

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

ALEX GARBIN PEREIRA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM CLIENTES COM TARIFAÇÃO A**

CAXIAS DO SUL

2016

ALEX GARBIN PEREIRA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM CLIENTES COM TARIFAÇÃO A**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação da Universidade de Caxias do Sul.

Orientador Prof. Dr. Diorge Alex Bão Zambra

CAXIAS DO SUL

2016

ALEX GARBIN PEREIRA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM CLIENTES COM TARIFAÇÃO A**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Controle e Automação
da Universidade de Caxias do Sul.

Aprovado em ___/___/_____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Diorge Alex Bão Zambra
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Andréa Cantarelli Morales
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Renato Gonçalves Ferraz
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Às minhas avós Maria Garbin (in memoriam) e

Maria Zélia Bernardo dos Santos (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por nos presentear com cada novo dia uma possibilidade de realizar as nossas conquistas.

Aos meus pais José e Marta, pelo apoio, incentivo e por todo o suporte prestado, e ao meu irmão Cássio pela ajuda e companheirismo. À minha namorada Caroline Cardoso, por acreditar em mim, nas minhas escolhas e se fazer presente nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador professor Dr. Diorge Alex Bão Zambra, pelas suas ideias, orientações, pela amizade e pelo engajamento no desenvolvimento do trabalho.

Ao pessoal da empresa Marcopolo S.A., que abriram as portas para que fosse realizado este trabalho, em especial ao Paulo Roberto Soller de Matos, João Machado, Gustavo Tochetto, Lisiane Dal Pozzo e todo o pessoal da manutenção unidade Ana Rech.

Aos meus colegas, em especial ao Felipe Dotti, Gustavo Henrique Soares, Rodrigo Rodrigues dos Santos, Yuri Braga pelo auxílio prestado.

*“Feliz do homem que encontrou a sabedoria,
daquele que adquiriu a inteligência,
porque mais vale esse lucro que o da prata,
e o fruto que se obtém é melhor que o fino ouro...”*

Provérbios 3:13-14

RESUMO

A busca por alternativas na geração de energia elétrica tem chamado a atenção para os sistemas de geração fotovoltaica, porém estes quase em sua totalidade no Brasil são instalados em residências. Por falta de incentivo do governo e outros fatores, consumidores industriais que possuem um alto consumo energético e estão inseridos na tarifação A, não estão aderindo a esta nova tecnologia, conforme dados obtidos da Agência Nacional de Energia Elétrica. Analisando alguns trabalhos e materiais técnicos, encontram-se algumas exigências e deveres na implantação destes sistemas fotovoltaicos, diferentemente dos residenciais. Contudo, é de fundamental importância que se faça uma análise detalhada dos requisitos necessários para tal implantação. Com isto, este trabalho utiliza-se de uma empresa situada em Caxias do Sul para avaliar o potencial de instalação de um sistema fotovoltaico, levando em consideração algumas informações como: irradiação local, disponibilidade de área e sistema tarifário em que a unidade consumidora está inserida. Por fim, é realizada uma avaliação de retorno financeiro, frente à energia fornecida pela concessionária, de acordo com a consistência dos dados obtidos na análise de rendimento do sistema de geração de energia fotovoltaica, como justificativa para um investimento neste determinado sistema.

Palavras chave: Energia Fotovoltaica. Análise. Indústria. Investimento.

ABSTRACT

The seek for electric power generation alternatives has been earning a place when it comes to photovoltaic power generation systems. But, they are almost all installed in homes. Because of the lack of governmental incentives and other reasons, industrial consumers who have high electric power consumption, and who are in the charging system A, are not adopting this new technology, according some data to Agência Nacional de Energia Elétrica. Analyzing some works and technical materials, it could find some requirements and obligations on these photovoltaic systems implantation, differently than in homes. However, it is really important that we do a detailed analysis from the requirements needed on this implantation. With it, this work uses a company located in Caxias do Sul for test a photovoltaic system potential installation, considering some information such as: local irradiation, availability of the area and the charging system in which the consumer unit is. Lastly, it will be analyzed the financial return forward the electric power provided by the concessionaire, according to the truth of the obtained data on the photovoltaic power generation system performance analysis in order to justify, or not, the investment on this system.

Keywords: Photovoltaic Power Generation. Analysis. Industry. Investment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Previsão de capacidade de geração de energia fotovoltaica no mundo..	16
Figura 2 – Percentual de energia solar nas fontes renováveis.....	16
Figura 3 – Homologações de sistemas fotovoltaicos por região.....	18
Figura 4 – Homologações de sistemas fotovoltaicos por faixa de potência e região	18
Figura 5 – Homologações de sistemas fotovoltaicos por classe tarifária e região	19
Figura 6 – Homologações de sistemas fotovoltaicos por região no RS	20
Figura 7 – Homologações de sistemas fotovoltaicos por faixa de potência no RS. ..	21
Figura 8 –Homologações de sistemas fotovoltaicos por classe tarifária no RS.....	21
Figura 9 – Irradiação solar no plano Inclinado	31
Figura 10 – Arranjo dos painéis por entrada do inversor.....	40
Figura 11 – Conectores MC4.....	41
Figura 12 – Geração ideal x geração estimada	44
Figura 13 – Geração estimada x consumo da subestação	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de sistemas fotovoltaicos isolados.....	24
Tabela 2 – Classificação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede.....	25
Tabela 3 – Subgrupos de fornecimento Grupo A	28
Tabela 4 – Subgrupos de fornecimento Grupo B	28
Tabela 5 – Consumo mensal da subestação SE06 (MWh).....	30
Tabela 6 – Características elétricas do módulo solar (STC).....	33
Tabela 7 – Características de Temperatura	33
Tabela 8 – Diferença de temperatura para cada tipo de fixação.....	34
Tabela 9 – Resumo dos dados obtidos para um módulo CS6P-260P.....	37
Tabela 10 – Dados técnicos do inversor.....	38
Tabela 11 – Dados técnicos do transformador.....	42
Tabela 12 – Custo dos produtos para implantação do sistema.....	45

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
AM	<i>Air Mass</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
EUA	Estados Unidos da América
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GED	Gerenciamento Eletrônico de Documentos
HSP	Horas de Sol Pleno
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
MT	Média Tensão
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OIE	Oferta Interna de Energia
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
RGE	Rio Grande Energia
STC	<i>Standart Test Conditions</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
2. ENERGIAS RENOVÁVEIS: PANORAMA, SISTEMAS E LEGISLAÇÃO	15
2.1. ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO E NO BRASIL	15
2.1.1 Dados de sistemas fotovoltaicos no Brasil	17
2.1.2 Dados de sistemas fotovoltaicos no Rio Grande do Sul.....	19
2.2 A RADIAÇÃO SOLAR E O EFEITO FOTOVOLTAICO	22
2.2.1 A radiação solar	22
2.2.2 O efeito fotovoltaico.....	23
2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	23
2.4 SISTEMAS DE GERAÇÃO – REFERÊNCIA NA LEGISLAÇÃO.....	26
2.4.1 Resolução normativa 687/2015.....	26
2.4.2 GED 15303.....	26
2.4.3 GED 033.....	27
2.5 SISTEMA TARIFÁRIO.....	27
2.6 MERCADO LIVRE DE ENERGIA.....	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 DADOS PRELIMINARES	30
3.2 DEFINIÇÃO DA INCLINAÇÃO E ALOCAÇÃO DOS MÓDULOS	31
3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA.....	32
3.3.1 Módulos fotovoltaicos seleção e dimensionamento térmico.....	32

3.3.2 Seleção e dimensionamento do inversor de frequência	37
3.3.3 Arranjo dos módulos condutores e conexões.....	39
3.3.4 Transformador elevador	42
3.3.5 Proteções do sistema e quadro geral de paralelismo.....	43
3.4 RESULTADOS	44
3.4.1 Análise de geração e rendimento	44
3.4.2 Custo do sistema e tempo de retorno do investimento	45
CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS.....	48
APÊNDICE A – DIAGRAMA UNIFILAR INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA	53
APÊNDICE B – TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS MÓDULOS	54

1. INTRODUÇÃO

A energia consumida no mundo provém predominantemente de fontes não renováveis como petróleo, carvão, gás natural e energia nuclear, segundo a British Petroleum (2015). No Brasil, a composição da Oferta Interna de Energia (OIE) demonstra que a participação das energias renováveis na matriz energética nacional passou de 40,4% em 2013 para 39,4% em 2014, devido a uma retração da geração das usinas hidrelétricas e do baixo consumo de lenha na produção do ferro gusa, fazendo com que 60,6% do consumo de energia no Brasil seja proveniente de fontes não renováveis (Brasil 2015).

Segundo Brasil (2015), das energias renováveis há uma fatia de 87,5% de energia que é gerada a partir das hidroelétricas, que tem sua capacidade de geração atrelada ao nível dos reservatórios, que varia de acordo com os períodos de precipitação do ano. Entretanto, as usinas hidroelétricas produzem um considerável impacto ambiental, devido ao alagamento de grandes áreas (PEREIRA *et. al*, 2006).

A preocupação com a preservação do meio ambiente e o constante aumento da demanda energética, abre a busca por fontes alternativas de energia que reduzam o impacto ambiental, tornando importantes as pesquisas nas áreas de geração, tais como: Solar, Eólica, das Marés, Biomassa, Geotérmica e por Pipas. A geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico pode ser uma das melhores formas de geração de energia (BRAUN-GRABOLLE, 2010). No Brasil, o aproveitamento dessa tecnologia tem vantagens, porque o país é localizado na sua maior parte na região intertropical e possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante o ano todo (Pereira *et. al*, 2006).

A indústria tem sido um dos cenários para a aplicação destas novas tecnologias, pois possui um grande potencial na redução de consumo. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2015), no ano de 2014, de toda a oferta interna de energia elétrica, 624,3TWh, o setor industrial consumiu o montante de 205,9TWh, igual a 33%, que representa a maior parte da energia demandada no ano. Em contrapartida a este alto consumo da indústria, a autoprodução de energia elétrica, energia produzida *in loco* e que não é injetada na rede, soma 52,2 TWh (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015).

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A crescente demanda por sistemas fotovoltaicos e o estágio de desenvolvimento tecnológico destes, chama a atenção da indústria de médio e grande porte, tanto pelo perfil de consumo quanto pela área física disponível para instalação. Sabendo que a tarifação aplicada a esse tipo de consumidor é diferenciada, deve-se analisar cada ponto da implantação de um sistema de geração de grande porte. Devido ao fato de o país possuir políticas energéticas pouco flexíveis, aliado a falta de informações claras, faz com que a indústria ainda não esteja preparada para usufruir deste recurso e pode acarretar, no futuro, problemas com a qualidade da energia e o não retorno financeiro esperado pelos investidores. Prever as causas que possam limitar a produção de energia e, em alguns casos, impedir problemas no dimensionamento e na instalação de sistemas fotovoltaicos motivam este trabalho. Mais do que isso, trazer o embasamento científico necessário que assegure a redução ao máximo dos riscos financeiros no desenvolvimento de projetos nesta área.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar o dimensionamento e a especificação dos componentes de uma Usina de geração de energia fotovoltaica. Analisar o tempo de retorno do investimento levando em consideração a classe e grupo tarifário no qual o cliente está inserido.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Efetuar uma revisão bibliográfica sobre o sistema nacional de geração de energia e Resoluções sobre micro e minigeração (ANEEL/RGE).
- b) Desenvolver estudo preliminar envolvendo o consumo, área para instalação de painéis, tarifação do cliente. Dimensionar os componentes para um sistema de geração de energia fotovoltaica.
- c) Analisar a viabilidade de implantação deste na indústria, frente à energia fornecida pela concessionária.

