbrasil.net/poupanca_mensal.htm>. Acesso em: 01 nov. 2014.

_____. **Índice de Preços ao Consumidor Amplo**. 2014b. Disponível em: <www.portalbrasil.net/ipca.htm>. Acesso em: 12 nov. 2014.

RICHTER, Felix. **Asia's Solar Boom Fuels Record Growth in 2013**. Disponível em: <<http://www.statista.com/chart/2337/global-installed-photovoltaic-capacity/>>. Disponível em: 10 jan. 2015.

RODRIGUES, Eduardo. ANEEL aprova reajuste de até 83% nas bandeiras tarifárias. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 06 fev. 2015. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,aneel-aprova-reajuste-de-ate-83-nas-bandeiras-tarifarias,1630605>>. Acesso em: 21 fev. 2015.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos**: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: UFSC / LABSOLAR, 2004.

SOLSTÍCIO ENERGIA. **Sistema conectado à rede**, 2013. Disponível em: <<http://www.solsticioenergia.com.br/sobre-energia-solar/mercado-fotovoltaico/sistema-conectado-a-rede/>>. Acesso em 18 mai. 2014.

TESKE, Sven; ZERVOS, Arthouros; LINS, Christine; MUTH, Josche. **Revolução Energética: A caminho do desenvolvimento limpo**. GREENPEACE, 2010. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticaeslimpo.PDF>>. Acesso em: 09 mai. 2014.

TIEPOLO, Gerson M.; URBANETZ, Jair Jr.; CANCEGLIERI, Osiris Jr. **A solar photovoltaic electricity insert source in the state of Paraná/Brazil: An analysis of productive potential**. In: 22° INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH, 2013, Foz do Iguaçu. Disponível em: <[http://www.fiepr.org.br/observatorios/energia/uploadAddress/ICPR_22_-_Tiepolo_et_al_\(2\)\[45991\].pdf](http://www.fiepr.org.br/observatorios/energia/uploadAddress/ICPR_22_-_Tiepolo_et_al_(2)[45991].pdf)>. Acesso em: 13 dez. 2013.

TIEPOLO, Gerson M.; URBANETZ, Jair Jr.; CANCEGLIERI, Osiris Jr.; VIANA, Trajano; PEREIRA, Enio B. **Comparação entre o potencial de geração fotovoltaica no Estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha**. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 31 a 03 de Abril de 2014, Recife. Disponível em: <<http://www.escriptorioverdeonline.com.br/wp-content/uploads/2012/08/R0204-1.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2014.

URBANETZ, Jair Jr.; CASAGRANDE, Eloy F. J. **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR**. VIII CBPE. Curitiba, 2012.

URBANETZ, Jair Jr. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 189. 2010. Tese (Doutorado em Eng. Civil).

URBANETZ, Jair Jr.; CASAGRANDE, Eloy F. J.; TIEPOLO, Gerson. M. **Acompanhamento do Desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR**. IX CBPE. Florianópolis, 2014.

VALOR ECONÔMICO. Disponível em:
<<http://www.valor.com.br/internacional/3779002/energia-solar-tem-grande-impulso-na-china>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

VEMD – Divisão de Estudos de Mercado de Energia da Distribuição – COPEL, 2014.

ZILLES, Roberto. **Geração distribuída e sistemas fotovoltaicos conectados à rede, 2011**. In: ASSEMBLÉIA GERAL ORDINÁRIA DOS ASSOCIADOS DA COGEN, 2011, São Paulo. Disponível em:
<http://www.cogen.com.br/workshop/2011/Geracao_Distribuida_Sist_Fotovoltaicos_29032011.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2014.