

**CENTRO UNIVERSITARIO UNIFACVEST  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**LUIS FELIPE CLAMER**

**ESTUDO SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UM  
ABATEDOURO ATRAVÉS DE PLACAS SOLARES  
FOTOVOLTAICAS**

**LAGES**

**2018**

**LUIS FELIPE CLAMER**

**ESTUDO SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UM  
ABATEDOURO ATRAVÉS DE PLACAS SOLARES  
FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao Centro Universitário UNIFACVEST  
como parte dos requisitos para a obtenção do  
grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof. Dra. Franciéli Lima de Sá

**LAGES  
2018**

LUIS FELIPE CLAMER

**ESTUDO SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UM  
ABATEDOURO ATRAVÉS DE PLACAS SOLARES  
FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao Centro Universitário UNIFACVEST  
como parte dos requisitos para a obtenção do  
grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof. Dra. Franciéli Lima de Sá

Lages, SC \_\_\_/\_\_\_/ 2018. Nota\_\_\_ \_\_\_\_\_

---

**LAGES**

**2018**

Monografia apresentada ao Centro Universitário Facvest – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Luis Felipe Clameres  
NOME DO ALUNO

Estudo sobre Eficiência Energética em um  
Abatedouro Através de Placas Solares  
Fotovoltaicas.  
TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

Francieli Lima de Sá, Dra  
Titulação e nome do Orientador(a)

Msc Silvio Moraes de Oliveira  
Titulação e nome do Avaliador (a).

Mônica N. de Silva, MSc.  
Titulação e nome do Avaliador (a).

Francieli Lima de Sá, Dra  
Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 11 de dezembro de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de primeiramente de agradecer a minha família que sempre me apoiou em todos os momentos, mesmo estando todos longe, um motivo a mais para mim querer continuar a estudar, a minha mãe por sempre estar preocupada se eu estava bem, se já tinha comido, a minha avó por sempre me ensinar a nunca desistir das coisas, ao meu pai que sempre me deu conselhos e me ensinou a ser essa pessoa disciplinada que sou hoje, agradecer a deus também que sempre me escutava nas melhores horas e nas piores, sem todas essas pessoas eu não estaria aqui fazendo o que mais gosto.

Os agradecimentos aos amigos e colegas da faculdade que sempre que quando eu tinha uma dúvida mandava uma mensagem pedindo ajuda e explicação, e eles estavam sempre ali prontos para ajudar, agradecer a todos os professores que passaram nessa jornada de 5 anos, pois sem eles não teria chegado até aqui.

Agradecer a família Toniollo que disponibilizou seu abatedouro para que eu pudesse fazer meu estudo, aos irmãos Broch que disponibilizaram os projetos elétricos, a empresa blue sol que me ajudou a tirar várias dúvidas sobre o meu TCC, especialmente ao Carlos Alberto Costa.

Por fim agradecer a cada um que acreditou em mim, que rezou por mim, que disse que eu chegaria até aqui, sem essas motivações tenho certeza que não estaria onde já cheguei e ainda posso chegar.

## RESUMO

Tendo em vista que no decorrer dos últimos anos essa tecnologia vem sendo cada vez mais estudada, a implementação desses sistemas está sendo cada vez mais comum em nosso dia a dia. O projeto tem como objetivo analisar o funcionamento e instalação de uma pequena central geradora solar fotovoltaica. Baseado nessa tecnologia promissora foi realizado neste trabalho um estudo de caso, com base em um abatedouro para a instalação dessa central, visando a eficiência energética através do dimensionamento dessa central geradora, tendo como maior objetivo a redução na tarifa de energia elétrica no final do mês e posteriormente com a própria redução na tarifa esse sistema se paga por si só. Outro aspecto que podemos ressaltar com esse projeto é a diminuição da poluição em nosso meio ambiente, por ser um meio de geração limpa e por não agredir o ecossistema, assim garantimos um futuro mais limpo e sustentável.

**Palavras-chave:** Central geradora. Eficiência. Redução. Meio ambiente.

## **ABSTRACT**

Considering that in the course of the last years this technology has been increasingly studied, the implementation of this system is day to day becoming more and more common. The project aims to analyze the operation and installation of a small photovoltaic solar power plant. Based on this promising technology, a case study was carried out in this work, based on a slaughterhouse for the installation of this plant, aiming at energy efficiency through the design of this generating plant, having as its main objective the reduction in the electric energy tariff in the end of the month and later with the reduction in the tariff, this system pays for itself. Another aspect that we can highlight with this project is the reduction of pollution in our environment, because it is a means of clean generation and for not attacking the ecosystem, thus guaranteeing a cleaner and more sustainable future.

**Key words:** Generating plant. Efficiency. Reduction. Environment.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Processos de interação da radiação solar com os principais constituintes atmosféricos. _____	20
<b>Figura 2:</b> Evolução da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica. _____	21
<b>Figura 3:</b> Maior ampliação de capacidade de geração de energia solar fotovoltaica em 2017. ____	22
<b>Figura 4:</b> Maior capacidade instalada de geração solar fotovoltaica em 2017. _____	22
<b>Figura 5:</b> Média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território Brasileiro. _____	24
<b>Figura 6:</b> Médias anuais e sazonais para a componente difusa do total diário da irradiação solar. _____	25
<b>Figura 7:</b> Distribuição das tecnologias utilizadas na fabricação industrial de células fotovoltaicas. _____	30
<b>Figura 8:</b> Modelos de módulos solares fotovoltaicos de c-Si com vários tamanhos e potências. _____	32
<b>Figura 9:</b> Placa de silício policristalino (p-Si.) _____	33
<b>Figura 10:</b> Painel de silício amorfo cristalino. _____	34
<b>Figura 11:</b> Placa de telureto de cádmio (CdTe). _____	35
<b>Figura 12:</b> Placa de Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS E CIGS). _____	36
<b>Figura 13:</b> Fixação com uso de parafuso prisioneiro com interface entre o trilho e a cobertura. _____	37
<b>Figura 14:</b> Fixação em telhas de barro usando gancho como interface entre o trilho e a cobertura. _____	38
<b>Figura 15:</b> Fixação para coberturas com telha de fibrocimento. _____	38
<b>Figura 16:</b> Fixação para coberturas metálicas. _____	39
<b>Figura 17:</b> Fixação em lajes de concreto. _____	40
<b>Figura 18:</b> Fixação no solo. _____	40
<b>Figura 19:</b> Inversores e métodos de funcionamento. _____	43
<b>Figura 20:</b> Sistema com inversor central, com conjunto de módulos fotovoltaicos junto com diodos de bloqueio de cada string, inversor e rede elétrica. _____	44
<b>Figura 21:</b> Sistema conectado à rede com inversores string, junto com módulos fotovoltaicos, inversores e a rede elétrica. _____	45



<b>Figura 22:</b> Modelo de sistema onde há uso de transformador. _____	48
<b>Figura 23:</b> Inversor fotovoltaico para conexão à rede sem uso de transformador. _____	49
<b>Figura 24:</b> Esquema de proteção para SFCRs. _____	51
<b>Figura 25:</b> Modelo de chave seccionadora. _____	52
<b>Figura 26:</b> Modelo de disjuntor. _____	52
<b>Figura 27:</b> Modelo de DPS. _____	53
<b>Figura 28:</b> Aterramento das hastes. _____	54
<b>Figura 29:</b> Aterramento completo das estruturas. _____	55
<b>Figura 30:</b> Cálculo no plano inclinado do município. _____	57
<b>Figura 31:</b> Tipos de bandeiras tarifárias. _____	58
<b>Figura 32:</b> Valores do payback descontado. _____	66
<b>Tabela 1:</b> Tabela de eficiência das células fotovoltaicas em diferentes planos de comparação. .....	31
<b>Tabela 2:</b> Comparação entre as características dos inversores para conexão à rede com e sem transformador. ....	48
<b>Tabela 3:</b> Consumo médio mensal do local.....	59
<b>Tabela 4:</b> Previsão anual de geração de energia elétrica produzida pelo sistema solar fotovoltaico.....	61
<b>Tabela 5:</b> Descrição de materiais e preços dos serviços comercializados.....	62
<b>Tabela 6:</b> Fluxo de caixa do investimento do sistema.....	64

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA:.....	13
1.3 APLICAÇÃO:.....	14
2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	17
2.1 ESTADO DA ARTE.....	17
3. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	30
3.1 TIPOS DE CÉLULAS.....	31
3.1.1 Silício cristalino (c-Si).....	31
3.3 Módulo fotovoltaico silício policristalino (p-Si).....	33
3.1.4 Silício amorfo hidrogenado (a-Si).....	34
3.5 Telureto de cádmio (CdTe).....	35
3.6 Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS E CIGS).....	36
3.7 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	36
3.7.3 Estrutura de fixação para coberturas metálicas.....	39
3.7.4 Estrutura para fixação em lajes de concreto.....	40
3.7.5 Estrutura para fixação no solo.....	40
4. CONVERSOR DE POTÊNCIA.....	41
4.1 INTRODUÇÃO.....	41
4.3.1 SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede) com inversor central.....	44
4.3.2 SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede) com inversor string.....	45
5. SEGURANÇA E PROTEÇÃO DAS INSTALAÇÕES.....	50
5.1 INTRODUÇÃO.....	50
5.2.1 Chave seccionadora sob carga.....	52
5.2.2 Disjuntor.....	52
5.2.3 Dispositivo de proteção contra surtos (DPS).....	53
6. ESTUDO DE CASO.....	56

6.2 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO ESTUDO .....	56
6.2.1 Potencial solar do município .....	56
6.2.2 dados do local de implantação do estudo .....	57
6.3 COLETA DOS DADOS TÉCNICOS .....	58
6.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA CONFORME AS NORMAS DA ANEEL ...	59
6.6 MÉTODO DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA.....	60
Fonte: Autor (2018).....	66
7. CONCLUSÃO.....	67
8. REFERÊNCIAS .....	68

## 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento contínuo da população brasileira e mundial, o consumo dos bens finitos como os combustíveis fósseis e outros bens extraídos da natureza para a geração de energia elétrica, estão cada vez mais escassos. Com isso, aumentou a preocupação de encontrar novos meios de geração de energia, meios os quais não gerem poluição ao meio ambiente e ao mesmo tempo sejam sustentáveis e usem formas limpas de geração. É nesse cenário onde se necessita da energia solar fotovoltaica, como uma forma de substituir as fontes de geração que agredem o meio ambiente. Assim com o objetivo de não só suprir as necessidades, mas também traz novo modelo de geração com vantagens sobre as atuais formas de geração de energia elétrica mundial.

O presente estudo justifica-se pelo fato do nosso planeta estar sofrendo com vários problemas. Um deles e não menos importante é a escassez dos recursos fósseis e hídricos. Isso tem despertado o interesse de pesquisadores em estudar outros meios de geração de energia elétrica.

Será mostrado a aplicação através de uma pequena central geradora solar fotovoltaica, onde podemos reduzir os gastos com a conta de energia elétrica, não só com a redução dos gastos na fatura no final do mês, como também esse investimento trará lucros a longo prazo fomentando ainda mais o incentivo de implantação desse sistema tanto em nossas residências, mas também para aqueles que possuem empresas onde também será um grande negócio, pois quanto maior o investimento seu retorno financeiro será menor ainda, assim a margem de lucros e retorno acaba sendo mais vantajosa do que em uma residência, que por exemplo o consumo será menor e seu retorno financeiro será um pouco mais estendido, mas mesmo assim haverá um retorno dos investimentos em poucos anos. E ainda não menos importante é a vantagem de sabermos que estamos ajudando o meio ambiente e garantindo um futuro limpo para todos nós.

O presente estudo apresentará uma parte histórica de como surgiu essa tecnologia, os métodos de produção e incentivo, métodos de instalação e ligação do sistema a rede elétrica, os modelos de placas conhecidos no mercado, como também sua eficiência que cada modelo apresenta. Os incentivos para a mini geração e micro geração também são pontos que vamos discutir durante o decorrer do trabalho, os cuidados básicos de manutenção também são pontos importantes que estará sendo estudado no decorrer dos capítulos e por fim será realizado uma análise de campo para obtenção dos dados para ter início uma análise para projetar o sistema e

com isso mostrar o real significado do estudo, ou seja, a viabilidade de implantação do sistema solar fotovoltaico interligado a rede elétrica e seu tempo de retorno de investimentos ao longo da vida útil do sistema.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 GERAL:

Esse estudo tem o objetivo de demonstrar a aplicação e as vantagens de implantação de um sistema de geração solar fotovoltaica, tendo como foco principal a viabilidade de instalação e retorno de investimentos durante o tempo de vida útil do sistema.

### 1.1.2 ESPECÍFICOS:

- Analisar o crescimento sobre os estudos sobre a implantação do sistema on-grid.
- Demonstrar as vantagens que um sistema solar fotovoltaico pode trazer ao consumidor, pois com um sistema deste ele é capaz de gerar eletricidade e seu excedente ser injetado na rede elétrica, gerando assim créditos para o consumidor que não só vai ter seus gastos reduzidos, mas estará recebendo créditos por disponibilizar seu excedente para a empresa de energia elétrica.
- Vale ressaltar que esse é um projeto apenas de estudo de caso e viabilidade de instalação, não será feito projeto elétrico para o estudo em questão e sim apenas algumas análises para que futuramente com esses resultados possa ser implementado o projeto.

## 1.2 JUSTIFICATIVA:

O presente trabalho traz como justificativa, abordar o quão importante é o uso de meios alternativos de geração de energia, uma prática cada vez mais comum entre pesquisadores é a de encontrar métodos para substituir meios de produção de energia que agridem o meio ambiente em que vivemos por meios e métodos que não tragam tantos impactos ao nosso ecossistema, foi com isso que veio a ideia de mostrar o estudo e implantações de placas solares como meio alternativo de geração de energia.

Um método ainda crescente em com vários estudos que mostram os benefícios desse sistema em nosso país e no mundo a fora, ainda assim por suas instalações serem relativamente caras, mas ainda assim despertando o interesse por esse novo meio de produção de energia, ela por si só já traz alguns benefícios, como não agredir o meio ambiente, ter uma vida útil de aproximadamente 25 anos, com baixo custo de manutenção e ocupar pouco espaço para sua instalação. Uma novidade para quem quer adquirir esse sistema é a nova regra que o banco BNDES disponibilizou para o investimento em sustentabilidade e economia de energia, uma das vantagens é que até 80% dos itens podem ser financiáveis, podendo estes chegar até R\$ 30 milhões a cada 12 meses por beneficiário, outro ponto importante desse incentivo é que pessoas físicas e jurídicas podem usufruir desse benefício, ou seja, desde empresas, produtores rurais ou até mesmo prefeituras. Disponível em:

<<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-muda-regra-e-pessoas-fisicas-podem-investir-em-energia-solar>> acesso em: 13 set.2018.