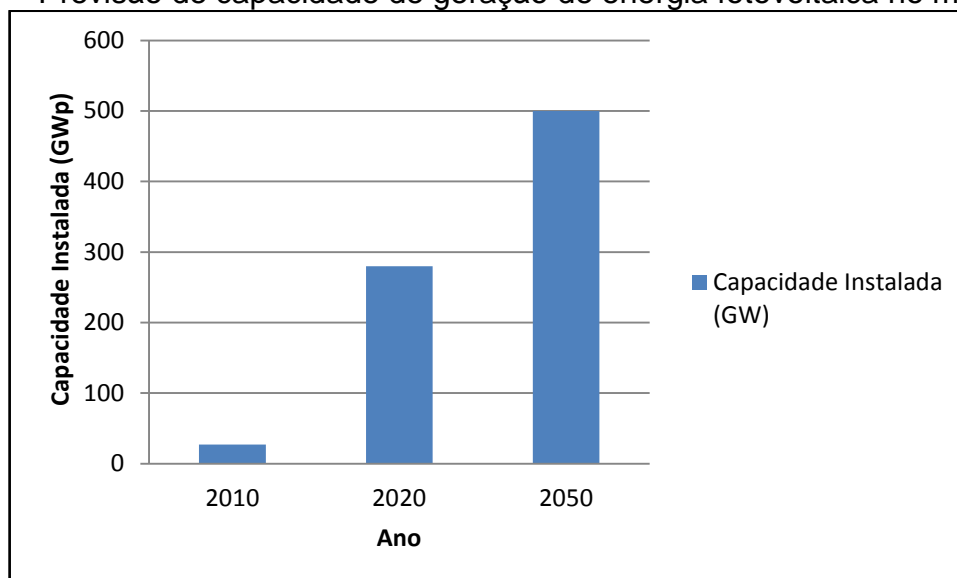
2. ENERGIAS RENOVÁVEIS: PANORAMA, SISTEMAS E LEGISLAÇÃO

Desde o começo do desenvolvimento energético, são discutidas alternativas para geração de energia, quanto aos tipos de fontes e também sobre as tecnologias de conversão para o seu uso final, de forma que se obtenham menores custos e a conversão seja realizada de maneira eficiente (JANNUZZI, 2003). Para tanto, as tecnologias de captação e transformação de energias renováveis, como a geração de energia solar pelo efeito fotovoltaico, tem se tornado um caminho inevitável frente aos efeitos da crise ambiental e ameaças de escassez do petróleo (KAUFMANN, 2012). Porém por se tratar de uma tecnologia recentemente difundida, há pouco conhecimento sobre métodos, conceitos e produtos. Nesse contexto, realiza-se a revisão prévia de alguns tópicos, como: o panorama da energia solar no Mundo e no Brasil; os conceitos de radiação e efeito fotovoltaico; classificação de sistemas fotovoltaicos; legislação; e sistema tarifário.

2.1. ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO E NO BRASIL

Na perspectiva mundial, a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos atingiu a marca de 139 GWp em 2013, resultando em uma diferença de 43% entre 2000 e 2013 (*EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION*, 2014). Este crescimento é motivado por incentivos a tecnologia, promovido por países como Alemanha com 18,8% da capacidade de geração mundial, seguido da China com 15,7%, Itália com 12,7%, Japão com 10,4%, entre outros como EUA e Espanha (BRASIL, 2015). A capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos pode chegar em 280 GWp no ano de 2020, que representa uma expansão média anual de 26%, conforme previsão da *International Energy Agency* (2012). A Figura 1 ilustra o cenário de expansão traçado pela IEA que até 2050 pode chegar em 500 GWp.

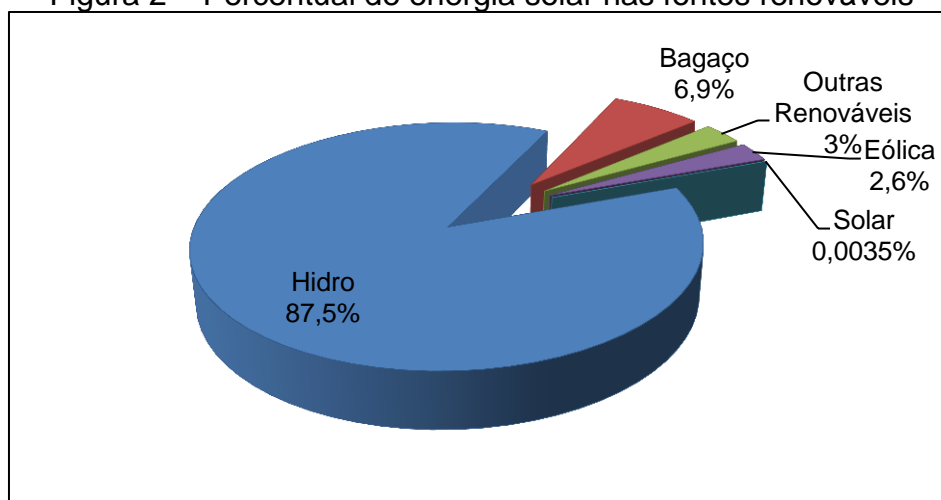
Figura 1 – Previsão de capacidade de geração de energia fotovoltaica no mundo



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2014)

No Brasil a tecnologia fotovoltaica encontra-se em contínuo crescimento. No ano de 2013, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2014) e da Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE), 5 GWh eram gerados através da energia solar. E em 2014 esse número passou para 16 GWh, o que ainda é pouco se comparado com o montante gerado pelas outras fontes de energia. Conforme ilustrado na Figura 2, dos 465,6 TWh de energia gerados por meio de fontes renováveis apenas 0,0035% correspondem a energia solar (BRASIL, 2015).

Figura 2 – Percentual de energia solar nas fontes renováveis



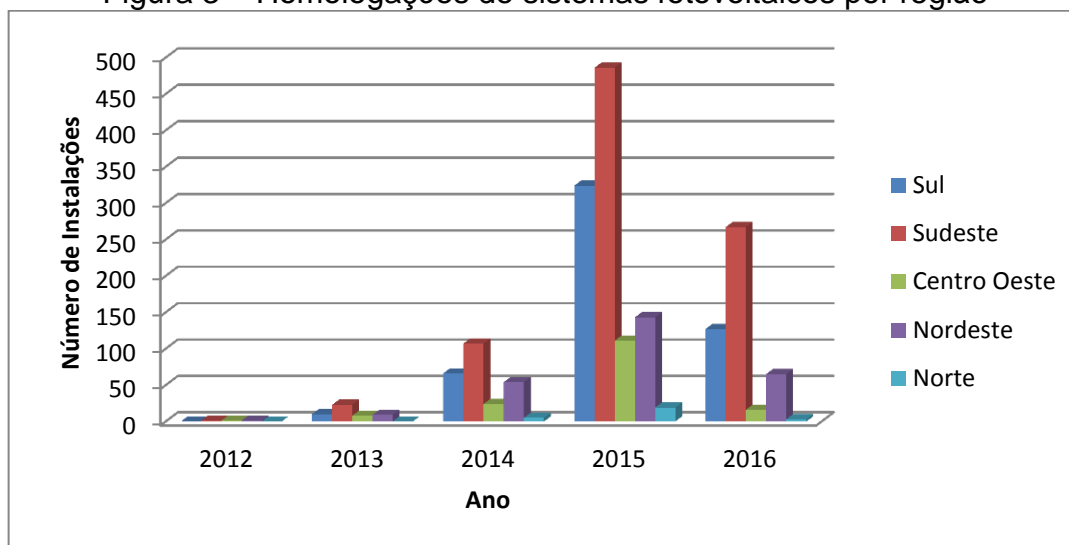
Fonte: Adaptado de Brasil (2015)

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME) em sua Nota Técnica DEA 19/14, (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014), foi realizado um levantamento no Brasil analisando as áreas de telhados disponíveis e o consumo de energia residencial, esse levantamento constatou que a área não é um fator limitante para a inserção de sistemas fotovoltaicos na geração distribuída no país. O potencial nacional de instalação é 2,3 vezes maior que o consumo residencial, tornando viável no futuro uma elevação do potencial de geração de energia, por meio de sistemas fotovoltaicos.

2.1.1 Dados de sistemas fotovoltaicos no Brasil

Conforme os registros da ANEEL, (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016), desde que passou a vigorar a Resolução Normativa 482/2012 que estabeleceu as condições gerais para sistema de compensação e o acesso de microgeração e minigeração distribuída no sistema de distribuição de energia elétrica, a cada ano cresce a instalação de sistemas fotovoltaicos, que teve em 2015 o seu ápice. Analisando a Figura 3, dividiu-se o território nacional em regiões e tomou-se o ano de 2015 como base para uma comparação do número de homologações de sistemas fotovoltaicos. A região sudeste, que compreende os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, tem o maior número de sistemas homologados, que correspondem a 44,9% do total; logo em seguida está a região sul que compreende os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná com 29,9%; a região nordeste, que apesar do grande número de estados que compreende: Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão, está representando apenas 13,2% das homologações; a região centro-oeste, composta pelos estados de Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal e Mato Grosso com 10,2%; e região norte, a retardatária nesta análise, compondo uma pequena parcela nesse percentual de apenas 1,8% e compreendendo os estados de Tocantins, Pará, Amapá, Rondônia, Acre, Roraima e Amazonas.

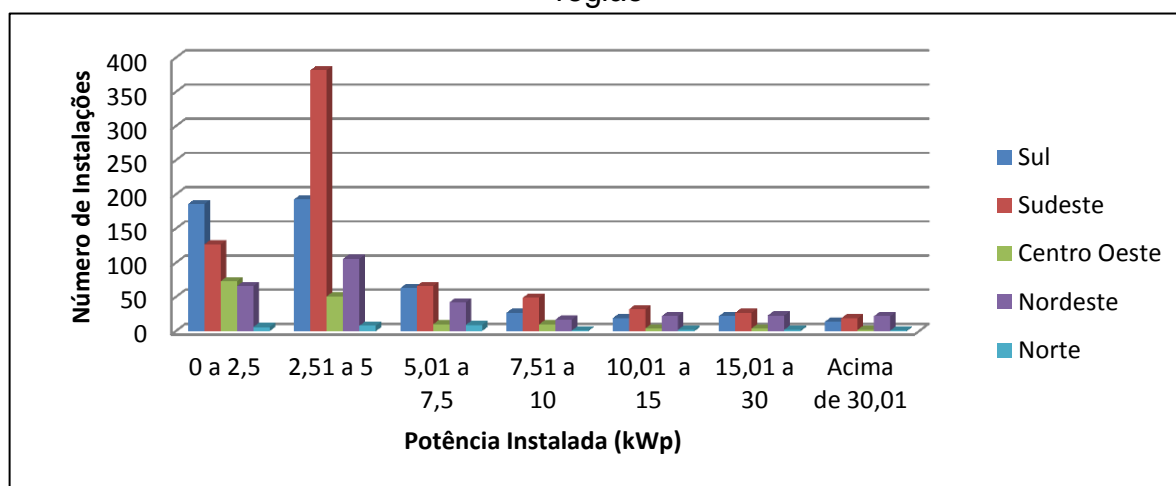
Figura 3 – Homologações de sistemas fotovoltaicos por região



Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Energia Elétrica (2016)

Os sistemas de até 5 kWp de capacidade de geração são os mais instalados em todas as regiões, totalizando aproximadamente 70% dos sistemas instalados no Brasil desde 2012, conforme a Figura 4. Um dos motivos para esta alta procura deve-se ao fato de que conforme o nível de irradiação solar, a energia gerada por estes sistemas aproxima-se ao padrão médio de consumo das residências brasileiras que é de 157 kWh/mês (FEDRIGO; GONÇALVES; LUCAS, 2009).

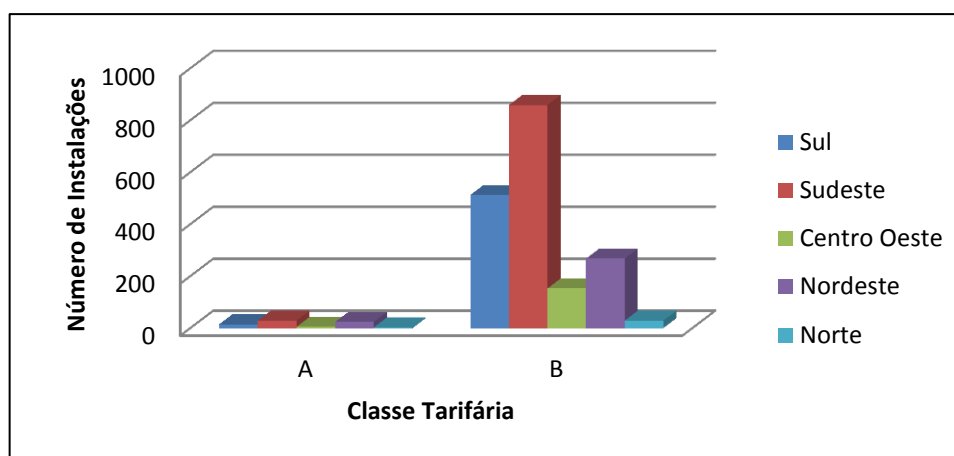
Figura 4 – Homologações de sistemas fotovoltaicos por faixa de potência e região



Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Energia Elétrica (2016)

Os sistemas fotovoltaicos homologados são predominantemente da classe tarifária B¹, e seus subgrupos², o que indica que a maior parte deles, cerca de 93,7%, instalados em todas as regiões do Brasil, é de consumidores residenciais, conforme a Figura 5. Os sistemas instalados na classe tarifária A (unidades consumidoras com fornecimento de tensão igual ou superior a 2,3 kV), representam 6,3% dos sistemas instalados, isto equivale em potência cerca de 5304 kWp contra os 23828 kWp instalados na classe tarifária B (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

Figura 5 – Homologações de sistemas fotovoltaicos por classe tarifária e região



Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Energia Elétrica (2016)

2.1.2 Dados de sistemas fotovoltaicos no Rio Grande do Sul

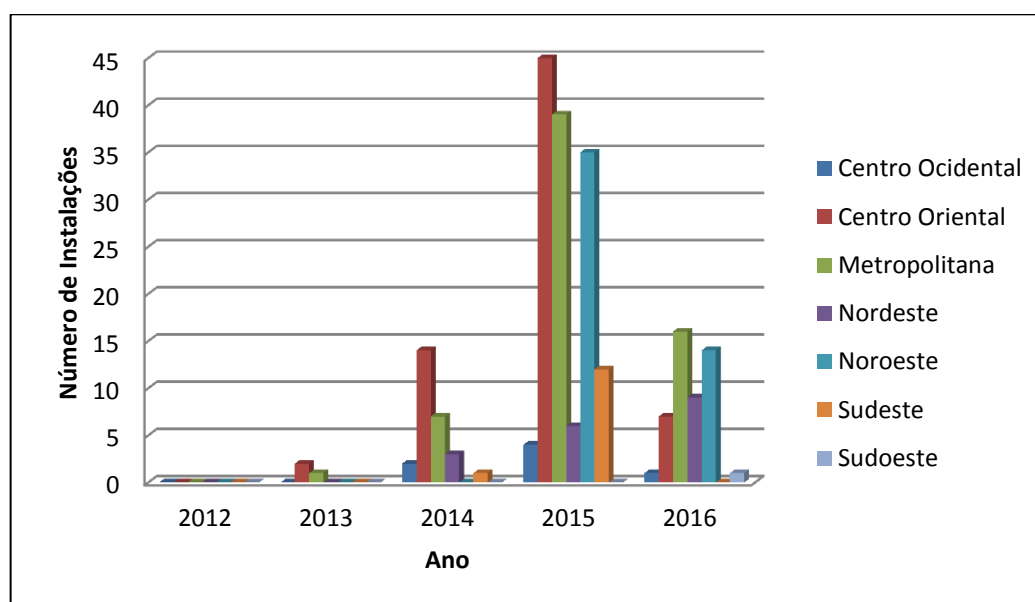
No Rio Grande do Sul, conforme demonstrado na Figura 6, o avanço dos sistemas fotovoltaicos repetiu a situação nacional. A região que mais possui instalações, tomando como base o ano de 2015, é a mesorregião centro oriental com um percentual de 31,9% e que corresponde as microrregiões de Cachoeira do Sul, Lajeado-Estrela e Santa Cruz do Sul; em seguida estão a mesorregião metropolitana e a mesorregião noroeste que compreende as microrregiões de: Carazinho, Cerro Largo, Cruz Alta, Erechim, Frederico Westphalen, Ijuí, Não-Me-Toque, Passo Fundo, Sananduva, Santa Rosa, Santo Ângelo, Soledade e Três Passos, e representam 27,7% e 24,8% respectivamente; a mesorregião sudeste é a seguinte neste âmbito tendo definido seu percentual em 8,5% sendo que abrange as

¹ Grupamento composto por unidades consumidoras com fornecimento de tensão inferior a 2,3 kV, (ANEEL, 2012).

² Subgrupos: B1 Residencial; B2 Rural; B3 Demais Classes; B4 Iluminação Pública, (ANEEL, 2012).

microrregiões de Jaguarão, Litoral Lagunar, Pelotas e Serras de Sudeste; seguindo essa linha, a mesorregião nordeste aparece com um percentual menor que os demais, sendo este 4,3% justificados por suas poucas microrregiões, Caxias do Sul, Guaporé e Vacaria; os últimos da lista com percentuais praticamente inexpressivos perante aos demais, são a mesorregião centro ocidental e a mesorregião sudoeste, com 2,8% e 0,00%, respectivamente, essas caracterizadas pelas regiões de Restinga Seca, Santa Maria, Santiago, Campanha Central, Campanha Meridional e Campanha Ocidental sem nenhum sistema fotovoltaico instalado.

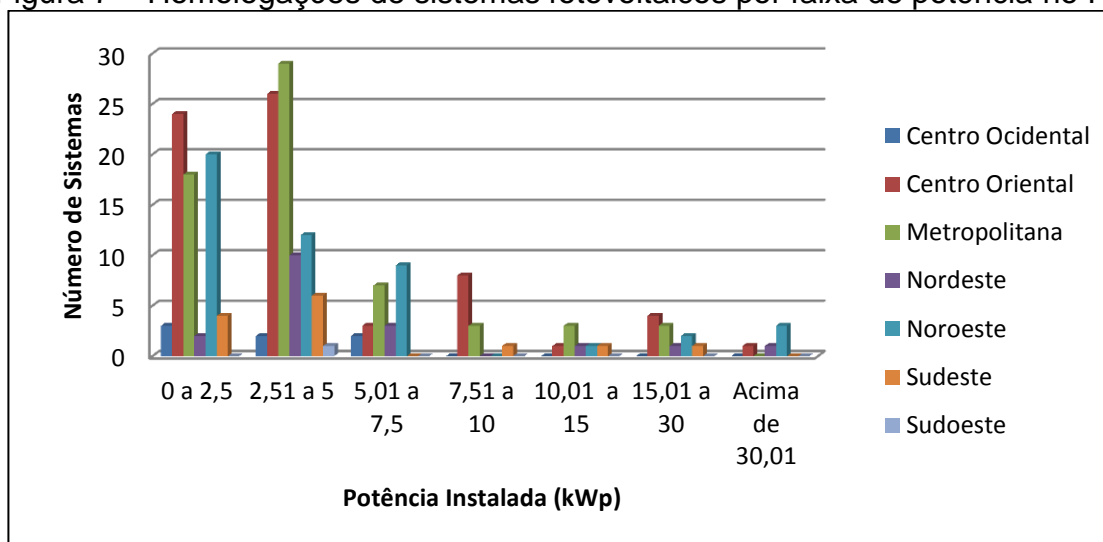
Figura 6 – Homologações de sistemas fotovoltaicos por região no RS



Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Energia Elétrica (2016)

Os sistemas de até 5 kWp de capacidade de geração são os mais instalados também no Rio Grande do Sul, desde 2012. Conforme a Figura 7, eles totalizam aproximadamente 72% dos sistemas instalados.

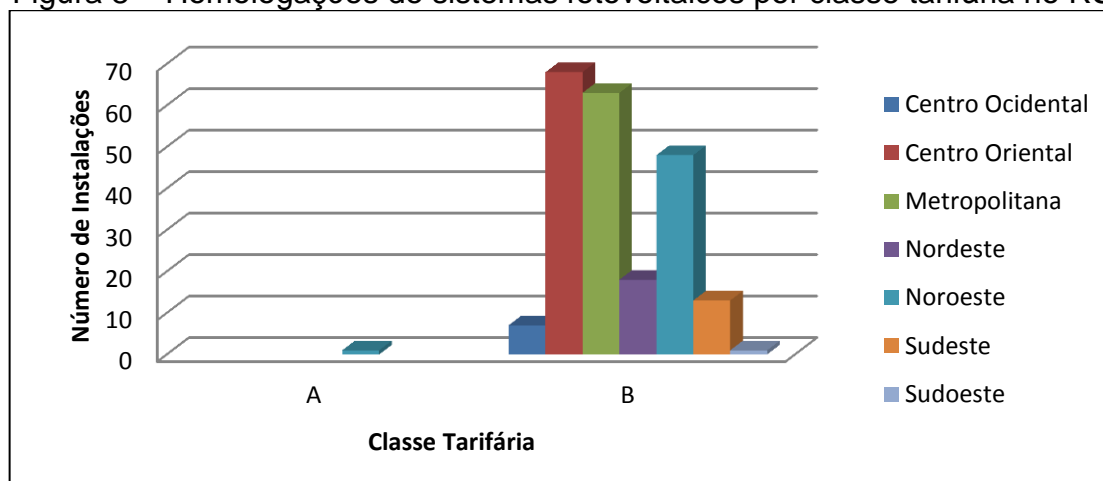
Figura 7 – Homologações de sistemas fotovoltaicos por faixa de potência no RS



Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Energia Elétrica (2016)

Os sistemas fotovoltaicos homologados no Rio Grande do Sul são também predominantemente da classe tarifária B, que representam cerca de 99,5%, conforme a Figura 8. Há apenas 1 sistema homologado na classe tarifária A. (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

Figura 8 – Homologações de sistemas fotovoltaicos por classe tarifária no RS



Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Energia Elétrica (2016)

2.2 A RADIAÇÃO SOLAR E O EFEITO FOTOVOLTAICO

2.2.1 A radiação solar

A radiação solar é uma fonte de energia inesgotável e a principal para a Terra, fazendo com que seja possível a sua utilização e conversão em diversas formas de apresentação, como energia térmica e energia elétrica (PINHO; GALDINO, 2014). Essa energia atinge o Planeta Terra na forma de radiação eletromagnética, com comprimentos de onda distintos e uma taxa de energia incidente, em watts, sobre uma área de um metro quadrado (W/m^2), dada pela Equação 2.1 da densidade de potência H , em que ϕ é o fluxo de fótons, h é a constante de Planck que vale aproximadamente $6,62606957 \cdot 10^{-34} \text{ j} \cdot \text{s}$, c que é velocidade de deslocamento da onda eletromagnética no vácuo de aproximadamente $299.792.458 \text{ m/s}$, λ é o comprimento de onda expresso em metros (SANTOS *et. al*, 2015).

$$H = \phi \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

Quando a radiação solar é medida no topo da atmosfera terrestre, em um plano perpendicular, corresponde ao valor de 1367 W/m^2 (PINHO; GALDINO, 2014). As perdas do fluxo de potência entre o espectro da irradiância incidente no topo da atmosfera como espalhamento causado pelos gases puros e secos e a absorção causada pelo ozônio, pelo dióxido de nitrogênio e pelo vapor de água, fazem com que o espectro da irradiância global, que atinge uma determinada superfície inclinada, seja cerca de 1.000 W/m^2 . Este nível de irradiância é considerado como valor padrão para a especificação da potência nominal de uma célula ou módulo fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014), embora ainda assim existam diferenças de espessura da camada atmosférica, massa de ar, condições atmosféricas e meteorológicas de cada localidade.

Entre março de 2000 e novembro de 2005, Trenberth, Fasullo e Kiehl (2009) realizaram atualizações no fluxo de potência global da radiação solar, e, segundo o autor, dos 174 mil TW de irradiância que incidem na atmosfera terrestre, apenas

54% ou 94 mil TW chegam a superfície, sendo 7% refletidos, 47% absorvidos e os outros 46% são absorvidos ou refletidos diretamente pela atmosfera.

2.2.2 O efeito fotovoltaico

Nas células fotovoltaicas, os materiais semicondutores que as compõem são arrançados em duas camadas: a camada tipo “n” que possui um excesso de elétrons livres e a camada tipo “p” que ocupa as lacunas existentes. Na região de junção p-n, os pares formados de elétrons e lacunas constituem um campo elétrico. Quando a célula fotovoltaica é exposta a irradiação solar, os fótons que a integram fornecem energia aos pares elétron-lacuna separando-os (BRAUN-GRABOLLE, 2010).

Esta separação, dos portadores de carga pela junção p-n, dá origem ao efeito fotovoltaico, que é a conversão de energia luminosa em energia elétrica associada a uma corrente elétrica e uma diferença de potencial. Este efeito, na verdade, ocorre em qualquer diodo semicondutor que for exposto a radiação. Portanto, as células fotovoltaicas podem ser entendidas essencialmente como diodos de grande área, otimizados para o aproveitamento do efeito fotovoltaico. (PINHO; GALDINO, 2014).

2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

As células fotovoltaicas agrupadas compõem um módulo fotovoltaico que, independente da eficiência e do tamanho, podem ser interligados com a finalidade de aumentar a potência de saída constituindo um sistema fotovoltaico (BRAUN-GRABOLLE, 2010). Os sistemas são, geralmente, constituídos pelos módulos geradores, os conversores, inversores e controladores de carga, além de dispositivos de controle e proteção, fixação e suporte físico para os módulos (CRESESB, 2014). Conforme a NBR 11704:2008, que classifica os sistemas de conversão de energia fotovoltaica em energia elétrica e descreve um resumo dos exemplos das classificações dos sistemas fotovoltaicos, os sistemas anteriormente citados são distribuídos em três categorias: isolados, híbridos ou conectados à rede.

Os sistemas isolados ou *off-grid* não são conectados à rede de distribuição de energia elétrica, necessitando, para seu funcionamento, um banco de baterias que armazena a energia gerada, para que, depois, seja utilizada quando não houver radiação solar. Na sua composição há painel fotovoltaico, controlador de carga, banco de baterias e inversor, que são utilizados comumente para atender a

necessidade de energia elétrica de equipamentos eletroeletrônicos distantes da rede de distribuição, exemplificado na Tabela 1.

Já os sistemas híbridos podem ser tanto isolados quanto conectados à rede, e podem integrar várias fontes de energia além da fotovoltaica, como a eólica, a diesel, pequenas centrais hidrelétricas, entre outras. Essas fontes complementam a geração fotovoltaica, atuando de maneira interligada, principalmente em momentos de baixa irradiação e à noite. São sistemas complexos, que necessitam controle adequado capaz de integrar os vários geradores de forma a otimizar a operação.

Os sistemas conectados à rede, exemplificados na Tabela 2, por outro lado, não armazenam energias em bancos de baterias, toda a produção é diretamente disponibilizada na rede, com a mesma tensão e frequência no sistema que está conectado. A potência excedente é disponibilizada a concessionária para consumo dos demais usuários, atuando como complementar no fornecimento (ABNT, 2008).