Tendo todas essas vantagens e conhecimentos sobre o assunto, foi realizado um levantamento em um determinado local, onde constou que em suas contas de energia elétrica um consumo elevado, e com o crescente aumento nas tarifas de energia, a melhor maneira de amenizar esses gastos elevados seria a instalação de um sistema de geração fotovoltaico, assim com esse sistema implantado, será possível uma diminuição na conta no final do mês e dependendo da época do ano, essa conta será anulada pela vantagem de que o excedente pode ser injetado na rede da concessionária assim gerando créditos ao consumidor e anulando quaisquer gastos com a tarifa de energia.

### 1.3 APLICAÇÃO:

A aplicação desse estudo se dá em abatedouro, sendo instalado no local um sistema solar fotovoltaico, esse buscando demonstrar que com essa aplicação podemos gerar nossa própria energia elétrica. Também entrando em conjunto a análise do consumo mensal e anual do local da implantação, podendo assim possibilitar a obtenção de dados para o cálculo dos gastos do sistema solar fotovoltaico.

Aplicando métodos de análise de dados sobre o sistema, poderemos obter os gastos totais com os investimentos, e assim fazer um comparativo de retorno do que foi gasto com materiais,

projeto, mão de obra e eventuais manutenções no decorrer da vida útil do sistema solar fotovoltaico.

#### 1.4 METODOLOGIA

O estudo da viabilidade econômica do projeto se dá em um abatedouro, depois de uma breve análise sobre o possível local de instalação da central geradora, optou-se por fazer a instalação da mesma na parte superior do abatedouro, por ser um local onde a incidência de raios solares é de mais fácil acesso e ainda por o espaço ser grande e livre de qualquer sombreamento durante o dia para a geração de energia elétrica.

Assim depois de escolhido o local para a implantação do projeto é hora de fazer uma análise mais profunda para saber quanto é o gasto mensal do abatedouro e o gasto anual e logo em seguida o cálculo de dimensionamento do sistema. Um dos passos a seguir para obtenção dessas informações é análise da conta de energia elétrica do cliente, com ela podemos retirar os dados que precisamos, que nesse caso seria o consumo mensal do local e também a média do consumo anual, seguindo os métodos de dimensionamento do sistema o próximo passo é a análise feita através da capacidade nominal de condução de corrente do dispositivo de proteção geral a unidade (40 A), esse multiplicado pela tensão nominal do sistema (trifásico 380V). O motivo para esse estudo se dá pelo fato de que através disso o levantamento de potência do sistema fica mais preciso para saber o real tamanho que será a central geradora e quantas placas serão utilizadas para a instalação, pois cada placa tem uma determinada capacidade de geração, outro fator que influencia é o levantamento de carga do local, por ser um abatedouro e possuir vários motores é preciso fazer esse levantamento para ter uma exata ideia de como projetar essa central geradora, pois quanto mais perto chegar de um valor exato, mais bem feito será o projeto de dimensionamento do sistema. Sendo que a análise desse sistema será considerada a projeção de um sistema conectado à rede (SFRC), ou seja, trabalha em paralelo a rede elétrica da distribuidora.

Após essa análise de potência do sistema, é realizado o levantamento para saber a incidência de radiação solar no local da instalação, essa análise é obtida através de um site (<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>), do qual coloca-se as coordenadas geográficas do local escolhido e o mesmo lhe apresentará os dados sobre a radiação incidente naquele local, sendo assim é possível calcular quantos KW sua central geradora produzira por mês e anualmente. Feito esse levantamento e descoberto o valor total do sistema de geração

fotovoltaica, é hora de calcular o investimento e em quanto tempo o sistema começará a trazer os benefícios financeiros, que nesse caso é o foco do estudo, os cálculos básicos para obtenção desses valores são baseados em:

- Taxa mínima de atratividade (TMA): é a taxa mínima que um investidor se propõe a pagar ou receber pelo montante investido ou aplicado em determinado bem. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/taxa-minima-de-atratividade-tma/>> Acesso em: 08 out. 2018
- Valor presente líquido (VPL): pode ser interpretado como uma medida do valor presente da riqueza futura gerada pelo projeto. (PUCCINI. 2011).
- Taxa interna de retorno (TIR): é a taxa de desconto que iguala o valor dos fluxos de caixa futuros ao investimento inicial (Rabuske et al., 2016).
- Payback descontado: corresponde ao período ao qual deverá ser esperado para que se obtenha retorno do investimento, muitas vezes conhecido com período de recuperação (Rabuske et al., 2016).

Baseado em métodos utilizados no mercado financeiro, podemos chegar a valores mais precisos nos investimentos para geração de energia solar fotovoltaica.



## 2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

### 2.1 ESTADO DA ARTE

Energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da incidência dos raios solares nas células fotovoltaicas, dispositivo esse fabricado com material semicondutor, componente fundamental no processo de conversão, com esse efeito fotovoltaico teremos a conversão de energia solar em energia elétrica.

Esse termo assim chamado “fotovoltaica” origina-se da fusão entre as palavras foto, que em grego significa luz, e voltaica derivada da unidade de tensão elétrica designada volts. (PINHO E GALDINO, 2014).

A história sobre esse efeito teve início em 1839 por Edmond Becquerel, onde o mesmo observou a descrição do efeito fotovoltaico, como descreve esse efeito implica-se no aparecimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz.

Um dos lugares onde ocorreu a busca dessa tecnologia foi no setor de telecomunicações, onde seriam instaladas fontes de energia em locais mais remotos, e um dos mais importantes impulsos foi a chamada “corrida espacial”. Onde segundo Pinho e Galdino (2014), a célula fotovoltaica era, e continua sendo, o meio mais adequado (menor custo, peso e segurança) para fornecer a quantidade de energia necessária para longos períodos de alimentação de equipamentos eletrônicos no espaço.

Desde que as primeiras células fotovoltaicas surgiram, ainda com seus elevados custos, sendo utilizadas na geração de energia elétrica para os satélites que orbitam nosso planeta, essa tecnologia evoluiu a tal ponto em que suas aplicações começaram a se disseminar em aplicações terrestres, pois se tornou economicamente viável a sua utilização principalmente em pontos que a rede elétrica não tinha sido estendida. (RUTER, 2004).

Em meados de 1980, começou um amadurecimento industrial voltado às placas solares, pois os custos de fabricação começaram a reduzir. Assim essas novas tecnologias começaram a emergir e sair das universidades e centros de pesquisa e entrarem em uma fase de pré-comercialização, crescendo o número de fabricantes e investidores. Com todo esse crescimento nos anos de 1990, surgiram as necessidades de aperfeiçoamento de seus componentes como inversores e dispositivos de rastreamento da trajetória do sol.

Ainda por volta de 1980, as primeiras instalações de grande porte surgiram em países desenvolvidos onde o objetivo era avaliar seu desempenho em duas aplicações distintas: em operação modular para abastecimento do sistema nos horários de pico e como fonte de geração distribuída para reduzir as perdas de transmissão e distribuição. Assim pode-se observar que essas opções se mostraram muito atrativas, pois eram fáceis de combinar aos módulos para criar uma planta de geração de potência que poderia se conectar à rede.

Outra aplicação descoberta em 1990 foi a construção de sistemas fotovoltaicos integrados a arquitetura das construções (fachadas, janelas e telhados) em casas ou até mesmo em indústrias que podem ou não estar conectadas a rede elétrica. Isso apresentava não só uma vantagem na redução de custos, mas também em atender as exigências de área.

Energia solar fotovoltaica consiste basicamente na geração de energia elétrica em corrente contínua (CC) a partir de semicondutores sendo esses iluminados por fótons presentes da radiação solar. A partir do momento em que ocorre a incidência dos raios solares na célula (nome dado a cada elemento individual do sistema fotovoltaico), ocorre a conversão de energia, em alguns casos como a noite ou em condições de dias nublados esse processo diminui ou chega até mesmo a ser zero. As células mais conhecidas têm suas medidas aproximadas de 100 cm<sup>2</sup> de área e produzem 3 ampères de corrente a 0,5V. As células podem ser combinadas de duas maneiras, sendo elas em série ou paralelo, formando módulos, para aumentar a corrente e a tensão, com valores de potência típicos entre 50-200 W. Com a combinação dos outros componentes do sistema (inversores, componentes elétricas e baterias), temos um sistema fotovoltaico.

Ainda com custos elevados comparados as fontes convencionais, essa tecnologia de produção de energia elétrica recebe uma grande quantidade de investimentos em pesquisa, desenvolvimento e demonstração, cujo objetivo é a redução de custos. Esta tecnologia está cada vez mais comum em nosso dia a dia, ou seja, está cada dia mais ganhando espaço no mercado e gerando aceitação do público em geral por ser considerada não agressora ao meio ambiente. (CEMIG, 2012).

## 2.2 RECURSO SOLAR

Sendo um dos recursos mais valiosos do ser humano, o sol é uma fonte de energia que abastece a terra, sendo ainda responsável pela origem de quase todas as outras formas existentes de energia. Conforme CEMIG (2012), a energia proveniente do sol aquece a atmosfera de forma

desigual, gerando a circulação atmosférica e o ciclo das águas, de modo que os ventos são aproveitados nos parques eólicos e o represamento possibilita a geração hidrelétrica.

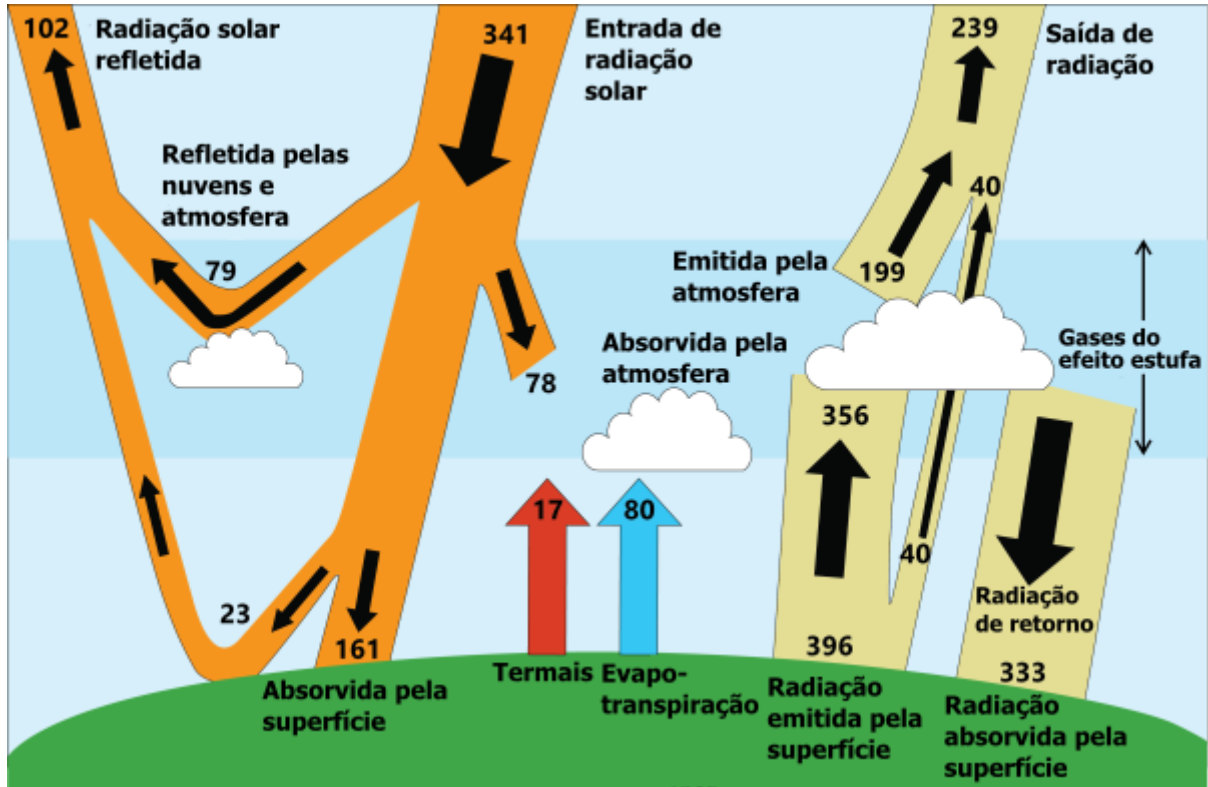
Encontrada na faixa de comprimento de onda a radiação solar pode estar entre 0,1 e 3,0  $\mu\text{m}$ , também denominada como banda solar. Conforme mostra a Figura 1, os fatores que influenciam é a disponibilidade de radiação solar, pois temos que considerar as condições atmosféricas tais como (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), e também deve se considerar a latitude local e a disposição do tempo (hora do dia e dia do ano). Essas influências são causadas pela inclinação do eixo imaginário em torno do qual a terra gira diariamente (movimento de rotação) e sua trajetória elíptica que a terra descreve ao redor do sol. Com isso a duração do chamado dia solar vai depender do período de visibilidade do sol ou claridade, que varia de períodos do ano e de região para região, sendo ele de zero quando o sol está abaixo da linha do horizonte o dia todo, e chega a 24 horas quando o sol sempre está acima da linha do horizonte.

Assim podendo-se observar que as variações são mais intensas nas regiões polares e nos períodos de solstício. A radiação ao atravessar a atmosfera, sofre processos físicos de espalhamento e absorção com os constituintes atmosféricos e a superfície do planeta. A reflexão das nuvens, partículas atmosféricas, gases e a superfícies da terra refletem cerca de 30% da radiação incidente no topo da atmosfera terrestre, sendo assim restam 70%, os quais são absorvidos, assim causando a evaporação de água conhecido também como calor latente ou convecção.

Conforme descreve Pinto (2014):

“A energia absorvida pelo sistema Terra-atmosfera é reemitida na faixa do infravermelho do espectro de radiação eletromagnética 4 a 100  $\mu\text{m}$ , sendo 6% provenientes da superfície, e 64% com origem em nuvens e constituintes atmosféricos.”