Tabela 1 – Classificação de sistemas fotovoltaicos isolados (continua)

Tipos de sistema		Alimentação dos Consumidores	Acumulação	Componentes básicos	Aplicações Típicas
Sistemas isolados	Puros	Tensão Contínua	Não	Seguidor de máxima potência (desejável)	Bombeamento, produção de hidrogênio etc.
			Sim	Controlador de carga e acumulador	Iluminação, telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica.
	Tensão Alternada	Não	Inversor	Bombeamento, uso industrial etc.	
		Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor	Eletrificação rural, bombeamento, telecomunicações, industrial, iluminação	

	Híbridos	Tensão Contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar	Telecomunicações, iluminação, sinalização rodoviária e ferroviária
		Tensão Alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador opcional e gerador complementar	Iluminação, uso industrial

Fonte: Adaptado de ABNT 2008

Tabela 2 – Classificação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede

Tipos de sistema		Alimentação dos Consumidores	Acumulação	Componentes básicos	Aplicações Típicas
Sistemas conectados à rede elétrica	Puros	Tensão Alternada	Não	Inversor	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública
	Híbridos	Tensão Alternada	Não	Inversor e gerador complementar	Idem anterior
			Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador	Eletrificação rural, uso industrial, suprimento ininterrupto de energia

Fonte: Adaptado de ABNT 2008

2.4 SISTEMAS DE GERAÇÃO – REFERÊNCIA NA LEGISLAÇÃO

2.4.1 Resolução normativa 687/2015

Em 17 de abril de 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL divulgou a REN 482, que estabelece as condições para o acesso de microgeração e minigeração distribuída. Posteriormente, foi alterada pela REN 687 de 24 de novembro de 2015, (ANEEL, 2012; ANEEL, 2015), que classifica como microgeração distribuída a central geradora que tem potência pico instalada igual ou menor a 75 kW; e minigeração, a central geradora que é superior a 75kW e menor ou igual a 5 MW, e que utilize, especificamente, fontes de energias renováveis que não a hídrica, conectada à rede de distribuição. Porém, a potência instalada fica limitada a potência disponibilizada para a unidade consumidora, e, caso esta deseje instalar uma potência superior ao limite deve solicitar o aumento da potência disponibilizada, não podendo dividir a central geradora em unidades de menor porte para se enquadrar nos limites de potência para instalação. Além disto, quem aderir esta modalidade de sistema de compensação, deve ceder energia ativa em caráter de empréstimo gratuito à distribuidora local que o compensa posteriormente com o fornecimento de energia elétrica ativa em devolução e que deve ser consumido em um prazo de 60 meses. (ANEEL, 2015).

Podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica os consumidores com micro e minigeração distribuída, integrante de empreendimento de múltiplas unidades consumidoras, caracterizada como geração compartilhada e como autoconsumo remoto. Porém, a adesão ao sistema de compensação de energia não se aplica aos consumidores livres ou especiais (ANEEL, 2015).

2.4.2 GED 15303

Os consumidores que desejam estar conectados com seus próprios sistemas de geração de eletricidade às redes de média e baixa tensão da empresa CPFL, proprietária da concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica em Caxias do Sul-RS, têm de atender aos requisitos descritos na Norma Técnica GED 15303, que estabelece, embasada na Resolução Normativa (REN) nº 482/2012 de 17/04/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com revisões dadas pelas Resoluções Normativas ANEEL nº 517/2012 de 11/12/2012, e

nº 687/2015 de 24/11/2015, os requisitos necessários para o acesso à rede (CPFL, 2016).

Dentre estes requisitos, os acessantes, que são consumidores livres ou especiais, não podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica. E os acessantes que, eventualmente, não optem pelo sistema de compensação de energia elétrica, muito embora suas instalações de micro e minigeração distribuída possam ter idêntica descrição técnica, deverão seguir outros procedimentos definidos em diversa documentação técnica e comercial da CPFL, amparados na legislação (CPFL, 2016).

2.4.3 GED 033

A norma GED 033 estabelece os requisitos técnicos mínimos para ligação em paralelo com o sistema de distribuição da CPFL de consumidores autoprodutores de energia elétrica com ou sem venda de excedentes, produtores independentes que são pessoas jurídicas ou empresas que se reúnem em consórcio e recebem autorização para produção de energia elétrica destinada ao comércio e outros usuários que, possuam geradores elétricos em diferentes níveis de tensão e sob qualquer regime operativo, que por tempo indeterminado operem em sincronismo com as redes trifásicas de distribuição primária, que são redes de média tensão e compreendem entre 2,3 kV a 44 kV, de propriedade da concessionária, por conta da geração própria (CPFL, 2013). Norma esta que será levada em consideração para o estudo de caso, uma vez que, o consumidor em questão se enquadra no sistema livre de tarifação.

2.5 SISTEMA TARIFÁRIO

As unidades consumidoras no Brasil são divididas em dois grupos tarifários, o Grupo A e o Grupo B. O Grupo A são clientes que tem tarifa binômica, no qual a concessionária cobra por consumo (kWh) e demanda (kW), e que são atendidos em alta tensão acima de 2300 volts, como é o caso da indústria (BRASIL, 2011). Os clientes ainda são subdivididos em subgrupos conforme a Tabela 3 e são constituídos em três modalidades de fornecimento, estrutura tarifária convencional, horária Verde e horária Azul (ANEEL, 2012).

Tabela 3 – Subgrupos de fornecimento Grupo A

Subgrupo	Nível de Tensão
A1	Acima de 230kV
A2	88kV a 138kV
A3	69kV
A3a	30kV a 44kV
A4	2,3 kV a 25kV
AS	Sistema Subterrâneo

Fonte: Adaptado de Brasil 2011

Os consumidores do Grupo B tem tarifa monômnia, preços aplicados exclusivamente a energia elétrica ativa (kWh), e são unidades consumidoras atendidas com tensão abaixo de 2300 volts. São estas residências, agências bancárias, edifícios, lojas entre outros, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Subgrupos de fornecimento Grupo B

Subgrupo	Atendimento
B1	Residencial
B2	Rural
B3	Demais classes
B4	Iluminação Pública

Fonte: Adaptado de Brasil 2011

Dentro do grupo A, os consumidores do grupo A3a, A4 ou AS podem ainda optar pela estrutura tarifária convencional contando com um contrato específico com apenas um valor de demanda contratada ou contratar a estrutura tarifária horária verde que leva em consideração os períodos seco e úmido do ano para tarifação e, ainda, a soma das parcelas referentes ao consumo de ponta e fora de ponta. Já para os subgrupos A1, A2 ou A3 são obrigados a se enquadrar na estrutura horária azul que permite valores diferentes para o período seco e úmido, além de especificar o valor de demanda pretendida no horário de ponta e fora de ponta (ANEEL, 2012). Além disso, a ANEEL em 2012 criou um meio de sinalizar por meio da tarifa de energia, os custos de geração da energia elétrica no país atualizados, implantando as bandeiras tarifárias, estas geram um acréscimo no valor do kWh final (ANEEL, 2012).

2.6 MERCADO LIVRE DE ENERGIA

Diferente do Ambiente de Contratação Regulada (ACR), no qual os agentes de distribuição adquirem energia elétrica para atender seu mercado, no Ambiente de Contratação Livre (ACL), os agentes geradores, produtores independentes, comercializadores e importadores de energia negociam livremente com os consumidores livres ou especiais, tornando a escolha a cargo do cliente de quem será o seu fornecedor de energia. Participar do ambiente livre significa uma facilidade na previsão orçamentária no caso de uma empresa, preços mais competitivos, adequação da compra de energia ao processo produtivo e ampla negociação diretamente com o fornecedor (CELESC, 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo do dimensionamento de um sistema fotovoltaico é adequar a capacidade de geração de energia elétrica com a demanda desejada, levando em consideração o consumo, disponibilidade do recurso solar, disponibilidade de área, temperatura e equipamentos necessários. Dessa maneira, é proposto um conjunto de equipamentos que, além de atender as normas, irão de maneira eficiente realizar a conversão da luz solar em energia elétrica utilizando um sistema conectado a rede interna da empresa na qual será realizado o estudo de caso.

3.1 DADOS PRELIMINARES

Como figura de mérito, para o estudo de caso, foi utilizada a unidade consumidora SE 06, que é uma subestação interna na empresa Marcopolo S.A. unidade Ana Rech, com potência instalada de 750 kVA, tensão no primário de 13,8 kV e que alimenta os setores de caldeira, manutenção, setor 390, setor 352 e central de resíduos. A empresa Marcopolo é participante do ambiente de contratação livre (ACL), tendo como fornecedor de energia a companhia CEMIG de geração e transmissão e atendida na parte de distribuição como cliente do subgrupo A3 pela Rio Grande Energia (RGE), empresa do grupo CPFL. Tomando como referência o ano de 2015, verificou-se que o consumo médio mensal da subestação SE 06 é de aproximadamente 25 MWh, e pode ser visualizado mês a mês na Tabela 5.

Tabela 5 – Consumo mensal da subestação SE06 (MWh)

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
Consumo (MWh)	24	18	25	20	24	25	28	22	26	30	31	28	25

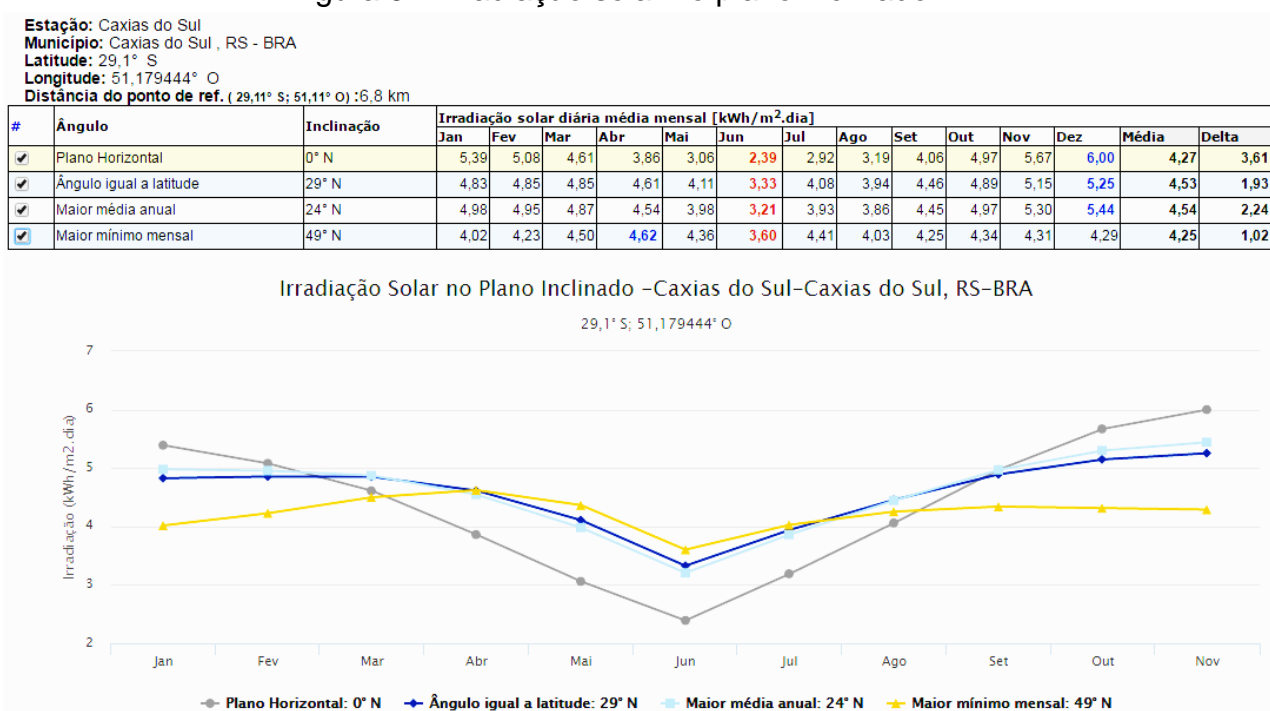
Fonte: O autor

Realizando-se a razão entre a energia média de 25000 kWh/mês pelo número de dias do mês, se obtém 833,33 kWh/dia, que representa a energia que deve ser compensada em um dia. Para compensar esta energia, divide-se o valor de energia a ser compensada pela potência irradiada que chega a atmosfera (4,54 kWh/m²/dia, (CRESESB, 2016)), que resulta 183,55 kWp, sendo esta a capacidade sistema de geração.

3.2 DEFINIÇÃO DA INCLINAÇÃO E ALOCAÇÃO DOS MÓDULOS

Os dados de radiação de energia solar que incidem no local onde serão instalados os módulos fotovoltaicos foram coletados através da ferramenta SunData, que se destina ao cálculo da irradiação solar diária média no Brasil, avaliada em períodos de trinta dias conforme a Figura 9, e, está disponível no site do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito).

Figura 9 – Irradiação solar no plano inclinado



Fonte: CRESESB (2016)

Conforme mencionado no Capítulo 2, os geradores fotovoltaicos têm suas características elétricas ligadas a dados de irradiação, que na maioria das vezes, são apresentados em valores médios mensais para energia acumulada ao longo de um dia, ignorando os efeitos de variação ocorridos a cada instante, como a passagem de uma nuvem, por exemplo. Portanto, o referido valor é expresso em Horas de Sol Pleno (HSP), esta grandeza representa o número de horas que a irradiação permanece constante e igual a 1000 W/m² (PINHO; GALDINO, 2014).

No caso, para o sistema a ser implantado na empresa Marcopolo, esse valor é encontrado na sua maior média em 4,54 kWh/m², e se obtém com a inclinação dos

módulos fotovoltaicos a 24° em relação a superfície horizontal. Ângulo este que será adotado como referência para o dimensionamento. A instalação física do sistema será em uma área de 6685 m² com inclinação de 45° dentro do parque fabril da unidade Ana Rech.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

3.3.1 Módulos fotovoltaicos seleção e dimensionamento térmico

Os módulos fotovoltaicos são identificados pela sua potência elétrica de pico (Wp), porém esses valores são definidos nas condições padrão de ensaio (STC, do inglês Standard Test Conditions), considerando a irradiância solar de 1000 W/m² sob uma distribuição espectral padrão para AM 1,5 e temperatura de célula de 25 °C. Para uma correta seleção, aplicação e dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, se faz necessário entender as suas características bem como os fatores externos que podem alterar estes parâmetros. A maioria das características depende das condições de temperatura e de irradiância solar sob as quais se deseja operar um sistema, que ao ficar exposto a essa irradiação, nos terminais positivo e negativo do módulo gera uma tensão de circuito aberto V_{oc} e corrente de curto circuito I_{sc} .

Para a correta seleção do módulo fotovoltaico realizou-se uma análise na Tabela de Eficiência Energética-Sistema de Energia Fotovoltaica-Módulo, disponível no Apêndice B, que reúne os módulos fotovoltaicos autorizados para fabricação, importação e comercialização no país (INMETRO, 2016). De posse das informações, foi escolhido o módulo poli cristalino modelo CS6P-260P da marca Canadian, que tem suas principais características apresentadas na Tabela 6, destacando-se a eficiência e o potencial de geração de energia em kWh/mês, bem como a aplicação no mercado nacional e o excelente desempenho em baixos níveis de irradiação solar (CANADIAN SOLAR, 2016).

Tabela 6 – Características elétricas do módulo solar (STC)

Potência Nominal	260 W
Tensão de Operação (Vmp)	30,4 V
Corrente de Operação (Imp)	8,56 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	37,5 V
Corrente de Curto Circuito	9,12 A
Eficiência do módulo	16,16 %
Temperatura de Operação	-40°C ~ +85°C
Tolerância de Potência	0 ~ +5W

Fonte: Adaptado de Canadian Solar (2016)

Como as características nominais dos módulos fotovoltaicos são adquiridas em laboratórios com condições controladas, se faz necessário, para condições adversas, a compensação de temperatura, levando em consideração os coeficientes da Tabela 7.

Tabela 7 – Características de Temperatura

Coefficiente de Temperatura (Pmax)	-0,41%/°C
Coefficiente de Temperatura (Voc)	-0,31 %/°C
Coefficiente de Temperatura (Isc)	0,053%/°C
Temperatura Nominal de Operação da Célula	45 + 2°C ou 45 - 2°C

Fonte: Adaptado de Canadian Solar (2016)

Conforme observado no catalogo dos módulos fotovoltaicos, a temperatura de teste é de 25°C, então, considera-se este valor como sendo a diferença média positiva ΔT de temperatura entre as células fotovoltaicas e o meio ambiente em que os módulos fotovoltaicos serão instalados, conforme a Tabela 8. Contudo, é importante mencionar que o arrefecimento da parte traseira dos módulos fotovoltaicos influencia na remoção de calor do seu interior, e, portanto, das células fotovoltaicas. Se o sistema de fixação mecânica contribuir deixando com esta condição, que é o caso da Marcopolo, que terá os módulos instalados com uma inclinação não totalmente elevada, mas que permite a sua devida refrigeração, terá uma variação de 28°C e há uma melhora no rendimento de geração de energia.

Tabela 8 – Diferença de temperatura para cada tipo de fixação

TIPO DE FIXAÇÃO	ΔT
Estrutura totalmente elevada (solo)	+22°C
Laje ou telhado (com espaço/inclinação)	+28°C
Sobre o telhado (com ventilação)	+29°C
Integrado (sem ventilação)	+32°C

Fonte: Souza (2015)

A temperatura considerada para o cálculo das diferenças de características em valores nominais e valores reais de operação dos módulos, T_{calc} , vai ser de acordo com a Equação 3.1. Onde, T_{amb} é a temperatura ambiente considerada para a operação real no ambiente de instalação dos módulos que na região de Caxias do Sul a maior temperatura observada ocorre no mês de janeiro alcançando 26,6°C (INMET, 1990), ΔT é a diferença de temperatura entre as células fotovoltaicas e a temperatura ambiente com influência da dificuldade de arrefecimento de acordo com o tipo de fixação, T_{ref} temperatura de referência para testes de laboratório dos módulos fotovoltaicos, determinado em 25°C, segundo o conjunto de normas internacionais (SOUZA, 2015). O resultado da temperatura, T_{calc} , é de 29,6°C e vai ser considerada nos cálculos posteriores.

$$T_{calc} = T_{amb} + (\Delta T - T_{ref}) \quad (3.1)$$

O valor da diferença entre a potência de pico em condições de laboratório e a estimativa da potência de pico em condições reais de operação, se dá utilizando a Equação 3.2 (SOUZA, 2015).

$$L_{P_{max}} = {}^{\circ}C_{Wp} \cdot T_{calc} \quad (3.2)$$

Onde, $L_{P_{\max}}$ é a diferença entre a potência pico nominal e a estimativa de potência pico em condições reais de operação, $^{\circ}C_{Wp}$ é o coeficiente de temperatura da potência pico do módulo fotovoltaico que é de $-0,41\%/^{\circ}C$ e T_{calc} a temperatura considerada para o cálculo (SOUZA, 2015) fazendo com que, a diferença entre a potência pico nominal e a potência pico estimada seja de $-12,13\%$.

Pelo coeficiente negativo, pode se observar, que haverá uma perda de potência devido a variação negativa. O rendimento do módulo fotovoltaico, em condições reais de operação, será inferior às condições de padrão de teste. O valor de estimativa de rendimento $R_{P_{\max}}$ poderá ser obtido através da Equação 3.3, onde, $L_{P_{\max}}$ é a diferença entre a potência pico nominal e a estimativa de potência pico em condições reais de operação. Portanto, com o rendimento $R_{P_{\max}}$ igual a $87,87\%$, a potência pico do módulo, que é de 260 Wp , terá um valor real de $228,46 \text{ Wp}$.

$$R_{P_{\max}} = 100\% + L_{P_{\max}} \quad (3.3)$$

Para calcular a tensão máxima, é usado o valor da mínima temperatura da região nas horas de sol para a cidade de Caxias do Sul, que é de $-2,3^{\circ}C$, no seu mínimo absoluto (INMET, 1990). A mínima temperatura utilizada em cálculo, T_{Ncalc} , é obtida com a Equação 3.1. O valor da temperatura mínima é $-27,3^{\circ}C$, que será aplicada na Equação 3.4 (SOUZA, 2015), para que se possa obter o valor da diferença entre a tensão em circuito aberto nominal e em condições de laboratório.

$$L_{VOC} = ^{\circ}C_{Voc} \cdot T_{Ncalc} \quad (3.4)$$

Onde, $^{\circ}C_{Voc}$ é o dado referente as características de temperatura Voc, que é de $-0,31\%/^{\circ}C$, e T_{Ncalc} que é a máxima temperatura negativa. O resultado obtido é de $8,46\%$, ou seja, o valor da tensão será de $108,46\%$, o que significa que, uma tensão nominal de Voc de $37,5 \text{ V}$, pode chegar até $40,67 \text{ V}$ por módulo.

Já para determinar o menor valor de tensão em máxima potência, será utilizado como temperatura de cálculo o valor de $60^{\circ}C$, que considera a diferença entre a máxima temperatura de operação desse modelo de módulo fotovoltaico e a

temperatura de referência. Na equação 3.5, o $L_{V_{mpp}}$ é a diferença entre a tensão e a máxima potência nominal, $^{\circ}C_{V_{mpp}}$ é o coeficiente de temperatura da tensão em máxima potência do módulo fotovoltaico, e T_{Ecalc} é a temperatura considerada para o cálculo (SOUZA, 2015).

$$L_{V_{mpp}} = ^{\circ}C_{V_{mpp}} \cdot T_{Ecalc} \quad (3.5)$$

Aplicando os valores na equação, encontra-se um $L_{V_{mpp}}$ de -24,6%, pois há perda de tensão. O novo valor desta tensão é calculado, então, pela Equação 3.6, onde, $R_{V_{mpp}}$ é a estimativa de rendimento mínimo da tensão em máxima potência em condições extremas de temperatura de operação, $L_{V_{mpp}}$ é a diferença entre a tensão e a máxima potência nominal. Substituindo os valores na equação, encontra-se 75,4%, portanto, o rendimento mínimo da tensão em máxima potência esperado é de 75,4% da tensão em condições STC que é de 30,4 V, assumirá o valor de 22,92V.

$$R_{V_{mpp}} = 100\% \cdot L_{V_{mpp}} \quad (3.6)$$

Para conhecer a corrente máxima de entrada compensada pelo fator temperatura, e assim, prever seu máximo valor para proteger a entrada do inversor, a Equação 3.7 é utilizada (SOUZA, 2015). Onde, L_{Isc} é a corrente compensada, C_{Isc} é o coeficiente da corrente de curto circuito, que é de 0.053%/°C, e T_{calc} é a temperatura máxima acima da temperatura STC, que é de 60°C. Aplicando valores chega se a um L_{Isc} de 3,18%, ou seja, a corrente de curto circuito passará de 9,12 A para 9,41 A.

$$L_{Isc} = C_{Isc} \cdot T_{calc} \quad (3.7)$$

A energia a ser compensada definida anteriormente é de 183,55 kWp, sendo dividida pelo valor da potência calculada por módulo 228,46 Wp, fazendo com que seja necessário a utilização de um sistema com 804 módulos fotovoltaicos. Na Tabela 9, estão resumidos, com a finalidade de obter um melhor entendimento, os dados calculados para os módulos fotovoltaicos e utilizados no dimensionamento dos inversores e demais componentes.

Tabela 9 – Resumo dos dados obtidos para um módulo CS6P-260P

Potência Máxima	228,46 Wp
Tensão Mínima	22,92 V
Tensão Máxima	40,67 V
Corrente Máxima	9,41 A

Fonte: O autor

3.3.2 Seleção e dimensionamento do inversor de frequência

O inversor para geração solar, a partir de uma fonte de energia em corrente contínua (C.C.), como módulos fotovoltaicos, converte esta energia em uma saída de corrente alternada (C.A.), com amplitude e frequência adequada. Se o inversor for conectado à rede elétrica, a tensão de saída do inversor é sincronizada automaticamente com a tensão de rede. Porém, não só a conversão, mas diversas tecnologias são incorporadas a um inversor, como seguidor de máxima potência (MPPT), função anti-ilhamento, entre outras. O primeiro, mecanismo que controla a maximização da potência, otimiza a eficiência do inversor, através de algoritmos de controle analógicos ou digitais controlando a curva característica tensão corrente dos painéis. Já a função anti-ilhamento, obrigatória para todos os inversores homologados, desliga o inversor logo após a não detecção de rede elétrica, para não colocar em risco pessoas que estiverem efetuando manutenção na rede elétrica. Estas e outras tecnologias garantem que a eficiência, entrada em operação e desligamento sejam feitas de maneira autônoma dispensando a presença de um operador para manobrar a usina fotovoltaica.

O inversor utilizado no projeto é o modelo SUNNY TRIPOWER 25000TL da SMA, por ser um inversor de fabricação contínua tem um valor atrativo, perante a unidades de condicionamento de tensão e corrente oferecidas em projetos especiais. De acordo com a potência máxima que os módulos fotovoltaicos fornecem, tensão e corrente anteriormente calculados, faz com que o inversor possa suportar até 114 placas, devido a limites de corrente e tensão em suas entradas. Analisando a Tabela 10, caso o valor da potência das placas na entrada do inversor esteja imediatamente acima do valor nominal, há um limite suportável para operação, uma vez que além das perdas existentes, as placas não operam todo o tempo em potência máxima (SMA SOLAR TECHNOLOGY AG, 2015).