**Figura 1:** Processos de interação da radiação solar com os principais constituintes atmosféricos.



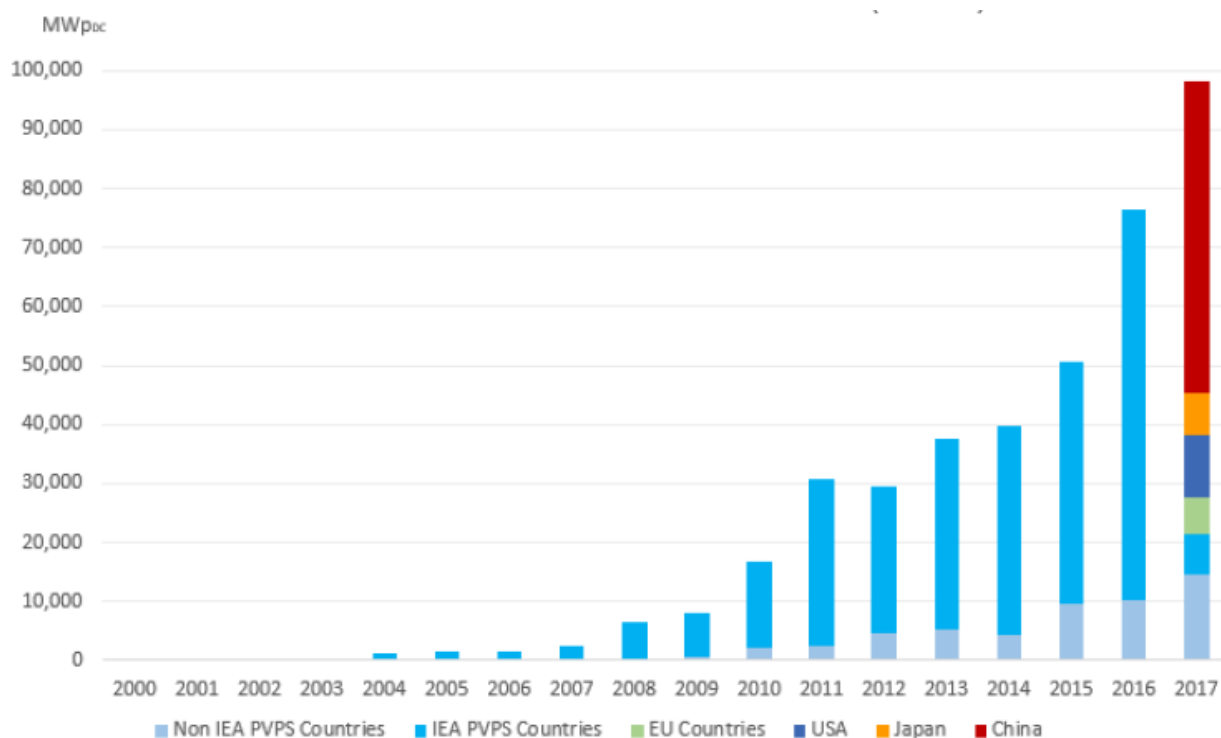
Fonte: <<https://medium.com/@paulobuchsbaum/aquecimento-global-para-leigos-70f3970d9617>>. Acesso em: 13 set. 2018.

### 2.3 POTENCIAL ENERGETICO MUDIAL

Um mercado ainda em crescimento, os sistemas fotovoltaicos vêm se mostrando atraentes nos últimos anos, conforme relada a (IEA) mercado fotovoltaico vem quebrando vários recordes e continuou sua expansão global atingindo quase o limite de 100GW. Comparado ao limitado desenvolvimento sofrido em 2014 e um lento crescimento de 25% em 2015, mas aos poucos o mercado continuou seu crescimento.

Um dos principais contribuintes para esse crescimento foi a China, cujo desenvolvimento fotovoltaico esta representa em 54% da capacidade total instalada em 2017, mais que em 2016, conforme a figura 2 representa esses dados.

**Figura 2:** Evolução da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica.













Fonte: IEA (2018).

Depois das grandes baixas no mercado fotovoltaico o mercado chinês se estabilizou em 2014, e começou a crescer e passou de 15,2 GW em 2015 para 34,4 GW em 2016 e ainda mais em 2017 chegando a marca dos 53 GW de ampliação de capacidade de geração. Nas Américas houve uma baixa na produção, os EUA em 2017 sua capacidade de ampliação chegou a de 10,6 GW, logo depois dos EUA vem a Índia com 9,1 GW de capacidade ampliação, essa capacidade se dá por esses países possuírem baixos custos nos seus painéis fotovoltaicos em consequência disso vem uma maior produção dessa material.

Passando a liderar em 2017 o mercado de produção de energia solar fotovoltaica, a China ficou em primeiro lugar com 131GW de capacidade de produção instalada, seguida pelos EUA com 51 GW e em terceiro o Japão com 49 GW de capacidade de produção instalada. Conforme mostra as Figuras 3 e 4, segue o top 10 dos países com maior ampliação de capacidade de geração de energia fotovoltaica e maior capacidade instalada de FV em 2017.











**Figura 3:** Maior ampliação de capacidade de geração de energia fotovoltaica em 2017.

1		China	53 GW
2		USA	10,6 GW
3		India	9,1 GW
4		Japan	7 GW
5		Turkey	2,6 GW
6		Germany	1,8 GW
7		Australia	1,25 GW
8		Korea	1,2 GW
9		UK	0,9 GW
10		Brazil	0,9 GW

Fonte: IEA (2018).

O Brasil se encontra em décimo lugar por o motivo de que quase todo o material disponível para a montagem dos sistemas solares vem de outros países isso encarece muito o preço na hora de fazer a aquisição desses produtos.

**Figura 4:** Maior capacidade instalada de geração fotovoltaica em 2017.

1		China	131 GW
2		USA	51 GW
3		Japan	49 GW
4		Germany	42 GW
5		Italy	19,7 GW
6		India	18,3 GW
7		UK	12,7 GW
8		France	8 GW
9		Australia	7,2 GW
10		Spain	5,6 GW

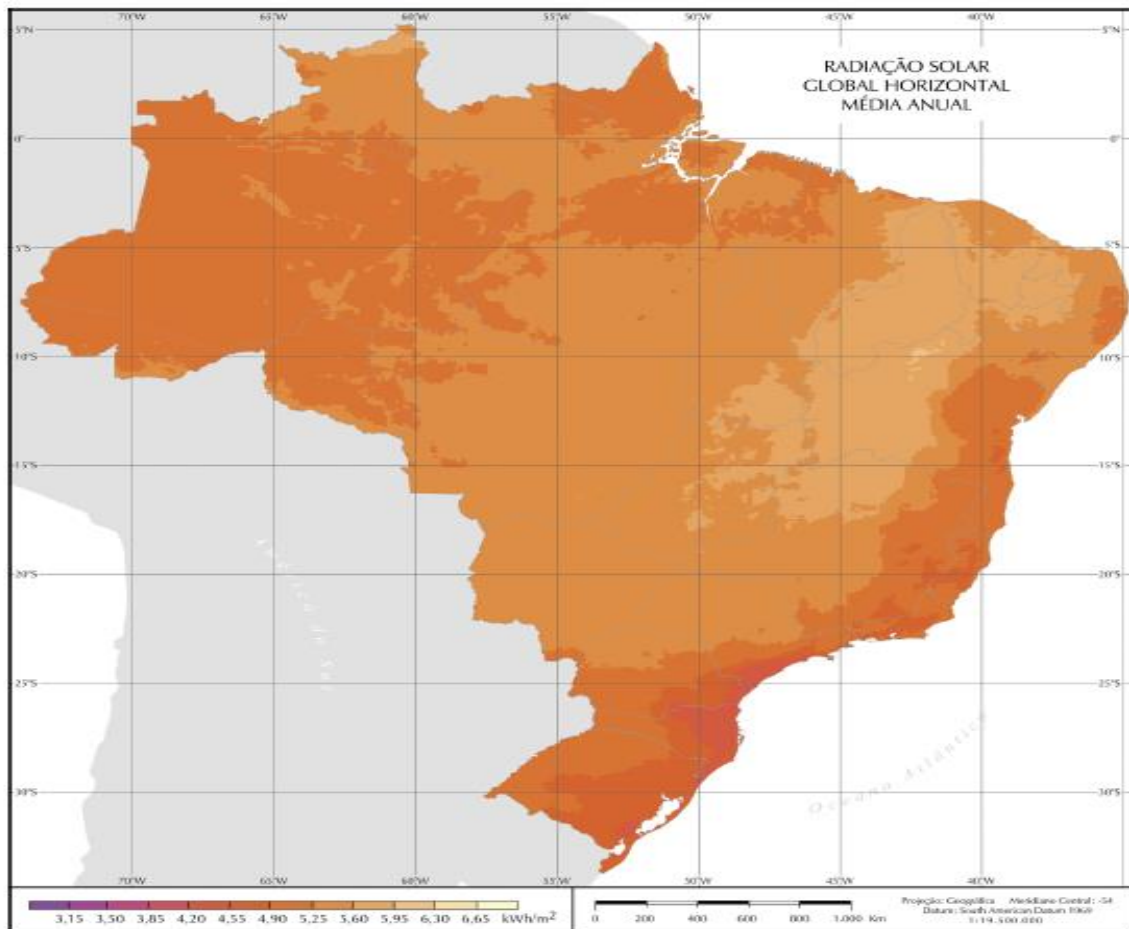
Fonte: IEA (2018).

## 2.4 RADIAÇÃO SOLAR NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

O Brasil possui grande potencial de energia solar durante todo o ano por ser situado a maioria do seu território em uma região intertropical. Assim até as regiões onde recebem menos radiação solar possuem um potencial de geração ainda consideráveis, ainda assim sua utilização é muito pouco comparada ao grande potencial existente. Apesar das grandes diferenças climáticas no Brasil, podemos observar que a média anual de irradiação é relativamente alta em todo país, onde encontramos o valor máximo de irradiação no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí chegando a 6,5 kWh/m<sup>2</sup>. Essa área apresenta um clima semiárido com baixos níveis de chuva durante o ano. A menor radiação solar fica localizada no litoral norte de Santa Catarina, suas baixas irradiações anuais se dão pelo motivo de a região receber precipitações bem distribuídas chegando a 4,25 kWh/m<sup>2</sup>.

Comparado a outros países os valores de irradiação solar global incidente em nosso país chegam a (1500-2500 kWh/m<sup>2</sup>), sendo que na União Europeia, como Alemanha chegam a (900-1250 kWh/m<sup>2</sup>), França (900-1650 kWh/m<sup>2</sup>), e Espanha (1200-1650 kWh/m<sup>2</sup>), sendo que os incentivos governamentais são fortes e amplamente disseminados. As Figuras 5 e 6 mostram a média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro.

**Figura 5:** Média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território Brasileiro.

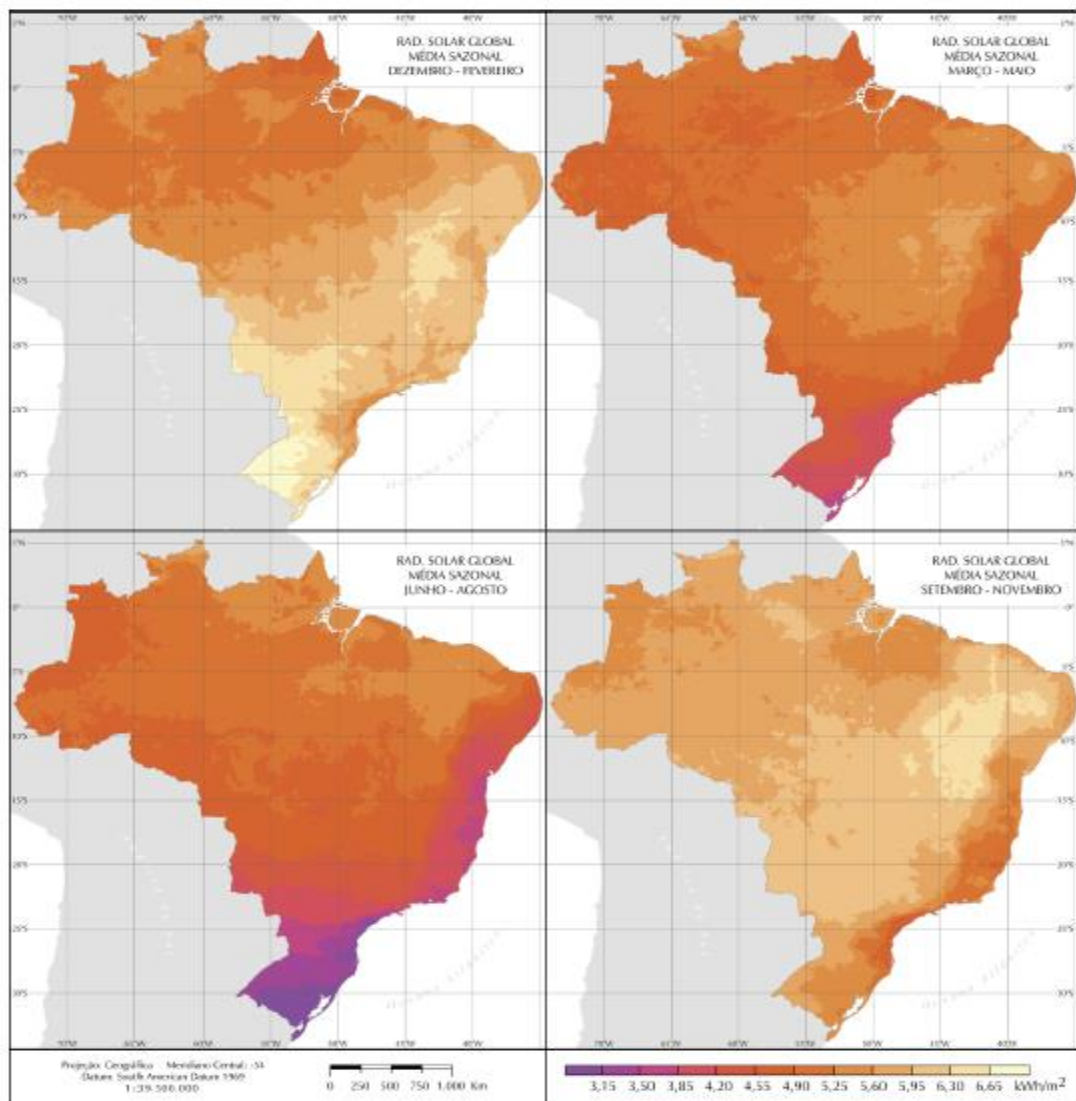


Fonte: (Atlas brasileiro de energia solar, 2006).

As imagens representam uma média anual e sazonal de irradiação solar no território brasileiro, com isso é possível ter uma ideia em quais lugares há mais radiação solar durante os períodos do ano, ou seja, podemos fazer um análise de quais locais são mais apropriados para a instalação dos sistemas solares. No brasil levando em consideração com outros países, qualquer local é apropriado para instalação desses sistemas, pois há uma radiação solar de ótima qualidade em quase todo o território nacional.



**Figura 6:** Médias anuais e sazonais para a componente difusa do total diário da irradiação solar.



Fonte: (Atlas brasileiro de energia solar, 2006).

## 2.5 INCENTIVOS PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Em 2015 teve início um programa do governo chamado ProGD (programa de geração distribuída de energia elétrica). Esse programa traz ações de estímulo à geração distribuída, com base em fontes renováveis, com isso as vantagens de ter um sistema solar fotovoltaico ficam mais interessantes tanto para quem compra e para quem vende, assim esse programa pode movimentar cerca de 100 bilhões em investimentos até 2030. Disponível em:

[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030)> Acessado em: 29 out. 2018.

Essa portaria traz uma abrangência para vários tipos de unidades consumidoras, desde residências, comércios e até mesmo indústrias do setor agrícola, até 2030 cerca de 2,7 milhões de unidades estarão fazendo o uso dessa energia gerada por elas mesmas e que podem resultar em 23,500 MW (48 TWh produzidos) de energia limpa e renovável. Comparando com a produção de energia elétrica da usina hidrelétrica de Itaipu, esses valores podem chegar a metade do que a Itaipu produz, evitando assim uma produção de 29 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

O ProGd ainda criou um grupo de trabalho para o aprofundamento na geração distribuída e propor novas medidas. Esse grupo é composto por representantes de MME, da agência nacional de energia elétrica (Aneel); da empresa de pesquisa energética (EPE); do centro de pesquisas de energia elétrica (Cepel); e da câmara de comercialização de energia elétrica (CCEE). Ainda esse programa deixa em aberto para fazer parte representantes de outros órgãos, associações e entidades, bancos, tudo isso com a finalidade de desenvolver e ampliar as ações de estímulo a geração distribuída. Segue algumas das propostas que o grupo de trabalho (GT) tem como objetivo:

- Criação e expansão de linhas de crédito e formas de financiamento de projetos para a instalação de sistemas de geração distribuída nos segmentos residencial, comercial e industrial;
- O incentivo ao estabelecimento de indústrias fabricantes de componentes e equipamentos usados em empreendimentos de geração a partir de fontes renováveis, englobando o desenvolvimento produtivo, tecnológico e a inovação, bem como o estabelecimento de empresas de comércio e de prestação de serviços na área de geração distribuída a partir de fontes renováveis;
- A promoção da atração de investimentos, nacionais e internacionais, e favorecer a transferência e nacionalização de tecnologias competitivas para energias renováveis;
- O fomento à capacitação e formação de recursos humanos para atuar em todos os elos da cadeia produtiva das energias renováveis.

Ainda conforme a Resolução Normativa nº 482, da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), torna mais atrativo aos consumidores a instalação de painéis solares

fotovoltaicos e microturbinas eólicas para gerar sua própria energia. Conforme essas novas regras da resolução, que irão começar a ser validas a partir de 1º de março de 2016, informando a seguinte proposta: quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. Ainda conforme a resolução de nº 482. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acessado em: 13 set.2018:

- **Prazo:** a resolução normativa nº 482 diz que quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor terá um prazo maior para utilizar os créditos – 60 meses, em vez dos 36 meses vigentes anteriormente.
- **Autoconsumo remoto:** o consumidor poderá abater a fatura de outros imóveis caso o mesmo esteja em sua titularidade, mesmo que o imóvel esteja em outra localidade não haverá problema, desde que o mesmo seja atendimento pela mesma distribuidora. Sendo então denominado “autoconsumo remoto”.
- **Condomínios:** Outra vantagem é a oportunidade de instalação de geração distribuída em condomínios, ou seja, toda energia gerada pode ser compartilhada entre seus condôminos sendo elas em proporções já determinadas pelos próprios usuários do sistema.
- **Consórcios:** a geração compartilhada como assim foi chamada é outra das principais vantagens, trazendo consigo a possibilidade de união em um consórcio ou em uma cooperativa, assim instalando sistemas de geração distribuída e a utilização da energia gerada para a redução de suas faturas os seus consorciados ou cooperados, trazendo assim a vantagem de ser apenas um único consumidor.
- **Isenção de ICMS:** sendo um dos principais pontos desse programa a isenção da cobrança de ICMS sobre a energia inserida pelo consumidor na rede da distribuidora. O consumidor terá a vantagem de ser cobrado apenas sobre o saldo de energia que receber da distribuidora e não conseguir compensar. Essa regulamentação vem pelo convênio ICMS nº 16, de 22 de abril de 2015, do Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ, com adesão inicial dos Estados de São Paulo, Goiás e Pernambuco, e posterior de Rio Grande do Norte, Ceará e Tocantins, incluídos pelos Convênios nº 44 (3/6/2015) e nº 52 (30/6/2015).

- **Isenção de PIS/Cofins:** conforme a Lei nº 13.169, de 6 de outubro de 2015, convertida da Medida Provisória 675, ficara isenta a cobrança de ICMS, PIS/Pasep e da COFINS a energia injetada pelo consumidor na rede elétrica e não for compensada.

## 2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS

Em sistemas isolados, as etapas de projeto, instalação e a manutenção são relativamente simples, mesmo com toda essa simplicidade desse sistema fotovoltaico é necessário que todos aqueles que tenham contato direto ou indireto com o sistema estejam sempre bem informados das características da instalação e das limitações tecnológicas, pois por ser um sistema isolado suas limitações são visíveis por possuírem características diferenciadas de uma ligação a uma rede elétrica convencional. A manutenção desses sistemas é simples e de fácil execução sendo elas e limpeza periódica dos módulos, aconselha limpar sempre 2 vezes ao ano utilizando apenas água e detergente e no caso dos sistemas isolados a substituição das baterias a cada três ou quatro anos.

Já nos sistemas conectados à rede da concessionária de eletricidade, não há a necessidade de armazenamento de energia, sendo assim toda a eletricidade que é produzida é utilizada no ambiente em que foi instalada e o restante é injetado na rede da concessionária. A variação dessas instalações varia desde pequenas centrais geradoras em residências ou até mesmo em grande centrais aonde os números chegam a MW produzidos.

A classificação de risco se dá pela forma em que serão afetados os trabalhadores da indústria fotovoltaica, os consumidores ou próximos a eles e ao público que consome o ar ou água próximos a essas centrais geradoras, sendo que quem mais pode ter sua saúde afetada por esses impactos são os trabalhadores da indústria. Uma das maiores preocupações estão ligadas as toxicidades do semicondutores e correto manejo dos gases utilizados na produção das células.

Analisando agora os riscos gerados ao público e aos responsáveis pela manutenção e instalação dos equipamentos, deve-se ter alguns cuidados básicos para que não ocorram choques elétricos e ainda acidentes com queimaduras. Como qualquer outro sistema que lide com geração de altas tensões os cuidados devem ser rigorosos e obedecer a padrões de segurança.

Outro aspecto que deve ser levado em conta é o cuidado onde é comum a ocorrência de descargas atmosféricas, por serem montados em locais abertos esses sistemas deve possuir para-raios e coberturas especiais para que o equipamento não venha a queimar ou até mesmo ser destruído.

Após sua vida útil de aproximadamente 25-30 anos o descarte deverá ser feito de maneira correta, uma boa ideia é o reaproveitamento e ou a reciclagem, pois os mesmos descartados de forma incorreta podem ficar expostos no meio ambiente e conseqüentemente poluir o ecossistema. (CEMIG, 2012).

Vantagens e desvantagens de sistemas solares fotovoltaicos conforme descreve (PINTO, 2014).

Vantagens:

- Esse tipo de energia não polui durante seu uso;
- Por receber cada vez mais estudos voltados aos painéis solares, eles estão cada dia se tornando cada vez mais potentes e ao mesmo tempo seus custos estão cada vez mais baixos e acessíveis, sendo assim está cada vez mais perto de se tornar uma solução economicamente viável;
- Por não necessitar de investimentos altos em linhas de transmissão a instalação desses sistemas em lugares remotos está se tornando uma alternativa em geração de energia.
- Por poder atender locais onde os centros de produção energética se encontram longe se torna uma vantagem a mais em decorrência da demanda e a perda de energia que ocorreria na transmissão.

Desvantagens:

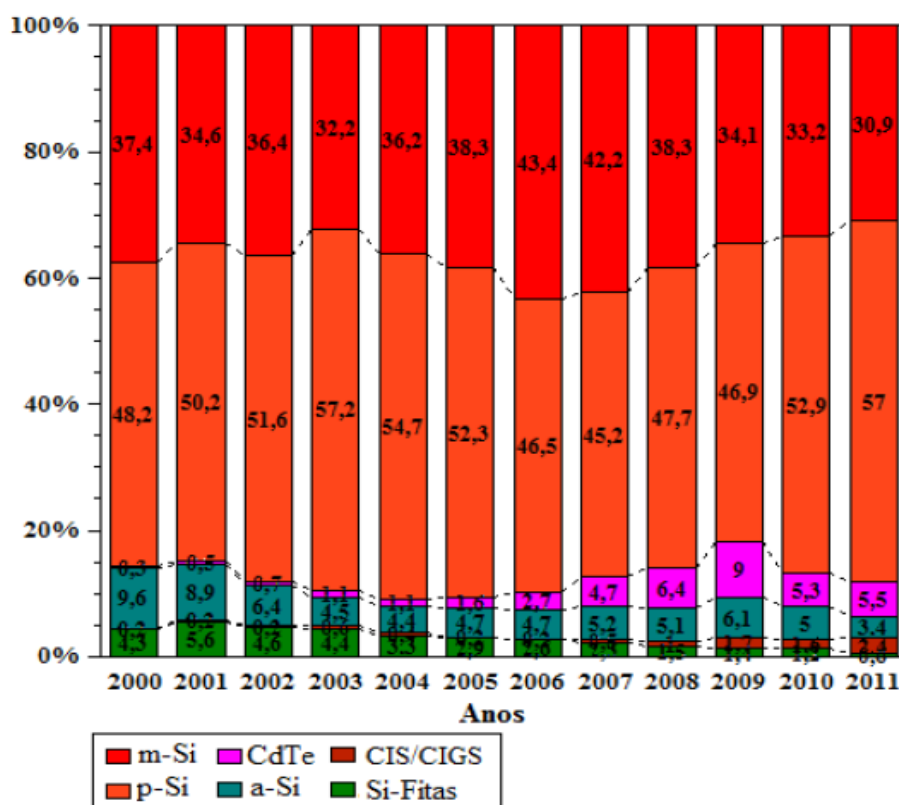
- As condições climáticas como a chuva, neve e até mesmo a noite são fatores negativos que influenciam na produção, o que nesse caso haveria a exigência de meios de armazenamento de energia que seriam produzidas durante o dia, ou até mesmo em locais remotos onde o sistema não está interligado a rede transmissão de energia.
- Países como Finlândia, Islândia, Nova Zelândia, Sul da Argentina e Chile, sofrem quedas na produção nos meses do inverno devido a disponibilidade diária de radiação solar, outro ponto é onde a cobertura de nuvens predomina na maioria do dia variando assim a produção diária.
- As formas de armazenamento de energia solar ainda são pouco eficientes comparados aos combustíveis fósseis, a energia hidrelétrica e a biomassa.

### 3. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

#### 3.1 INTRODUÇÃO:

Nos últimos 60 anos foram desenvolvidas diversas células fotovoltaicas, sendo elas fabricadas a partir de laminas de silício cristalino (monocristalino ou policristalino), essas dominando o mercado atualmente. Sendo que essa tecnologia vem respondendo sempre por mais de 81% da produção mundial desde 2000. Em 2001 atingiu 87,9% deste mercado como mostra a figura 7.

**Figura 7:** Distribuição das tecnologias utilizadas na fabricação industrial de células fotovoltaicas.



Legenda: m-Si – silício monocristalino, p-Si – silício policristalino, CdTe – telureto de cádmio; a-Si – silício amorfo, CIS – disseleneto de cobre índio, CIGS – disseleneto de cobre índio gálio, e Si-Fitas – fitas de silício.

Fonte: (HERING, 2012a).

A produção das células fotovoltaicas é classificada em duas classes, sendo que a primeira classe é dividida em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), assim representando 85% do mercado, por já ser uma tecnologia a muito tempo estudada e consolidada e ainda por possuir uma maior eficiência comercialmente visível e disponível. Já a segunda geração conhecida comercialmente de filmes finos, é dividida em três cadeias produtivas: (a-Si) disseleneto de cobre índio (CSI) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cadmio (CdTe). Ainda assim, essa categoria representa menor eficiência comparada com a primeira geração, mas ainda tendo uma pequena participação no mercado. A tabela 1 ilustra melhor a eficiência de cada material. (CEPEL&CRESESB, 2014).

**Tabela 1:** Tabela de eficiência das células fotovoltaicas em diferentes planos de comparação.

MATERIAL	EFICIENCIA		
	MÁXIMA TEÓRICA	EM LABORATÓRIO	PRODUÇÃO EM SÉRIE
Silício Mono	24,7%	18%	14%
Silício Poli	19,8%	15%	13%
Silício Amorfo	15%	10,5%	7,5%
CIGS	18,8%	14%	10%
CdTe	16,4%	10%	9%

Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/wpcontent/uploads/2017/02/compara%C3%A7%C3%A3o-de-eficiencia-entre-c%C3%A9lulas-fotovoltaicas.png>>. Acesso em: 20 set. 2018.

### 3.1 TIPOS DE CÉLULAS

#### 3.1.1 Silício cristalino (c-Si)

O c-Si é a tecnologia fotovoltaica mais tradicional e a única que faz uso de lâminas cristalinas (diâmetro ~ 10cm tipicamente) relativamente espessas (espessura 300-400 µm), o que apresenta uma maior limitação em termos de redução de custos de produção. As demais tecnologias são baseadas em películas delgadas (filmes finos, com espessura da ordem de 1 µm) de material ativo semiconductor, nesse ponto que está o grande potencial de redução de custos que estas tecnologias detêm. (RUTHER. 2004).