Tabela 10 – Dados técnicos do inversor

(continua)

Dados Técnicos Sunny Tripower 25000 TL	
Entrada (DC)	
Potência Máxima (DC) ($\cos \varphi=1$)	25550 W
Máxima tensão de entrada	1000 V
Faixa de tensão MPPT	390 V – 800 V
Mínima Tensão de Entrada	150 V
Tensão Nominal	600 V
Máxima corrente de entrada inA/inB	33A/33A
Número de MPPT/string por MPPT	2/ A:3; B:3
Saída (AC)	
Potência Nominal	25000 W
Máxima potência aparente (AC)	25000 VA
Tensão Nominal (AC)	380 V
Máxima corrente de saída (AC)	36,2 A
Corrente nominal de saída (AC)	36,2 A

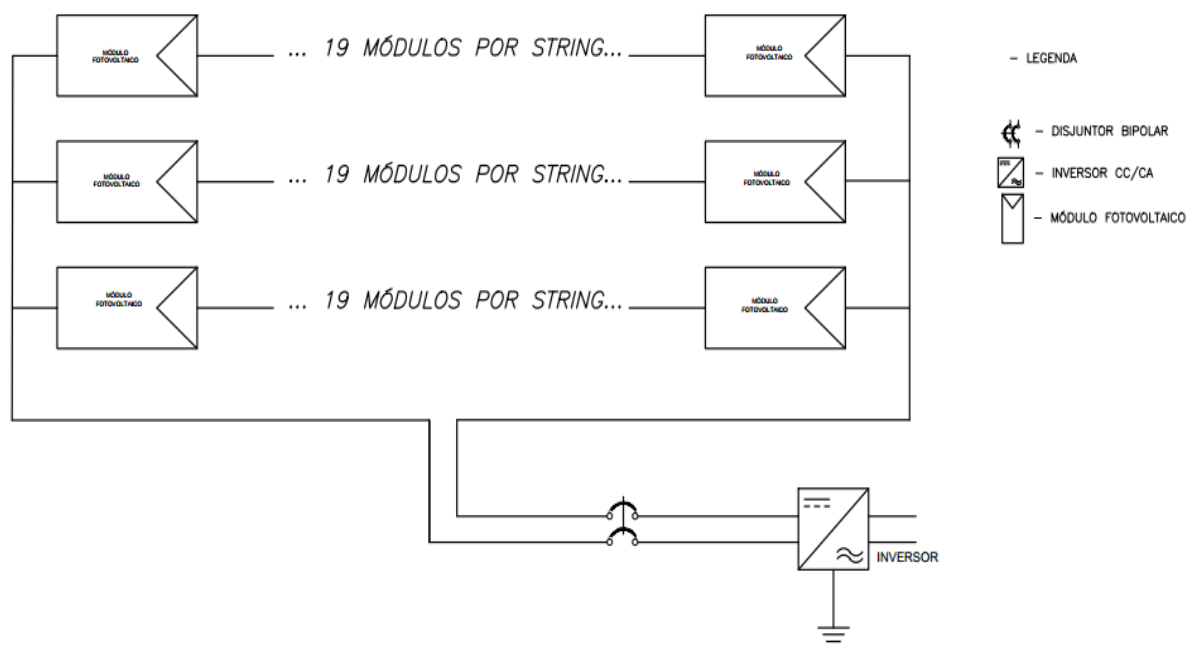
THD	Menor igual a 3%
Número de Fases	3
Eficiência	98,3%
Dados Gerais	
Dimensões (C/A/L) em mm	(661/682/264)
Massa	61 kg
Faixa de Temperatura de Operação	-25 °C a +60°C
Grau de Proteção (IEC 60529)	IP 65
Ruído	51 dB

Fonte: Sma Solar Technology Ag (2015)

3.3.3 Arranjo dos módulos condutores e conexões

No inversor escolhido, cada MPPT tem a capacidade de rastreamento eficiente de até 800 V, conforme observado na Tabela 10. Portanto, obtiveram-se 19 placas conectadas em série (*string*) totalizando 772,73 V por MPPT. Contudo, para um melhor aproveitamento do inversor, foram conectadas 3 *strings* em paralelo, totalizando 28,23 A de corrente máxima na entrada, conforme a Figura 10. Este projeto, contará com a utilização de 7 inversores, 6 recebendo uma potência máxima de aproximadamente 26 kW com tensão de arranjo em 1545,46 V e corrente de arranjo de 56,46 A, devido as duas conexões de entrada com o inversor, com 114 módulos fotovoltaicos, e 1 inversor com 120 módulos arranjados com 27415 W de potência, tensão de 1626,8 V e corrente máxima dos dois arranjos de 56,46 A totalizando os 804 módulos necessários.

Figura 10 – Arranjo dos painéis por entrada do inversor



Fonte: O autor

A energia gerada através dos módulos fotovoltaicos é levada até um quadro de paralelismo e sincronismo e direcionada para os inversores por condutores de cobre flexíveis. Os condutores utilizados, na parte de corrente contínua devem respeitar o valor abaixo de 4% de queda de tensão estipulado em norma (ABNT, 2004), ou 7% conforme alguns autores, valor este que fica em 3,62% conforme a Equação 3.8 (MAMEDE FILHO, 2012) onde, U é a queda de tensão no condutor, ρ é a resistividade do condutor, L é o comprimento do condutor I é a corrente do circuito e S a seção transversal do condutor. Para atender as exigências de emissão de corrente máxima de um arranjo do circuito que é de 28,23 A e o comprimento do condutor de 250 metros, que é o valor da distância do módulo mais distante da subestação elevadora, foi utilizado o condutor TECSUN PV da marca Prysmian, que foi construído para atender usinas de geração de energia fotovoltaica, tendo uma capacidade de corrente de 70 A e a resistividade de $0,00308\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, e seção de 6 mm^2 (PRYSMIAN, 2015).

$$U = \frac{\rho \cdot L \cdot I}{S} \quad (3.8)$$

A conexão entre os módulos é facilitada, pois o conector para interligação em série acompanham o módulo. A conexão em paralelo é feita através de conectores MC4 da marca Multi-Contact Figura 11, com tensão de isolamento de 1000 V e classificação IP67 adequado para aguentar diversas intempéries e exposição da instalação (MULTI-CONTACT, 2015).

Figura 11 – Conectores MC4



Fonte: Multi-contact (2015)

Na saída de corrente alternada (CA) que compreende o caminho dos inversores até um barramento central que levará cada fase para o transformador elevador os condutores são dimensionados de acordo com a Equação 3.9 (MAMEDE FILHO, 2012) onde I_L é a corrente de linha que se quer saber, P é a potência ativa transferida pelo inversor, V_L é o a tensão de linha e $\cos \phi$ é o fator de potência do circuito.

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos \phi} \quad (3.9)$$

Levando em consideração o fator de potência unitário que o inversor contempla, a corrente de linha máxima fica em 37,98 A podendo ser conduzida por um condutor de 6 mm² de secção (PRYSMIAN, 2015), a queda de tensão é desprezível pois o inversor deve ser alocado próximo ao transformador elevador. Já

a partir do transformador até o ponto de conexão em 13,8 kV, que está alocado a uma distância 100 metros, o condutor será o CABO EPRONAX SLIM 105 12/20 kV (EPRONAX, 2016) e terá secção de 25 mm² com queda de tensão de 0,41 % de acordo com a Equação 3.10 (MAMEDE FILHO, 2012) que calcula a queda de tensão em circuitos trifásicos. Em que ΔV_c é a queda de tensão, ρ é a resistividade do cobre $0,0178\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, L é o comprimento do condutor, I é a corrente que passa no circuito S é a seção do condutor e V_{Fase} é a tensão entre fases da instalação.

$$\Delta V_c = \frac{100 \cdot \sqrt{3} \cdot \rho \cdot (L \cdot I)}{S \cdot V_{Fase}} \quad (3.10)$$

3.3.4 Transformador elevador

Para ser conectada em rede de média tensão (MT), a potência passa em um transformador de 225 kVA, que eleva de 380 V para 13,8 kV e condiciona a geração para a rede de média tensão. Esse transformador atende a demanda e proporciona uma reserva de capacidade de aproximadamente 30 % no caso de um aumento na geração de energia elétrica. A marca escolhida foi a WEG e o modelo 225 tem suas características descritas na Tabela 11 (WEG, 2016).

Tabela 11 – Dados técnicos do transformador

Potência	225 kVA
Refrigeração	ONAN (Óleo Natural, Ar Natural)
Classe de Tensão	15 kV
Tensão Primária	13,8/13,2/12,6 kV
Tensão Secundária	280/220V
Primário	Triângulo (delta)
Secundário	Estrela com neutro acessível
Frequência Nominal	60 Hz
Perdas Totais	3260 W
Eficiência	98,55%
Impedância a 75 °C	4,5%

Fonte: WEG (2016)

A corrente de linha no primário do transformador é determinada pela relação de correntes e tensões, Equação 3.11. Onde: I_{L1} é a corrente do primário que se quer descobrir; a é a relação de transformação descrita pela razão da tensão do primário pelo secundário, e I_{L2} é a corrente no secundário. Como o transformador está sendo utilizado no sentido oposto com a corrente sendo injetada no secundário, considera-se o secundário como estrela e o primário como triângulo tendo uma corrente de linha para a rede de 12,64 A.

$$I_{L1} = a \cdot \sqrt{3} \cdot I_{L2} \quad (3.11)$$

3.3.5 Proteções do sistema e quadro geral de paralelismo

Para a saída em corrente alternada com tensão de 380 V de cada inversor, serão instalados disjuntores tripolares de 40 A modelo 3VL1704 - 2DD33-0AA0 da marca Siemens (SIEMENS, 2012), que atende a corrente máxima na saída do inversor de 37,98 A. Os 7 inversores são ligados em paralelo fazendo com que a corrente máxima de saída seja 265,16 A, portanto, se faz necessária a utilização de um disjuntor tripolar caixa moldada com corrente nominal ajustável de 250-315 A para proteção do circuito modelo 3VL4731 - 3DC36-0AA0 da marca Siemens (SIEMENS, 2012). Além disso, para isolar o transformador e realizar manutenções, será instalado um dispositivo seccionador de manobra 3NP43 70-0CA01 315A da Siemens que pode manobrar circuitos até 500 V. No Apêndice A é apresentado o diagrama unifilar da instalação.

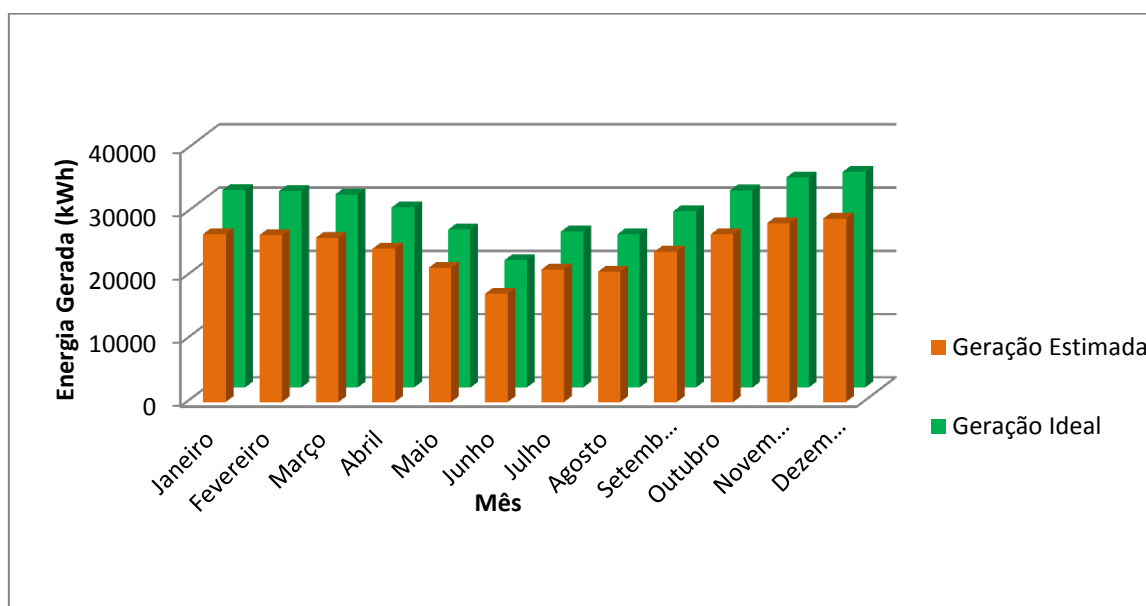
Após a transformação para conexão na rede de média tensão, há um disjuntor caixa moldada com corrente nominal ajustável 16 a 20 A da marca SIEMENS, uma vez que segundo a concessionária é obrigatório a utilização de um disjuntor que separe a instalação particular do acessante da rede de distribuição (CPFL, 2013). Ainda dentro da mesma linha é necessário uma chave fusível tripolar para seccionamento com abertura sob carga da marca Moran Elétrica de 15 kV 400 A, conforme Apêndice A.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Análise de geração e rendimento

O módulo fotovoltaico utilizado neste projeto fornece idealmente potência de 260 Wp, resultando uma capacidade de 209 kWp, o que representa a geração de energia de 28.471 kWh/mês. Porém, devido as perdas de temperatura, do rendimento dos inversores, que é de 98,3% e rendimento do transformador que é de 98,55%, a potência pico fica limitada em 177,94 kWp, resultando uma média geral de geração de 24.235 kWh/mês. Diferença que pode ser melhor visualizada na Figura 12.