### 3.2 Módulo fotovoltaico silício monocristalino (m-Si)

Na utilização de células fotovoltaicas com silício monocristalino (m-Si) conforme a Figura 8. (RUTHER, 2004 p.22) afirma que o monocristal é “crescido” a partir de um banho de silício fundido de alta pureza ( $\text{Si} = 99,99\%$  a  $99,9999\%$ ) em reatores sob atmosfera controlada e com velocidades de crescimento do cristal extremamente lentas (da ordem de cm/hora). Conhecido por ter um consumo de energia extremamente intenso, chegando até a  $1400^{\circ}\text{C}$ , chamado de “playback” time (tempo necessário para que o módulo gere energia equivalente à utilizada em sua fabricação).

Outras etapas que ainda fazem parte do crescimento do monocristal envolvem:

“Tarugo; corte de lâminas por fios ou serras diamantadas; lapidação, ataque químico e polimento destas lâminas (processos estes todos em que ocorrem consideráveis perdas de material, da ordem de 50% do tarugo original); processos de difusão/dopagem, deposição da máscara condutora da eletricidade gerada e finalmente a interconexão de células em série para a obtenção do módulo fotovoltaico.” (RUTHER, 2004, p.23).

**Figura 8:** Modelos de módulos solares fotovoltaicos de c-Si com vários tamanhos e potências.



Disponível em: <<https://efitron.com/placas-solares/>>. Acesso em: 04 set. 2018.



### 3.3 Módulo fotovoltaico silício policristalino (p-Si)

O silício policristalino (p-Si) disponível na Figura 9, apresenta um custo mais baixo em sua produção, pois sua perfeição cristalina é menor e seu processo é mais simples que o m-Si, mas já em contrapartida possui uma menor eficiência comparada ao monocristalino. Seguindo o processo de produção, o material é fundido e logo em seguida solidificado direcionalmente, pois o material de partida é o mesmo que para o m-Si. Assim esse processo resulta em um grande bloco com grande quantidade de grãos ou cristais, igualmente em seus contornos encontramos seus defeitos, o que tornam esse material menos eficiente que o m-Si em termos de conversão fotovoltaica. (RUTHER 2004).

**Figura 9:** Placa de silício policristalino (p-Si.)



Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 10 set. 2018.

### 3.1.4 Silício amorfo hidrogenado (a-Si)

No início dos estudos sobre o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica em filmes finos (películas delgadas) conforme a Figura 10, acreditava-se que essa era a única tecnologia viável da época. Seu emprego teve início por volta dos anos 70, onde era visto como uma tecnologia para uso em produtos com baixo consumo elétrico, como calculadoras, relógios e outros produtos que não gastavam tanta energia. Por apresentarem uma resposta espectral mais voltada para a região azul do espectro eletromagnético, tais células se mostraram extremamente eficientes sob iluminação artificial, como por exemplo, a exposição de lâmpadas fluorescentes ou sob radiação difusa, aquelas em dias com o céu encoberto. Assim se tornando nesse caso mais eficiente que a do c-Si. (RUTHER 2004).

Em suas etapas de construção o a-Si inicia seu processo de produção passando por temperaturas relativamente baixas (<300°C), onde posteriormente é submetido a um processo à plasma. Esse posteriormente os filmes finos são depositados sobre bases de baixo custo, como vidro, aço inox ou em alguns plásticos. Assim, hoje em dia já existem módulos solares desenvolvidos para o mercado onde esses podem ser encontrados das mais versáteis maneiras, sendo eles: flexíveis, inquebráveis, leves, semitransparentes e com superfícies curvas, dispondo de uma ampla escolha para o comprador. Essa tecnologia vem despertando curiosidade entre os consumidores por serem esteticamente mais atraentes, o a-Si tem encontrado diversas aplicações arquitetônicas fazendo a substituição de materiais de coberturas de telhados de fachadas em instalações integradas ao ambiente construído. (RUTHER 2004).

**Figura 10:** Painel de silício amorfo cristalino.



Disponível em : <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 10 set. 2018.

### 3.5 Telureto de cádmio (CdTe)

Também em forma de filme fino o CdTe vem competindo bravamente no mercado com o c-Si e a-Si em suas aplicações integradas as edificações. Sua mais recente utilização vem sendo assim chamadas de aplicações outdoors, normalmente esses módulos são encontrados sob forma de placas de vidro em um tom marrom/azul escuro, assim se apresentando como um atrativo estético comparado ao C-Si. Com uma busca em aplicações arquitetônicas essa tecnologia vem buscando novas oportunidades no mercado com objetivo de se ampliar e ao mesmo tempo reduzir seus custos.

Com grande atrativo em sua produção o CdTe, possui em grande escala um baixo custo de produção, assim possuindo grandes chances de crescer no mercado fotovoltaico. A figura 11 ilustra melhor como é uma placa de CdTe. (RUTHER 2004).

**Figura 11:** Placa de telureto de cádmio (CdTe).



Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 10 set. 2018.

### 3.6 Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS E CIGS)

Por ter grande potencial de atingir eficiências elevadas outro competidor nesse mercado também voltado a aplicações integradas a edificações é a família dos compostos baseados no disseleneto de cobre índio (CIS) e ainda disseleneto de cobre, gálio (CIGS) conforme mostra a figura 12. Sendo comparado ainda ao a-Si e CdTe os painéis de CIS e CIGS estão emergindo no mercado também por possuírem boa aparência e estética, e por possuírem grandes superfícies e na busca de aplicações arquitetônicas diversas. Um dos aspectos que essa tecnologia deve levar em conta é sua pouca abundância dos elementos e sua toxicidade que são levadas em conta, pois levam grandes quantidades para atingir sua produção. Mesmo assim, esses filmes vêm sendo os que apresentam maior rendimento fotovoltaico.

**Figura 12:** Placa de Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS E CIGS).



Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 10 set. 2018.

### 3.7 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Os suportes para fixação bem dimensionados e instalados devem atender aos requisitos de segurança, como eventuais tempestades, ventos, esses garantindo que os painéis não se desprendam da sua estrutura de fixação. Esses sistemas de fixação podem ser projetados para fixação em telhados de barro ou até mesmo inclinados sobre uma laje, geralmente seus materiais são feitos de alumínio ou aço inoxidável, sendo que os mesmos possuem as características de

serem universais como: coberturas de telha de barro, telha de concreto, telhado metálico, telha de fibrocimento, seguidores solares e fixação direta sobre o solo. (PORTAL SOLAR, 2018).

Seguem algumas dicas para que os sistemas sejam instalados de forma segura:

- Uma boa base assegura a eficiência do sistema trazendo segurança e retorno do seu investimento;
- Sempre consultar o fornecedor se os produtos atendem as normas brasileiras e se as estruturas aguentam intempéries como ventos de até 120km/h;
- Sempre utilizar estruturas de confiança e pré-fabricadas por empresas especializadas no assunto, pois não adianta gastar altos valores em placas se sua base pode estar comprometida e por ventura ter uma perda de todo o sistema.

### 3.7.1 TIPOS DE ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES

Seguem os principais métodos de fixação dos painéis fotovoltaicos:

A) fixação com uso de parafuso prisioneiro com interface entre o trilho e a cobertura.

**Figura 13:** Fixação com uso de parafuso prisioneiro com interface entre o trilho e a cobertura.



Disponível em : <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 26 set. 2018.

B) fixação em telhas de barro usando gancho como interface entre o trilho e a cobertura.

**Figura 14:** Fixação em telhas de barro usando gancho como interface entre o trilho e a cobertura.



Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 26 set. 2018.

### 3.7.2 ESTRUTURA DE FIXAÇÃO PARA COBERTURAS COM TELHA DE FIBROCIMENTO (ETERNIT).

**Figura 15:** Fixação para coberturas com telha de fibrocimento.



Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acessado em: 26 set. 2018.

### 3.7.3 Estrutura de fixação para coberturas metálicas

Esse método é um pouco diferenciado dos demais, por ser utilizado supercola em sua fixação, ou seja, sua interface é colada diretamente sobre as telhas, sendo que a cola deve ser específica para esse tipo de fixação e a superfícies deve estar totalmente limpa.

**Figura 16:** Fixação para coberturas metálicas.



Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acessado em: 26 set. 2018.

### 3.7.4 Estrutura para fixação em lajes de concreto

**Figura 17:** Fixação em lajes de concreto.



Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acessado em: 26 set. 2018.

### 3.7.5 Estrutura para fixação no solo

**Figura 18:** Fixação no solo.



Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acessado em: 26 set. 2018.



## 4. CONVERSOR DE POTÊNCIA

### 4.1 INTRODUÇÃO

Inversores de frequência são dispositivos utilizados para a conversão de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). A energia CC pode ser oriunda de bateria, células a combustível ou nesse caso de módulos fotovoltaicos, em sua saída a tensão CA deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados as cargas a serem alimentadas. Nos sistemas que utilizam a conexão com a rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede.

Os inversores possuem diversos aspectos em suas funções, assim em alguns casos eles fazem parte de equipamentos maiores, como no caso de UPS (no-breaks) ou ainda no acionamento eletrônico para motores de indução. Em sistemas fotovoltaicos, os inversores se encontram em duas categorias em relação ao tipo de suas aplicações sendo elas: SFIs (sistemas fotovoltaicos isolados) e SFCRs (sistemas fotovoltaicos conectados à rede). Mesmo ambos os inversores compartilhando dos mesmos princípios gerais de funcionamento, cada um possui suas características próprias para poderem atender as exigências das concessionárias de distribuição em termos de segurança e qualidade da energia injetada na rede. Para inversores conectados à rede com potências características de até 5kW esses têm saída monofásica. Ultrapassando essa potência utilizam-se inversores com saída trifásica, ou inversores monofásicos em associação trifásica.

Os inversores mais atuais utilizam chaves eletrônicas de estado sólido e seu desenvolvimento está ligado diretamente a evolução de eletrônica de potência, voltado a parte de componentes semicondutores quanto as topologias de seus circuitos de potência e controle. No começo, os primeiros inversores para uso em sistemas fotovoltaicos eram apenas meros adaptados a circuitos já existentes. Hoje em dia, esses circuitos estão cada vez mais modernos e vem atendendo a complexidade e as exigências de suas aplicações específicas. Sendo assim, com esses avanços as suas topologias foram sendo aperfeiçoadas e seus custos de fabricação estão cada vez mais reduzidos, sendo que suas eficiências de conversão evoluíram ao ponto de chegar a valores aproximados de 99% de eficiência em alguns inversores para conexões a rede elétrica (CEPEL&CRESESB, 2014).

#### 4.2 TIPOS DE INVERSORES (CC – CA)

TIPO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Inversor auto comutado	<ul style="list-style-type: none"><li>- Podem operar conectados à rede elétrica ou alimentando cargas isoladas</li><li>- Tenha melhor fator de potência</li><li>- Produz menor quantidade de harmônicos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Projeto do equipamento mais complexo</li></ul>
Inversor comutado pela rede	<ul style="list-style-type: none"><li>- Projeto mais simples</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Depende da existência de tensão na rede</li><li>- Requer correção de fator de potência e dos harmônicos</li></ul>

FONTE: (CEPEL&CRESESB, 2014).

Os inversores estáticos utilizam dispositivos semicondutores para efetuar a comutação e tem seu funcionamento de duas maneiras diferentes, sendo elas: modo corte (off) e modo saturação (on). Assim, temos um sinal de saída quadrado, esse sinal quadrado pode ser convertido em um sinal senoidal através de filtros de potência, o processo de filtragem dos harmônicos mais próximos do fundamental requer grandes capacitores e bobinas que reduzem a eficiência do sistema. Com a finalidade no desenvolvimento de novos inversores para obtenção de sinais de saída com baixo conteúdo harmônico e alto fator de potência, desta forma, aumentando a frequência de comutação dos semicondutores e filtrando corretamente o sinal de saída. Sendo assim, é de suma aplicação que qualquer inversor regule os valores de saída.

Obtida de três maneiras diferentes essa regulação pode ser encontrada: regulando a tensão antes do inversor (conversores CC/CC), ajustando a tensão no respectivo inversor mediante seu sistema de controle ou regulando o sinal do inversor por meio de um autotransformador.

### 4.3 MEIOS DE COMUTAÇÃO DOS INVERSORES (CC – CA)

Os modos de comutação dos inversores podem ser divididos em duas categorias: autocomutados e comutados pela rede. Os inversores que funcionam como fonte de corrente e fonte tensão são os autocomutados já os comutados somente funcionam pela rede como fonte de corrente. Sendo que os inversores autocomutados podem ser utilizadas em aplicações fotovoltaicas isoladas ou mesmo conectadas a rede, já os inversores comutados pela rede só podem ser utilizados em aplicações conectadas a rede. Conforme mostra a Figura 19, a classificação dos inversores por princípio de funcionamento.

**Figura 19:** Inversores e métodos de funcionamento.



Fonte: (Revista ciências exatas e naturais.)

Seus elementos de chaveamento no caso dos inversores autocomutados são compostos por semicondutores que podem ser posicionados em condução ou em corte seja qual for o instante do ciclo por meio de um terminal de controle, ainda podendo operar independentemente, sendo ativados somente por uma fonte de potência na entrada, sendo também que esse tipo de inversor pode ser conectado à rede já que adequado de sincronizar sua tensão alternada de saída com a tensão de rede elétrica. Sua operação se dá por meio de PWM

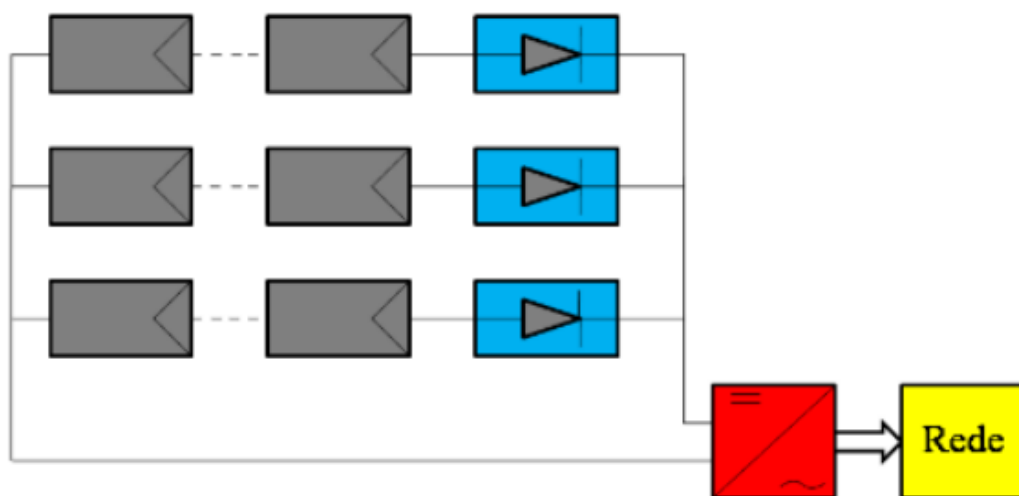
(pulse with modulations ou modulação por largura de pulso), por ter sinal de saída senoidal, de baixo conteúdo harmônico e alto fator de potência sua comutação se dá em alta frequência.