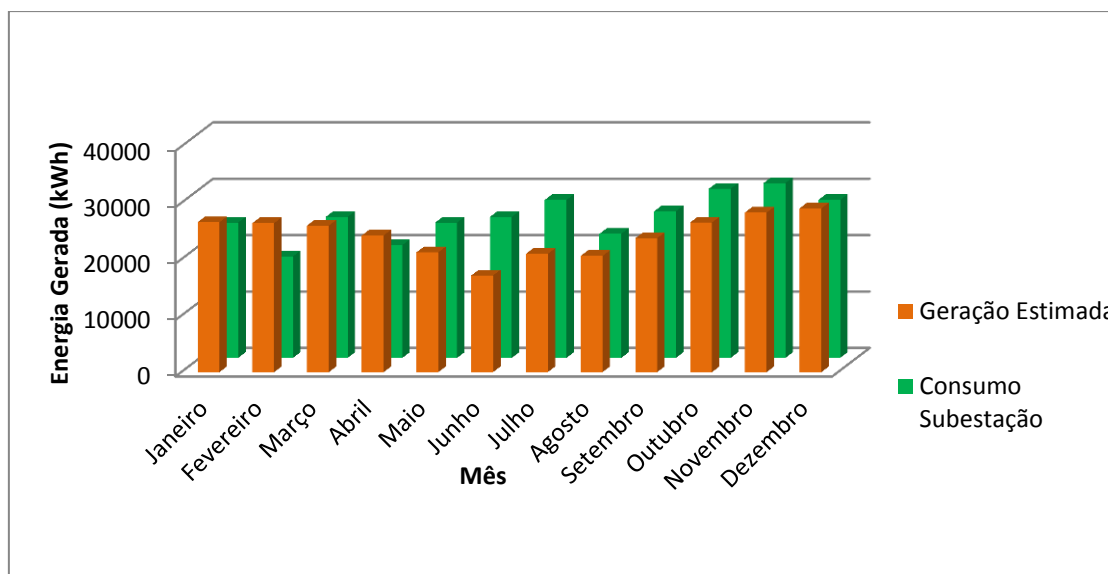
Figura 12– Geração ideal x geração estimada



Fonte: O autor

A geração média mensal atinge aproximadamente 97% do consumo da subestação SE 06, que serviu de referência para o dimensionamento, porém analisando os dados em cada mês com base no ano de 2015, observa-se uma diferença entre a geração e o consumo. Diferença que é suprida pela concessionária nos meses de maior consumo conforme Figura 13.

Figura 13 – Geração estimada x consumo da subestação



Fonte: O autor

3.4.2 Custo do sistema e tempo de retorno do investimento

A análise do custo de implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica se faz necessária uma vez que o sistema tem o objetivo de gerar uma economia mensal no consumo de energia elétrica. A Tabela 12 demonstra a média do custo para implantação, excluindo as instalações físicas como concretagem e estruturas metálicas, e também, a mão-de-obra especializada.

Tabela 12 – Custo dos produtos para implantação do sistema

Produto	Custo Unitário	Quantidade	Subtotal
Módulos Fotovoltaicos	R\$ 860,50	804	R\$ 691.842,00
Inversor	R\$ 27.000,00	7	R\$ 189.000,00
Condutor 6 mm ²	R\$ 3,50	4000 m	R\$ 14.000,00
Subestação 225 kVA (Turn key)	R\$ 65.000,00	1	R\$ 65.000,00
Conector MC4	R\$ 12,00	200	R\$ 2.400,00
Condutor 25 mm ²	R\$ 30,00	350	R\$ 10.500,00
Custo de Instalação	R\$ 20.000,00	1	R\$ 20.000,00
Custo Operacional (25 anos)	R\$ 40.000,00	1	R\$ 40.000,00
TOTAL			R\$ 1.032.742,00

Fonte: O autor

O tempo de retorno e as vantagens do investimento foram calculados levando em consideração uma vida útil média de 25 anos para a eficiência de geração dos módulos fotovoltaicos (CANADIAN SOLAR, 2016), sendo que a depreciação característica na eficiência é de 0,7% ao ano. A média de geração anual do sistema é de 24235 kWh mês, ou seja, o sistema vai gerar um valor em moeda corrente de R\$ 6897,28 mensais de acordo com o valor da tarifa paga pelo cliente no ambiente de contratação livre que é de aproximadamente R\$ 0,285.

Para o cálculo do tempo de retorno de investimento e para análise da viabilidade do projeto, foram utilizados os métodos do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR) e uma análise de *payback*. O VPL foi calculado, de acordo com a Equação 3.12 onde FC_n é o fluxo de caixa para um período n e PV_0 é o valor do investimento inicial (PEROTTONI, 2014).

$$VPL = \sum_{j=i}^n \frac{FC_n}{(1+i)^n} - PV_0 \quad (3.12)$$

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é obtida igualando o VPL a 0 e é definida como a taxa de desconto que iguala os fluxos de caixa ao investimento inicial e torna o investimento viável quando seu valor percentual fica acima do custo de oportunidade do investimento que é de 8,4% a.a. (PEROTTONI, 2014).

Para o investimento em questão o valor presente líquido fica em 1,26% e a taxa interna de retorno em 25 anos em 8,50% mostrando que o investimento é viável, além do tempo de retorno ter ficado em 157 meses, ou 13 anos e 1 mês, tendo ainda 11 anos e 11 meses de lucro. Para estes valores não foi levado em consideração os reajustes tarifários incidentes, pois o cliente é participante do mercado livre de energia e tem negociação diferenciada a cada contrato, renovados por 5 anos, não acompanhando as médias anuais de aumento na tarifação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi proposto um sistema de redução do consumo de energia elétrica na empresa Marcopolo S.A embasado no dimensionamento de um sistema fotovoltaico. Embora, o cliente esteja inserido no ambiente de contratação livre, o que significa uma energia contratada por um valor menor, o resultado obtido se mantém válido mesmo com o tempo de retorno de investimento maior.

A eficiência deste sistema não permite ainda a redução da demanda contratada da concessionária pela empresa, uma vez que o mercado tem uma movimentação rápida, nas demandas de fornecimento, podendo variar de forma abrupta o processo produtivo. Sabendo que a concessionária não permite as mudanças de demanda tão rapidamente, levando alguns meses para acolher as solicitações, solicita uma avaliação minuciosa de tal decisão.

Como trabalhos futuros, são sugeridos a implantação do sistema, uma avaliação prática realizando as medições do mesmo e uma comparação de eficiência com outras fontes de energias renováveis. Além disso, sugere-se ainda o cálculo da redução de CO² em sistemas fotovoltaicos considerando todos os fatores envolvidos desde a fabricação até a geração de energia.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11704**: Sistemas Fotovoltaicos - Classificação. Brasília: 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Registros de Micro e Minigeradores distribuídos efetivados na ANEEL**. Brasília. 2016. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/rcgMicro.asp>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa Nº 479**. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482**. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa Nº 687**. 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA MME. . **Energia Solar no Brasil e no Mundo**. 2015. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143612/24+++Energia+Solar+2014++Brasil+e+Mundo+\(PDF\)](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143612/24+++Energia+Solar+2014++Brasil+e+Mundo+(PDF))>. Acesso em: 29 mar. 2016.

BRASIL. Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia. Ministério de Minas e Energia (Ed.). **Resenha Energética Brasileira**: Exercício de 2014. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2015

BRASIL. Procel. Eletrobras. **Manual de Tarifação de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2011.

BRAUN-GRABOLLE, Priscila. **A integração de Sistemas Solares Fotovoltaicos em Larga Escala no sistema Elétrico de Distribuição Urbana**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, SC, 2010.

BRITISH PETROLEUM. **Statistical Review of World Energy**. Londres: British Petroleum, 2015.

CANADIAN SOLAR. Datasheet: **CS6P -260/265/270P**. Canada: Canadian Solar Inc., 2016.

CELESC (Santa Catarina). **Mercado Livre de Energia**. Disponível em: <<http://novoportal.celesc.com.br/portal/index.php/celesc-geracao/comercializacao/o-mercado-de-energia#>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

CPFL ENERGIA. **GED 033**: Ligação de Autoprodutores em Paralelo com o Sistema de Distribuição CPFL. São Paulo: Cpf, 2013. 33 p.

CPFL ENERGIA. **GED 15303**: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica. São Paulo: Cpf, 2016. 48 p.

CRESESB. . **Componentes de um sistema fotovoltaico**. 2014. Disponível em: <http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&task=print&cid=341>. RIO DE JANEIRO. Acesso em: 03 maio 2016.

CRESESB. . **Potencial Solar**. 2016. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. RIO DE JANEIRO. Acesso em: 27 maio 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Rio de Janeiro). Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2015**: Ano base 2014. Rio de Janeiro: Epe, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Ministério de Minas e Energia (Org.). **Consumo de Energia no Brasil: Análises Setoriais**. Rio de Janeiro: Epe, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Ministério de Minas e Energia (Org.). **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil: Condicionantes e Impactos**. Rio de Janeiro: Epe, 2014.

EPRONAX (São Paulo). **Cabos de Média Tensão: 3,6 kV ~ 35 kV**. 2016. Disponível em: http://www.induscabos.com.br/wp-content/uploads/2013/10/catalogo_media_tensao_pdf.pdf. Acesso em: 17 jun. 2016.

EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION ASSOCIATION (Belgica). **GLOBAL MARKET OUTLOOK: For Photovoltaics 2014-2018**. Bruxelas: Epia, 2014.

FEDRIGO, Natália Sens; GONÇALVES, Guilherme; LUCAS, Paulo Figueiredo. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro: Relatório de Iniciação Científica**. Florianópolis: 2009.

INMET INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. 1990. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 28 maio 2016.

INMETRO (Brasil). **Tabela de Eficiência Energética-Sistema de Energia Fotovoltaica: Módulos**. 2016. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf. Acesso em: 28 maio 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (França). **Energy Technology Perspectives 2012: Pathways to a Clean Energy System**. Paris: Iea, 2012.

JANNUZZI, Gilberto de Martino. **Uma Avaliação das Atividades Recentes de P&D em Energia Renovável no Brasil e Reflexões para o Futuro: Energy discussionpaper No. 2.64-01/03.** Campinas: International Energy Initiative, 2003.

KAUFMANN, Gustavo Vinícius. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA E ANÁLISE EM TEMPO REAL DA OPERAÇÃO DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO INSTALADO NA CIDADE DE LAJEADO/RS.** 2012. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Univates, Lajeado, 2012.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais.** 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012.

MULTI-CONTACT (Allschwil). **Connection systems and accessories for photovoltaics.** 2015. Disponível em: <[http://www.multi-contact.com/AcroFiles/Catalogues/PV_Solar_\(de-en\)_hi.pdf](http://www.multi-contact.com/AcroFiles/Catalogues/PV_Solar_(de-en)_hi.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2016.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos: INPE, 2006.

PEROTTONI, Ivanilde Boff. **Matemática Financeira.** Caxias do Sul: FTEC, 2014.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio (Org.). **MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.** Rio de Janeiro: Gtes, 2014.

PRYSMIAN (São Paulo). **Dimensionamento: Baixa Tensão.** 2015. Disponível em: <http://br.prysmiangroup.com/br/files/dimensionamento_bt.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2016.

SANTOS, F. H.; BUHLER, A. J. ; BAGGIO FILHO, N. F. ; ZAMBRA, D.A.B. . **A Importância da Determinação do Espectro da Radiação Local para um Correto Dimensionamento das Tecnologias de Conversão.** In: XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, 2015, San

Rafael. Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, 2015. v. 3. p. 11.61-11.72.

SOUZA, Ronilson di. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos**. São Paulo: Blue Sol, 2015.

SIEMENS (São Paulo). **Chaves Seccionadoras e Comutadoras**: Equipamentos de manobra e proteção. 2012. Disponível em: <https://w3.siemens.com.br/buildingtechnologies/br/pt/produtos-baixa-tensao/protecao-eletrica/Chaves-Seccionadoras/s31/Documents/Catalogo_Seccionadoras_JUN-12_net.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2016.