Os inversores comutados pela rede são pontes retificadoras fundamentadas em tiristores, seu funcionamento só ocorre quando a tensão alternada da rede está presente, seu meio de operação se dá comumente com baixo fator de potência e possuem um alto nível de distorção harmônica em seu sinal de saída, com o aparecimento de novos dispositivos de chaveamento, não se mais a utilização de inversores a tiristor.

#### 4.3.1 SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede) com inversor central

Esses são utilizados em sistemas onde suas potencias variam de 20 a 400 KW, essa ligação ocorre com uma associação dos painéis em paralelo, onde a conversão é centralizada em um único inversor, isso traz como vantagem para o sistema uma redução de custos, mas também traz como desvantagem a falta de confiabilidade por motivos de segurança como no caso de falhas, pois toda a instalação fica comprometida. Outro ponto levado em consideração é que esse sistema não permite a configuração de busca do PMP (ponto de máxima potência), seja independente para cada série de módulos conforme demonstra a figura 20.

**Figura 20:** Sistema com inversor central, com conjunto de módulos fotovoltaicos junto com diodos de bloqueio de cada string, inversor e rede elétrica.

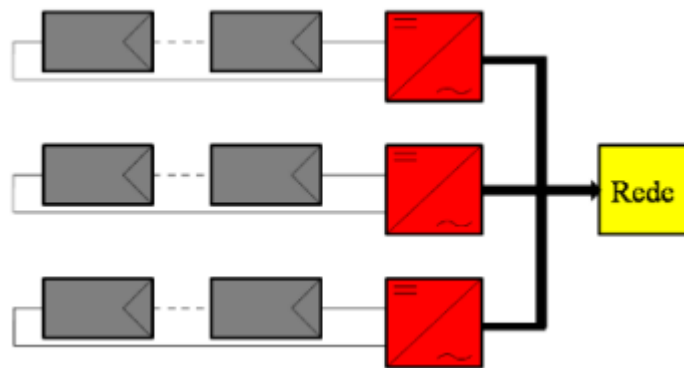


Disponível em: (Sistema com inversor central, com conjunto de módulos fotovoltaicos junto com diodos de bloqueio de cada string, inversor e rede elétrica. Vol.15, nº 1, Jan/Jun 2013).

#### 4.3.2 SFCCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede) com inversor string

Conectados diretamente aos painéis fotovoltaicos, esse sistema é montado para que cada fileira de módulos fotovoltaicos seja conectada a um inversor. Essa configuração traz consigo a vantagem de reduzir acoplamentos defeituosos, diminuir as perdas ocasionadas por sombreamento e também evita a perda nos diodos de bloqueio; sua desvantagem é seu elevado custo de instalação, por ser necessário um maior número de inversores de menor potência. A Figura 21 ilustra melhor essa configuração.

**Figura 21:** Sistema conectado à rede com inversores string, junto com módulos fotovoltaicos, inversores e a rede elétrica.



Disponível em: (Sistema conectado à rede com inversores string, junto com módulos fotovoltaicos, inversores e a rede elétrica. Vol.15, nº 1, Jan/Jun 2013.)

#### 4.4 INVERSORES MONOFÁSICOS E TRIFÁSICOS

Sistemas fotovoltaicos de pequeno porte sendo eles conectados à rede ou não utilizam inversores monofásicos, porém as aplicações conectadas a rede, os inversores monofásicos por injetarem corrente em uma única fase da rede, os mesmos produzem desequilíbrio entre as fases, assim possibilitando uma conexão máxima de potência de 4,6KW, com 10% de tolerância em sua fase.

As potências acima de 5kW utilizam inversores trifásicos, uma vez que podem ser reduzidos o número de inversores e assim ter um menor custo. A combinação de inversores monofásicos e bifásicos no sistema trifásico é simples, mas necessita de alguns cuidados

especiais quanto ao balanceamento entre as fases. Disponível em: (REVISTA CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS, VOL.15, Nº 1, JAN/JUN 2013.)

Para o cálculo da eficiência de um inversor as equações mostram as formulas necessárias conforme (CEPEL&CRESESB, 2014):

$$\eta_{conv} = \frac{P_{c.a.}}{P_{c.c.}} \quad (1)$$

$$\eta_{spmp} = \frac{P_{c.c.}}{P_{PM}} \quad (2)$$

$$(3)$$

$$\eta_{tot} = \eta_{conv} \times \eta_{spmp}$$

Onde:

$P_{c.c.}$  (W): Potência instantânea c.c na entrada do inversor;

$P_{c.a.}$  (W): Potência instantânea c.a saída do inversor;

$P_{MP}$  (W): Potência instantânea máxima do painel fotovoltaico nas condições de temperatura e irradiância vigentes;

$\eta_{conv}$  (%): Eficiência de conversão do inversor, o que inclui as perdas nos circuitos, no transformador, nos componentes de chaveamento etc.;

$\eta_{spmp}$  (%): Eficiência do inversor no seguimento do ponto de máxima potência;

$\eta_{tot}$  (%): Eficiência total do inversor;

#### 4.5 EFICIÊNCIA DOS INVERSORES

Atingindo valores de eficiência entre 98% para circuitos que não utilizam transformador e 94% para inversores que utilizam transformador, sendo que essa eficiência é apresentada pelos fabricantes como eficiência máxima, que ocorre apenas para determinada condição de carga.

Levando sempre em consideração para dimensionamento dos painéis fotovoltaicos para os SFCRs, devem ser observadas as suas características elétricas de entrada do inversor utilizado, ainda incluindo tensão máxima, corrente máxima, potência máxima e faixa de operação de SPPM. E por último e não menos importante, as tensões utilizadas nos painéis devem estar em conformidade com as especificações de tensão máxima de operação dos módulos.

As variações das técnicas de conexão das redes variam de país para país, assim cada um obedece a suas regras locais, no caso de projetos executados no Brasil devemos seguir as regulamentações da Aneel e as normas da ABNT. Inversores para SFCRs devem seguir as exigências de proteção impostas no item 5 da seção 3.3 módulos 3 do Prodist (Aneel, 2012c), no que diz respeito a proteção anti-ilhamento e a exigência de transformador de acoplamento, dentre outras. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-3>> acessado em: 13 set. 2018.

Conhecido como ilhamento, esse fenômeno ocorre em certa seção da rede elétrica, a demanda de potência é igual a geração fotovoltaica e um (ou mais) SFCRs encontram-se funcionando e alimentando a carga quando a rede é desenergizada pela distribuidora. Por comprometer a manutenção da rede os inversores para SFCRs, devem ser providos de proteção anti-ilhamento. Assim, toda vez que a rede necessitar de manutenção o sistema anti-ilhamento desconecta automaticamente da rede elétrica para que não haja eventuais acidentes.

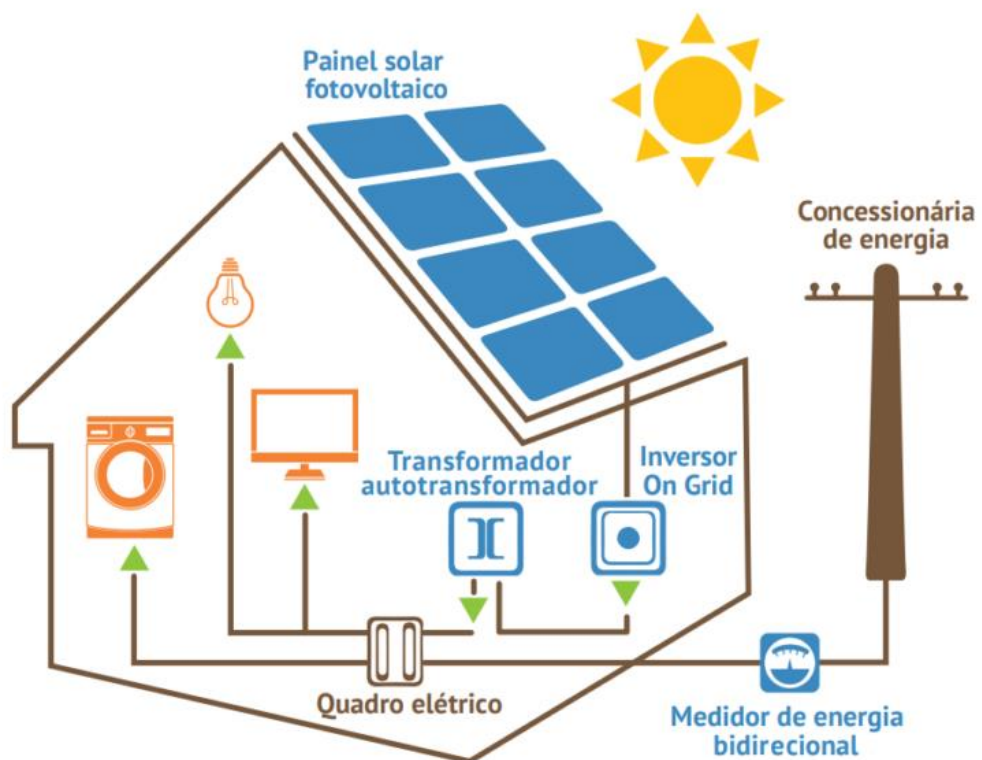
Alguns modelos de inversores vêm acompanhados de um transformador, já em outros casos não há esse acompanhamento, as figuras 22 e 23 demonstram como são esses sistemas. Sendo que esses transformadores podem ser de baixa frequência (60Hz) para que possa haver o acoplamento a tensão de saída na rede, ou ainda de alta frequência (kHz), esse tendo menores perdas e menores dimensões, porém custos mais elevados sendo esse custo elevado não apenas no transformador, mas em todo seu conjunto. A Aneel exige que nos casos de transformadores de acoplamento SFCRs de minigeração, em sua potência instalada superior a 100KWp, de maneira que se estes já não estiverem associado no inversor, que então devem ser instalados externamente. A Tabela 4 apresenta uma melhor comparação entre as características dos inversores para conexão à rede com e sem transformador.

**Tabela 2:** Comparação entre as características dos inversores para conexão à rede com e sem transformador.

Com transformador	Sem transformador
<p>Menor interferência eletromagnética</p> <p>Maiores perdas magnéticas e ôhmicas o que implica em menor eficiência</p> <p>Possibilita que o painel fotovoltaico opere em uma tensão mais baixa</p> <p>Os circuitos CC e CA são isolados</p> <p>Menores requisitos de proteção</p> <p>Maior peso e volume</p>	<p>Maior interferência eletromagnética</p> <p>Maior eficiência, principalmente se não dispor estágio de conversão CC-CC, para isso tem que operar com tensão do gerador fotovoltaico superior a tensão de pico da rede.</p> <p>Maior interferência eletromagnética</p> <p>Pode ser necessária a instalação de dispositivos de proteção adicionais (DDR e disjuntor de corrente direcional)</p>

Fonte: (CEPEL&CRESESB, 2014).

**Figura 22:** Modelo de sistema onde há uso de transformador.



Disponível em: < <http://www.entran.com.br/energia-fotovoltaica-transformadores-e-autotransformadores-trifasicos/>> Acesso em: 25 set. 2018.



**Figura 23:** Inversor fotovoltaico para conexão à rede sem uso de transformador.



Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>>. Acesso em: 25 set. 2018.

A norma da ABNT NBR 16149:2013 (ABNT, 2013b) exige no Brasil que para os inversores com conexão à rede devam atender os seguintes parâmetros: faixa de variação de tensão e frequência, THD, proteção contra ilhamento, fator de potência etc.

Na maioria das vezes os inversores para conexão à rede que existem no mercado, vêm acompanhados de algumas funções como: funções de monitoramento e aquisição de dados, sendo que muitas das vezes essas informações podem ser acompanhadas em tempo real por smartphones, computadores, tablets etc. Entre os dados que podem ser acompanhados estão: energia diária gerada, estado do equipamento e histórico de falhas, valores instantâneos de  $P_{cc}$  (potência CC),  $P_{ca}$  (potência CA),  $V_{cc}$  (tensão CC),  $V_{ca}$  (tensão CA), etc.

## 5. SEGURANÇA E PROTEÇÃO DAS INSTALAÇÕES

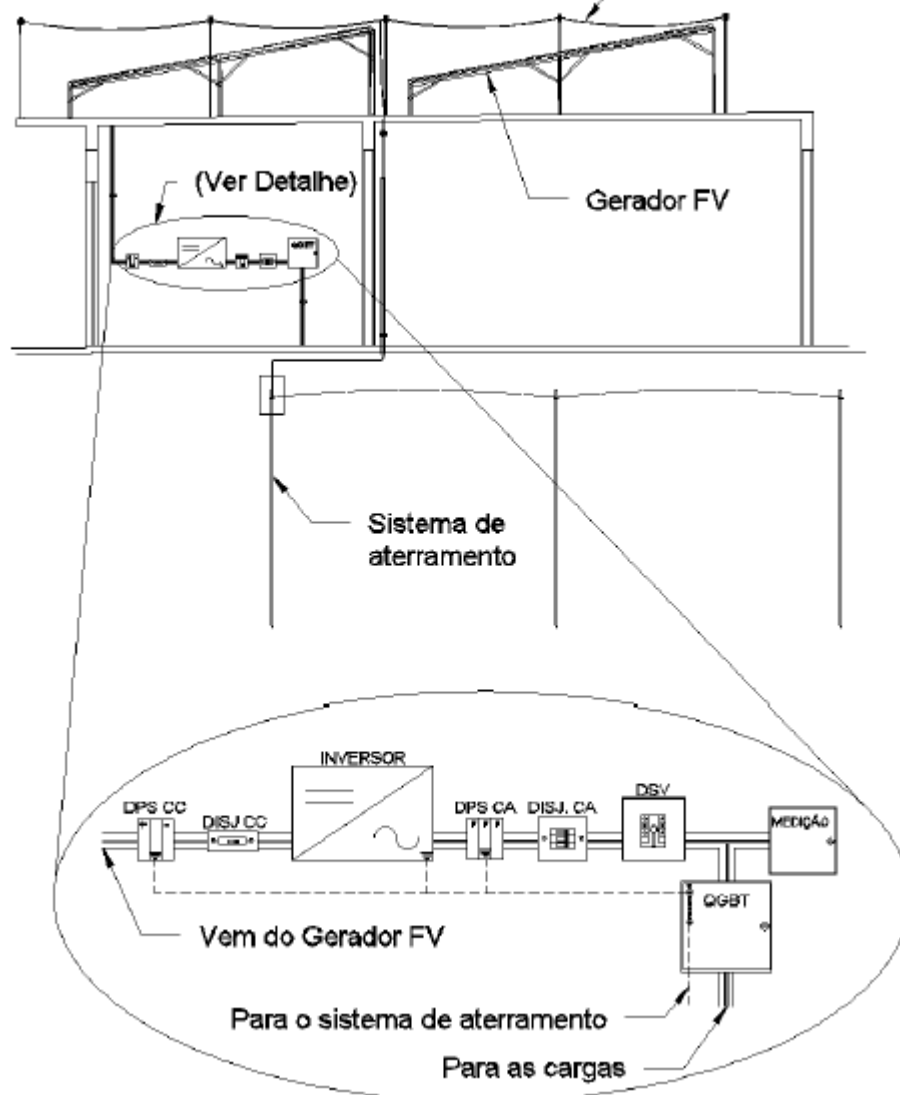
### 5.1 INTRODUÇÃO

Devemos considerar vários aspectos voltados a segurança dos sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações e interligados a rede elétrica isso inclui: prevenção contra incêndios, fazer um dimensionamento apropriado de fios e cabos, aterramento e segurança voltado aos agentes climáticos locais, no caso dessa instalação chuva de granizo e descargas elétricas e ventos de até 120km/h.

Por serem fontes de corrente os sistemas fotovoltaicos podem apresentar diferenças em relação as fontes de energia mais tradicionais como a rede elétrica. Um motor gerador ou uma bateria, mesmo desligados os geradores fotovoltaicos possuem tensão em seus terminais por estarem sendo iluminados. Sendo assim, quem estiver envolvido nessa instalação sendo ele seu proprietário ou técnicos do sistema devem estar conscientes disto. Mesmo com operações de tensões baixas o risco de choque elétrico em tensões CC pode ser de grandes proporções semelhantes a qualquer instalação que opera sobtensão semelhante. (RUTHER, 2004).

Além dos avanços tecnológicos dos componentes do sistema fotovoltaico, faz com que além de sua robustez os mesmos apresentem dispositivos de proteção integrados. Para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCRs), a ANEEL (Aneel, 2012c) regulamentou as seguintes exigências: a instalação após o medidor, de uma chave seccionadora sob carga, denominada de dispositivo de seccionamento visível (DSV), utilizada para garantir a desconexão da geração fotovoltaica durante procedimentos de manutenção de rede. Outro aspecto a se levar em conta é o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), o mesmo deve proteger todas as áreas onde haja o sistema fotovoltaico, desde a área onde o gerador fotovoltaico está instalado e a estrutura de abrigo dos dispositivos de condicionamento de potências. Todos esses devem estar devidamente conectados a um sistema de aterramento adequado, incluindo também o inversor, DPS e barramento do quadro geral da instalação. A Figura 24 ilustra o esquema de proteção para SFCRs. (CEPEL&CRESESB, 2014).

**Figura 24:** Esquema de proteção para SFCRs.



Fonte: (CEPEL&CRESESB, 2014).

## 5.2 COMPONENTES DE PROTEÇÃO DA UMA INSTALAÇÃO

Tanto em um sistema solar fotovoltaico como também em qualquer outro sistema elétrico, devemos proteger os equipamentos utilizando alguns componentes de segurança como sendo eles: chaves, fusíveis, disjuntores ou dispositivos de proteção contra surtos (DPS). Sendo que em alguns casos se os projetistas dos sistemas fotovoltaicos optam por substituir as chaves fusíveis por disjuntores, pois assim evitam o desconforto da troca de fusíveis.

Segue alguns exemplos das especificações dos componentes de proteção nos subtítulos seguintes.

### 5.2.1 Chave seccionadora sob carga

Sua função é possibilitar a interrupção do fluxo de corrente em situações de emergência e manutenção, servindo também de atuador para o controle da operação do sistema. Dependendo do seu modelo, as chaves podem ser operadas manualmente ou de forma automatizada.

**Figura 25:** Modelo de chave seccionadora.



Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/chave-seccionadora-fotovoltaica-schneider-c60na.html>>. Acesso em: 03 out. 2018.

### 5.2.2 Disjuntor

No caso de correntes elevadas causadas por curtos circuitos no sistema, sobrecarga ou falha o aterramento se usa o disjuntor para a proteção dos cabos, equipamentos e demais componentes do sistema.

**Figura 26:** Modelo de disjuntor.



Fonte: <<https://www.neosolar.com.br/loja/disjuntor-schneider-1000dc-10a-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 03 out. 2018.

### 5.2.3 Dispositivo de proteção contra surtos (DPS).

Destinado a desviar altas correntes provenientes de um surto, normalmente provenientes de descargas atmosféricas.

**Figura 27:** Modelo de DPS.



Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/dps-schneider-prd-dc40r-600pv-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 03 out. 2018.

### 5.3 ATERRAMENTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

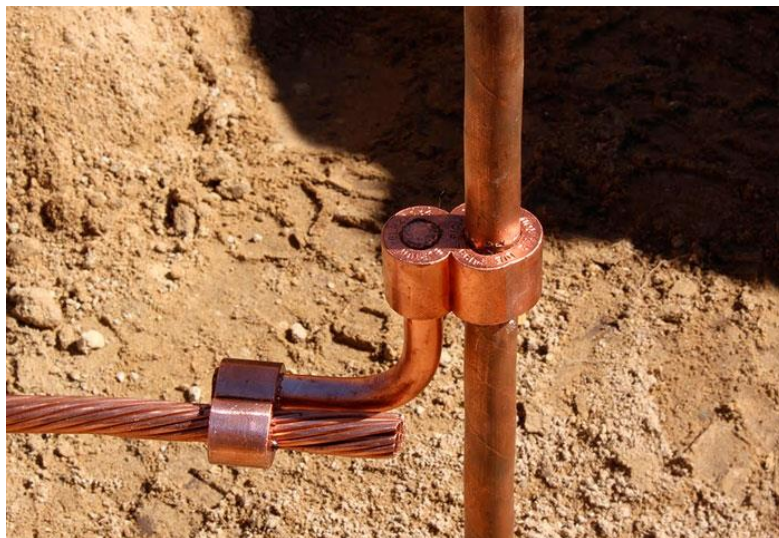
Conforme a norma ABNT NBR 5410:2004 que trata do aterramento de sistemas elétricos de baixa tensão. Ligação intencional entre as instalações ou estruturas de contato, tem como objetivo assegurar o bom funcionamento das instalações, onde seu principal foco é permitir um caminho preferencial as correntes elétricas indesejáveis de surto, falta ou fuga, assim evitando maiores riscos as pessoas e os equipamentos.

Um dos maiores problemas no dimensionamento dos sistemas de aterramento está na sua eficiência, pois cada tipo de solo possui umidades diferentes, podendo esse, variar a cada estação do ano, como em períodos secos e úmidos. O critério utilizado para o dimensionamento é chamado de resistividade do solo, cuja sua medição não é tão simples assim. No Brasil possuímos vários tipos de solos diferentes. Em casos de sistemas isolados é recomendado a

proteção de todas as partes metálicas com materiais isolantes, evitando assim o contato dos usuários caso haja um surto ou falha do sistema.

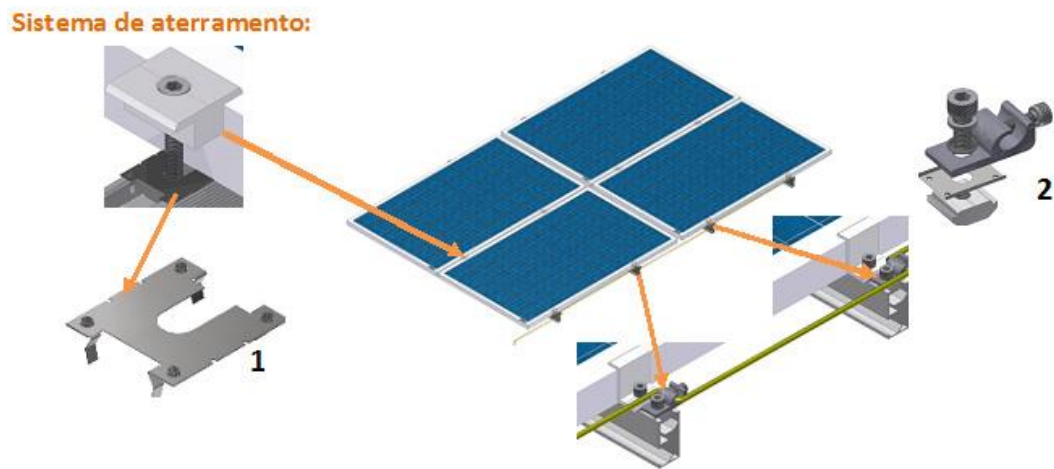
Nos sistemas solares conectados à rede (SFCRs), se faz necessário o aterramento de proteção dos equipamentos (conexão da carcaça condutora ao terra) e o devido aterramento funcional do sistema (conexão do circuito elétrico terra, através do condutor neutro, no lado CA). Outro ponto importante é que as caixas dos equipamentos e as suas estruturas metálicas de suporte dos módulos fotovoltaicos sejam devidamente conectados ao terra, assim também quaisquer metais expostos que eventualmente possam ser tocados, devem ser aterrados. O aterramento deve ser feito de maneira que permita a equipotencialização de todos os corpos condutores da instalação. As Figuras 28 e 29 ilustram melhor esse método.

**Figura 28:** Aterramento das hastes.



Disponível em: < <https://suaenergiasolar.com.br/aterramento-do-sistema-fotovoltaico/> > acessado em: 03 out. 2018.

**Figura 29:** Aterramento completo das estruturas.



Disponível em: < <https://suaenergiasolar.com.br/aterramento-do-sistema-fotovoltaico/> > acessado em: 03 out. 2018.

## 6. ESTUDO DE CASO

### 6.1 INTRODUÇÃO

### 6.2 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO ESTUDO

O local escolhido para a realização deste estudo é um abatedouro de bovinos, localizado na área rural do município de Barracão RS, o mesmo se encontra na linha Cardoso próximo ao parque de rodeios do município. A cidade com cerca de 5479 hab. Fonte: (IBGE/2016), localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Sua distribuidora de energia é a RGE Sul, uma empresa CPFL Energia, atende cerca de 4 milhões de gaúchos e cerca de 118 municípios. Disponível em: <<https://www.rgesul.com.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 29 de out. 2018.

#### 6.2.1 Potencial solar do município

O município recebe uma boa irradiação solar anualmente, com uma irradiação solar máxima no mês de dezembro chegando a 6,48 kWh/m<sup>2</sup>.dia e com sua irradiação mínima no mês de junho chegando a 2,57 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Assim o município tem grande potencial para geração de energia solar fotovoltaica. Os dados soliméricos do local se deram a partir do mapeamento da CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito), sendo considerada as seguintes coordenadas geográficas (27,671667° S; 51,460556° O). A Figura 30 demonstra uma melhor representação de funcionamento da irradiação solar anualmente:



**Figura 30:** Cálculo no plano inclinado do município.

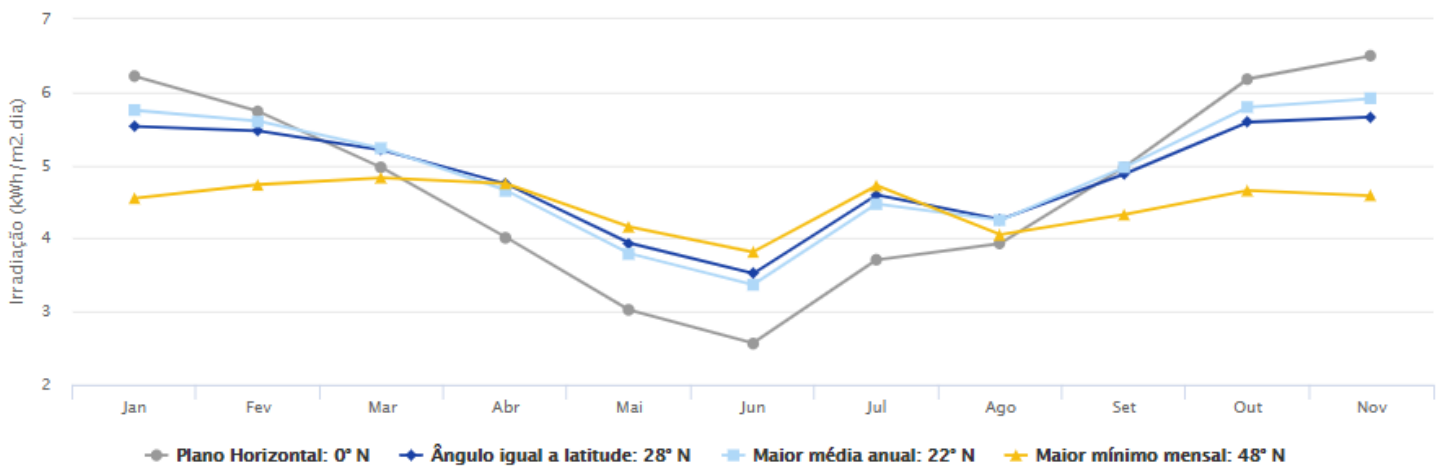
**Cálculo no Plano Inclinado**

Estação: Barracao  
 Município: Barracao , RS - BRASIL  
 Latitude: 27,701° S  
 Longitude: 51,449° O  
 Distância do ponto de ref. ( 27,671667° S; 51,460556° O ) : 3,5 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,22	5,74	4,97	4,02	3,02	2,57	2,89	3,71	3,93	4,98	6,18	6,49	4,56	3,92
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	28° N	5,53	5,47	5,21	4,75	3,94	3,52	3,90	4,60	4,26	4,88	5,59	5,66	4,77	2,14
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	22° N	5,75	5,60	5,23	4,66	3,79	3,37	3,74	4,47	4,25	4,97	5,79	5,91	4,79	2,54
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	48° N	4,55	4,74	4,83	4,75	4,16	3,81	4,19	4,72	4,05	4,33	4,65	4,58	4,45	1,01

**Irradiação Solar no Plano Inclinado –Barracao–Barracao, RS–BRASIL**

27,701° S; 51,449° O



Disponível em: < [http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade\\_2861](http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_2861) >. Acesso em: 30 de out. 2018

**6.2.2 dados do local de implantação do estudo**

O local escolhido é um abatedouro estadual, localizado na linha Cardoso próximo ao parque de rodeios do município de Barracão RS, o local conta com uma área total de 310 m<sup>2</sup>, sendo seu ramo de trabalho o abate de bovinos para a distribuição nos municípios próximos. Uma soma de todos os seus equipamentos internos e externos desde motores até iluminação dos ambientes tem um total de carga instalada de aproximadamente 53,792 W de potência e um consumo anual de energia elétrica de cerca de 30,305 kWh. Sua classificação na companhia de energia é dada por: Convencional B2 rural agropecuária rural – trifásico 220/127 V.