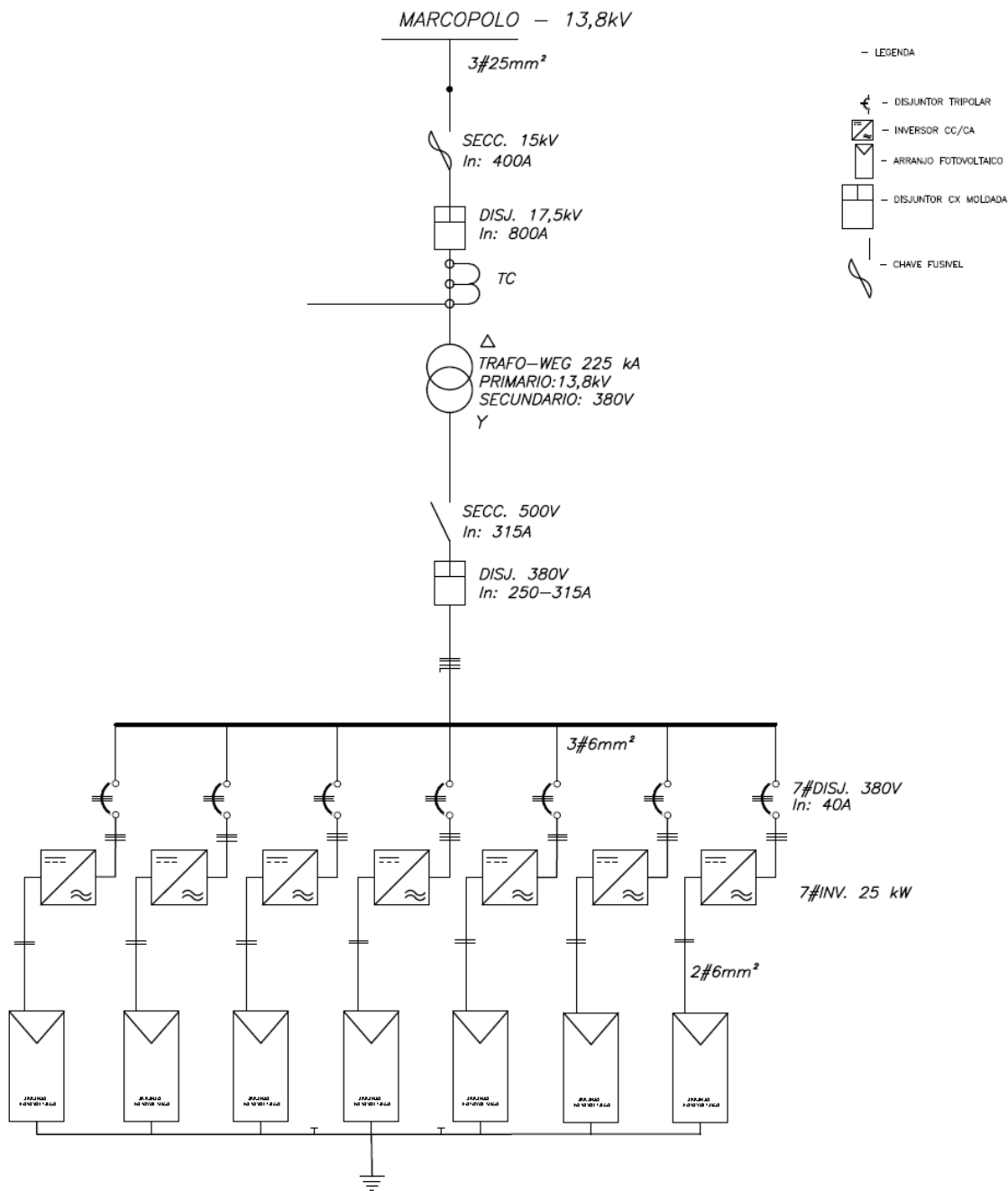
SIEMENS (São Paulo). **Disjuntores 3VL**: Manobra e proteções em instalações elétricas industriais. 2012. Disponível em: <http://w3.siemens.com.br/buildingtechnologies/br/pt/produtos-baixa-tensao/protecao-eletrica/disjuntores-acb/3wl/documents/fichas_tecnicas_disjuntores_3vl.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2016.

SMA SOLAR TECHNOLOGY AG (Argentina). **SUNNY TRIPOWER**: 20000TL/25000TL. 2015. Disponível em: <<http://www.sma-south-america.com/>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

TRENBERTH, Kevin E.; FASULLO, John T.; KIEHL, Jeffrey. **Earth's global energy budget**. **Bulletin of the American Meteorological Society**. 2009. Disponível em: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/Trenberth/trenberth.papers/TFK_bams09.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2016.

WEG (Santa Catarina). **WEG**: Transformadores. 2016. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_transf_ficha.asp>. Acesso em: 10 jun. 2016.

APÊNDICE A – DIAGRAMA UNIFILAR INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA



APÊNDICE B – TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS MÓDULOS



INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA
PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM



TABELA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA - MÓDULOS - Edição 01/2016

Informações:

Nº Empresas: 100
Nº de Modelos: 207
Nº de Módulos: 548

CLASSE	ÍNDICE DE MÓDULO		SÍLICO CRISTALINO			FILMESTRITOS		
	MÍNIMO	MÁXIMO	TOTAL	%	TOTAL	%	TOTAL	%
A	>= 11,8	<= 15,3	405	85,8	5	37,5	5	37,5
B	10,8 >> 11,8	8,8 >> 12,1	23	4,9	2	12,5	2	12,5
C	10,0 >> 10,8	7,9 >> 10,9	27	5,6	1	6,25	1	6,25
D	10,0 >> 11,0	6,5 >> 10,3	8	1,7	1	6,25	1	6,25
E	< 11,8	< 8,8	17	3,5	6	37,5	6	37,5
			530	100	16	100	16	100



Data de Atualização: 05/2016

Materiais: Silício Mono e Poli Cristalino

* Atenção: Esta tabela tem a função de facilitar a consulta dos interessados e comparação dos modelos etiquetados no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), mas a informação nela contida eventualmente fica desatualizada por alguns períodos e deve ser confirmada no site de produtos registrados, disponível em <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/reg/objetos.asp>. O banco de produtos registrados informa quais módulos estão devidamente registrados, ou seja, autorizados para fabricação, importação e comercialização no País.

EMPRESA	TIPO DE ENERGIA	TIPO DE MÓDULO	TÉCNICA	Wp	Wm	Wp/Wm	Wp/Wm (%)	Wp/Wm (Wp/Wm)	Wp/Wm (Wp/Wm)	Wp/Wm (Wp/Wm)	Wp/Wm (Wp/Wm)	Wp/Wm (Wp/Wm)	Wp/Wm (Wp/Wm)	Wp/Wm (Wp/Wm)	Wp/Wm (Wp/Wm)	Wp/Wm (Wp/Wm)	Wp/Wm (Wp/Wm)	Wp/Wm (Wp/Wm)	Wp/Wm (Wp/Wm)
BRACOLUS - EQUIPAMENTOS PARA ENERGIA LTDA	UF SOLAR	UF-M10P	Silício Poli Cristalino	1950	992	1,94	20,5	40	8,82	30,30	0,54	310	45	38,75	10,0	A	000752010	12/2016	
BRACOLUS - EQUIPAMENTOS PARA ENERGIA LTDA	UF SOLAR	UF-M10P	Silício Poli Cristalino	1956	992	1,94	20,5	40,2	8,90	30,50	0,53	315	45	39,37	10,2	A	000752016	12/2016	
BRACOLUS - EQUIPAMENTOS PARA ENERGIA LTDA	UF SOLAR	UF-M10P(W4)	Silício Poli Cristalino	1478	670	0,90	13	22,9	8,47	18,15	0,17	148	45	18,55	15,0	A	000752015	12/2016	
BRACOLUS - EQUIPAMENTOS PARA ENERGIA LTDA	UF SOLAR	UF-M10P(W16)	Silício Poli Cristalino	1000	998	0,99	13	22,67	8,30	18,08	0,32	450	45	18,78	15,2	A	000752010	12/2016	
BYD DO BRASIL LTDA	BYD	BYD25PFC-30	Silício Poli Cristalino	1940	992	1,63	18,9	37,78	8,91	30,13	0,30	250	45	31,25	15,4	A	008472014	5/11/2014	
BYD DO BRASIL LTDA	BYD	BYD25PFC-30	Silício Poli Cristalino	1940	992	1,63	18,9	38,07	8,80	30,40	0,30	255	45	31,88	15,7	A	008472014	5/11/2014	
BYD DO BRASIL LTDA	BYD	BYD26PFC-30	Silício Poli Cristalino	1940	992	1,63	18,9	38,38	8,67	30,67	0,40	260	45	32,51	16,0	A	008472014	5/11/2014	
BYD DO BRASIL LTDA	BYD	BYD26PFC-30	Silício Poli Cristalino	1956	992	1,94	22,4	46,08	9,07	30,61	0,56	315	45	39,38	16,2	A	003752015	17/6/2015	
BYD DO BRASIL LTDA	BYD	BYD130PFC-19	Silício Poli Cristalino	1482	676	1,00	8	20,96	8,00	18,30	7,98	130	45	16,28	13,0	C	0019842016	7/4/2016	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8P-20P	Silício Poli Cristalino	1938	992	1,61	19	38,60	9,46	29,80	7,90	235	45	29,45	14,6	A	002792013	10/1/2013	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8P-24P	Silício Poli Cristalino	1938	992	1,61	19	37,00	8,90	29,90	8,03	240	45	30,01	14,9	A	002792013	10/1/2013	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8P-24P	Silício Poli Cristalino	1938	992	1,61	19	37,10	8,74	30,00	8,17	245	45	30,64	15,2	A	002792013	10/1/2013	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8P-26P	Silício Poli Cristalino	1938	992	1,61	19	37,20	8,67	30,10	8,30	250	45	31,23	15,5	A	002792013	10/1/2013	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8P-24M	Silício Mono Cristalino	1938	992	1,61	19	37,30	8,46	30,20	7,95	240	45	30,01	14,9	A	0029172013	12/3/2013	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8P-24M	Silício Mono Cristalino	1938	992	1,61	19	37,40	8,61	30,30	8,09	245	45	30,64	15,2	A	0029172013	12/3/2013	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8P-25M	Silício Mono Cristalino	1938	992	1,61	19	37,50	8,74	30,40	8,22	250	45	31,24	15,5	A	0029172013	12/3/2013	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8K-27M	Silício Mono Cristalino	1950	992	1,94	18,2	38,20	9,18	31,10	8,67	270	45	33,70	16,5	A	004492016	29/1/2016	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8K-27M	Silício Mono Cristalino	1950	992	1,94	19,2	38,30	9,30	31,30	8,80	275	45	34,43	16,8	A	004492016	29/1/2016	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8K-26P-FG	Silício Poli Cristalino	1950	994	1,64	23	37,50	9,12	30,40	8,56	300	45	32,63	16,0	A	0009812016	29/1/2016	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8P-26P	Silício Poli Cristalino	1938	992	1,61	19	37,70	9,23	30,60	8,68	265	45	33,12	16,5	A	0009812016	29/1/2016	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8K-31P-FG	Silício Poli Cristalino	1972	995	1,96	27,5	45,10	9,18	30,80	8,91	315	45	39,38	16,0	A	0009812016	29/1/2016	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8K-31P	Silício Poli Cristalino	1954	992	1,62	22	45,10	9,16	30,80	8,91	315	45	39,38	16,4	A	0009812016	29/1/2016	
CANADIAN SOLAR BRASIL SERVICOS DE CONSULTORIA EM ENERGIA SOLAR LTDA	CAN/DKIN	C8K-32P	Silício Poli Cristalino	1954	992	1,62	22	45,30	9,26	30,90	8,99	320	45	39,67	16,7	A	0009812016	29/1/2016	
CANADIAN SOLAR BRASIL COMERCIALIZAÇÃO, INSTALAÇÃO E POSIÇÃO DE PAINÉIS SOLARES LTDA	Canadin Solar	C8K 31P	Silício Poli Cristalino	1954	992	1,62	22	44,90	9,08	30,40	8,82	310	45	38,77	16,2	A	0020112014	2/10/2014	
CEARA ENERGY GROUP INDUSTRIA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS LTDA	DAY 4	D4-M206-ECOPOWER150	Silício Poli Cristalino	1948	991	1,63	18,8	38,21	8,86	30,30	8,30	261	47	31,23	16,4	A	0061952016	9/11/2016	
DELTA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	SUNLIGHT PV	C110PFC-255W	Silício Poli Cristalino	1950	992	1,94	21	37,80	8,80	30,40	8,42	265	47	32,00	16,5	A	002292016	14/1/2016	
CHINT ENERGY BRASIL SOCIEDADE LTDA	A.STRONERGY	CHSM810M-270	Silício Mono Cristalino	1952	994	1,94	19,5	38,70	8,77	31,82	8,50	270	47	33,81	16,5	A	006202016	11/11/2016	
CHINT ENERGY BRASIL SOCIEDADE LTDA	A.STRONERGY	CHSM810M-275	Silício Mono Cristalino	1952	994	1,94	19,5	38,85	8,70	32,09	8,57	275	47	34,38	16,7	A	006202016	11/11/2016	
CHINT ENERGY BRASIL SOCIEDADE LTDA	A.STRONERGY	CHSM9810P-255	Silício Poli Cristalino	1952	994	1,94	19,5	38,40	8,80	30,85	8,33	255	43	31,61	16,5	A	0002342016	14/1/2016	
CHINT ENERGY BRASIL SOCIEDADE LTDA	A.STRONERGY	CHSM9810P-280	Silício Poli Cristalino	1952	994	1,94	19,5	38,43	8,72	31,05	8,37	260	43	32,46	16,8	A	0002342016	14/1/2016	