O local possui um aparato completo desde o desembarque dos animais até a saída do produto final, contando com salas de miúdos, sala de triparia e bucharia, sala de cabeças, sala de resíduos sólidos, câmara fria para armazenamento do produto final, sala da caldeira

e possui também escritório para a recepção dos seus clientes. Os abates acontecem 2 vezes por semana.

### 6.3 COLETA DOS DADOS TÉCNICOS

Tendo como base na fatura mensal impressa pela RGE foi estabelecida uma tabela demonstrativa dos gastos mensais durante 13 meses da empresa que será implantado o sistema, a unidade de medida dessa tabela segue como demonstra na fatura de energia elétrica do estabelecimento dado em kWh. A cobrança e os valores das tarifas podem ser diferenciados dependendo dos meses do ano, pois as condições climáticas podem influenciar na cobrança da bandeira tarifária, por exemplo quando é cobrado pela bandeira amarela (condições menos favoráveis), ou também pela bandeira vermelha (custo de energia mais caro, termelétricas ligadas). Assim cada época do ano pode variar no preço da tarifa de energia elétrica conforme a Figura 31.

**Figura 31:** Tipos de bandeiras tarifárias.

<b>Bandeira verde</b>	Hidrelétricas operam normalmente. (geração térmica até R\$ 211,28/MWh)	<b>Não há alteração no valor da tarifa de energia.</b>	
<b>Bandeira amarela</b>	Usinas térmicas ativadas. (geração térmica de R\$ 211,28/MWh a R\$ 422,56/MWh)	<b>Acresce na sua conta R\$ 1,00 a cada 100kWh.</b>	
<b>Bandeira vermelha Patamar 1</b>	Usinas térmicas ativadas e alta demanda. (geração térmica de R\$ 422,56/MWh até R\$ 610/MWh)	<b>Acresce na sua conta R\$ 3,00 a cada 100kWh.</b>	
<b>Bandeira vermelha Patamar 2</b>	Usinas térmicas ativadas e alta demanda. (geração térmica maior ou igual a R\$ 610/MWh)	<b>Acresce na sua conta R\$ 5,00 a cada 100kWh.</b>	

Disponível em: < <https://www.cpfl.com.br/atendimento-a-consumidores/bandeira-tarifaria/Paginas/default.aspx> > Acesso em: 30 de out.2018.

#### 6.4 HISTÓRICO DO CONSUMO MENSAL ENTRE OS ANOS DE 2017 A 2018

**Tabela 3:** Consumo médio mensal do local.

Mês/Ano	Consumo kWh	Dias
Agosto/2017	2003	29
Setembro/2017	1891	33
Outubro/2017	2067	28
Novembro/2017	2097	31
Dezembro/2017	3078	33
Janeiro/2018	2198	29
Fevereiro/2018	2226	29
Março/2018	3359	32
Abril/2018	2245	29
Mai/2018	2252	30
Junho/2018	2254	32
Julho/2018	2304	29
Agosto/2018	2331	30
Total consumido	30.305 kWh	394 dias

Fonte: Autor (2018).

A tabela 4 foi gerada através da obtenção dos dados da conta de energia elétrica do local de implantação do sistema, sendo feito um cálculo baseado no consumo mensal do local, logo após é feito a soma de todos os meses desde o mês de agosto de 2017 até o mês de agosto de 2018, assim totalizando 13 meses de consumo. Com esses dados ainda foi possível descobrir o total consumido no período dos 13 meses de estudo (30.305 kWh).

#### 6.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA CONFORME AS NORMAS DA ANEEL

A resolução normativa 687/2015 define que a potência instalada da microgeração e da minigeração distribuída fica limitada à potência disponibilizada para a unidade consumidora

onde a central geradora será conectada, nos termos do inciso LX, art. 2º da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010.

E ainda conforme os termos do inciso LX, art. 2º da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. A potência disponibilizada: potência que o sistema elétrico da distribuidora deve dispor para atender aos equipamentos elétricos da unidade consumidora, segundo os critérios estabelecidos nesta Resolução e configurada com base nos seguintes parâmetros:

- a) unidade consumidora do grupo A: a demanda contratada, expressa em quilowatts (kW);
- b) unidade consumidora do grupo B: a resultante da multiplicação da capacidade nominal de condução de corrente elétrica do dispositivo de proteção geral da unidade consumidora pela tensão nominal, observado o fator específico referente ao número de fases, expressa em quilovolt-ampère (kVA).

## 6.6 MÉTODO DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Assim fazendo uma análise da potência instalada da minigeração do sistema. Obtemos um valor de 30 KWh de demanda contratada, sendo assim a potência máxima do sistema gerador não poderá ultrapassar 30 KWh. Para os sistemas tipo B, o mesmo contará com uma capacidade de geração de 14 kWp, ou seja, não poderá ultrapassar a capacidade máxima de proteção (disjuntor geral). Esse resultado foi obtido através do cálculo em que se divide a capacidade nominal de condução de corrente elétrica do dispositivo de proteção que nesse caso é 40 A, por 0,38 que é a tensão nominal do sistema, e logo em seguida multiplicado pelo fator de potência considerado nesse caso de 0,92% assim chegamos ao resultado de 14 kWp.

Para o dimensionamento de consumidores tipo A é utilizada a metodologia de cálculo disponível no manual de engenharia fotovoltaica (CRESESB, 2014), e conforme apresentado na equação (4):

$$P_{FV}(Wp) = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}} \quad (4)$$

Onde:

$P_{FV}(Wp)$ : Potencia de pico do painel fotovoltaico: E (Wh/dia): consumo médio diário da edificação ou fração deste:  $HSP_{MA}$  (h): Média diária anual das HSP incidente no plano do painel fotovoltaico: TD (adimensional): Taxa de desempenho (CRESESB, 2014).

Ainda para a obtenção dos dados da previsão anual de geração de energia elétrica produzida pelo sistema solar fotovoltaico, foi realizada uma análise da potência do gerador, dados de previsão de radiação solar do local, taxa de desempenho e os números de dia de cada mês. Aplicando tais valores é possível chegar aos resultados previstos de geração de energia elétrica conforme mostra a Tabela 5, com sua respectiva fórmula para a obtenção dos dados (Adaptado do CRESESB, 2014). Mostrada na equação (5):

(5)

$$\text{Energia Gerada (kWh)} = \text{Potência (kWp)} \times \text{Irradiação (kW/m}^2\text{/dia)} \times \text{TD} \times \text{Número de dias.}$$

Fonte: Adaptado do CRESESB (2014.)

**Tabela 4:** Previsão anual de geração de energia elétrica produzida pelo sistema solar fotovoltaico.

Mês/Ano	Irradiação (kW/m <sup>2</sup> .dia)	Nº Dias	Consumo em (kWh)	Previsão geração mensal (kWh)	Diferença líquida do mês: consumo – geração solar (kWh)	Valor total a pagar a concessionária (kWh)
Agosto/2017	4,60	29	2003	1494,08	508,92	508,92
Setembro/2017	4,26	33	1891	1574,49	316,51	316,51
Outubro/2017	4,88	28	2067	1530,36	536,64	536,64
Novembro/2017	5,59	31	2097	1940,84	156,16	156,16
Dezembro/2017	5,66	33	3078	2091,93	986,07	986,07
Janeiro/2018	5,53	29	2198	1796,14	401,86	401,86
Fevereiro/2018	5,47	29	2226	1776,65	449,35	449,35
Março/2018	5,21	32	3359	1867,26	1491,74	1491,74
Abril/2018	4,75	29	2245	1542,80	702,02	702,02
Mai/2018	3,94	30	2252	1323,84	928,16	928,16
Junho/2018	3,52	32	2254	1261,56	992,44	992,44
Julho/2018	3,90	29	2304	1266,72	1037,28	1037,28
Agosto/2018	4,60	30	2331	1545,60	785,40	785,40
Total anual	-	-	30.305,00	21.012,27	9.292,73	9.292,73

Fonte: Autor (2018).

A Tabela 5 foi gerada através dos cálculos de radiação mensal do local com os dias de consumo, esse multiplicado pela potência do gerador e pelo fator de eficiência do sistema. Após isso é feita uma comparação entre o consumo mensal e a produção mensal que o sistema irá fornecer mensalmente e anualmente.

## 6.7 CENÁRIO DE PREVISÃO DE GERAÇÃO

Baseado nos dados da fatura de energia elétrica do abatedouro entre os meses de agosto de 2017 a agosto de 2018, o local teve um consumo total em seus 13 meses de 30.305 kWh/ano e uma geração anual de 21.012,27 kWh/ano. Sendo que será apenas necessário a representação de cerca de 9.292,73 kWh/ano da rede elétrica.

## 6.8 INVESTIMENTOS ESTIMADOS DO SISTEMA

**Tabela 5:** Descrição de materiais e preços dos serviços comercializados.

Descrição	Potencia	Quantidade	Unidade	Valor Unit.	Valor total
Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6U- 330P	330 W	43	Peça	R\$ 719,00	R\$ 30.917,00
Inversor Fronius Symo 15.0-3-M light (15.000W)	15 kW	1	Peça	R\$ 22.490,00	R\$ 22.490,00
Material elétrico para a instalação	-	1	-	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
Projeto elétrico + ART + Mão de obra	-	1	-		RS 10.000,00
Estrutura de Fixação	-	11	Kit 4 pç	R\$ 586,00	R\$ 6.446,00
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO R\$ 73.000,00</b>					

Fonte: Autor (2018)

Os dados representados na tabela 6 acima são parte da composição básica de um sistema solar fotovoltaico, com capacidade de conexão remota do sistema para monitoramento, os valores relacionados acima para o presente estudo são referentes ao mês de outubro de 2018, assim podemos observar que ao passar dos meses esses valores podem sofrer alterações.

## 6.9 ANALISES TECNICAS E ECONOMICAS DO SISTEMA

Considerando que as tarifas de energia são reajustadas periodicamente, por meio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), seguindo os índices do IGP-M (Índice Geral de Preços do Mercado) e IPCA (Índice de Preços ao Consumidor Amplo), foi considerado para o estudo um reajuste anual na ordem de 4,8% a.a. (Nota Técnica nº 166/2017-SGT/ANEEL). Para o sistema em análise foi considerada a concessionária (RGE) Rio Grande Energia S. A. Em que nos meses de análise seu KWh foi comercializado a R\$ 0,84 (oitenta e quatro centavos), que nesse caso foi considerado como custo para o primeiro ano de estudo. (MARCHIORO. 2018).

Conforme consta nos dados dos fabricantes de fornecedores, um sistema fotovoltaico possui as seguintes garantias: painéis fotovoltaicos tem garantia de 25 anos (10 certificados pelo INMETRO), inversor de frequência garantia de 05 anos, também com certificação do INMETRO. Assim considerados os prazos de validade dos produtos podemos considerar para efeitos de estudo que um sistema solar fotovoltaico que terá uma vida útil de 25 anos sofrerá uma perda de 0,8% a.a. (MARCHIORO. 2018).

Também foi considerado um valor de 1% a.a. sobre o valor total do investimento para possíveis manutenções que venha a ocorrer disponível em: <http://energonbrasil.com.br/quanto-custa-a-manutencao-no-sistema-solar-fotovoltaico/> acessado em: 01 nov. 2018.

Levando em conta os valores da caderneta de poupança, que são de 0,5% a.m. foi considerado um TMA de 0,6% a.m. (CBC.2018). Na tabela 7 podemos verificar as diversas variáveis que envolvem os cálculos de equacionamento da viabilidade técnica – econômica da implantação do sistema solar fotovoltaico.

**Tabela 6:** Fluxo de caixa do investimento do sistema.

Ano	Energia produzida kWh	Tarifa de energia RGE	Receita de energia produzida	Custo de manutenção anual	Fluxo de caixa	Fluxo de caixa descontado (7.2% a.a.)	Payback descontado
0	-	-	-	-	R\$ 70.000,00	R\$ 70.000,00	-R\$ 70.000,00
1	21.012,27	R\$ 0,84	R\$ 17.650,31	-	R\$ 17.650,30	R\$ 17.650,30	-R\$ 52.349,70
2	20.844,17	R\$ 0,91	R\$ 19.048,24	R\$ 90,00	R\$ 18.958,24	R\$ 17.593,24	-R\$ 34.756,46
3	20.677,42	R\$ 0,99	R\$ 20.407,37	R\$ 99,00	R\$ 20.308,37	R\$ 18.846,17	-R\$ 15.910,29
4	20.512,00	R\$ 1,07	R\$ 21.863,53	R\$ 108,90	R\$ 21.754,63	R\$ 20.188,30	R\$ 4.278,01
5	20.347,90	R\$ 1,15	R\$ 23.423,69	R\$ 120,79	R\$ 23.302,90	R\$ 21.625,09	R\$ 25.903,11
6	20.185,12	R\$ 1,24	R\$ 25.095,55	R\$ 132,86	R\$ 24.962,69	R\$ 23.165,38	R\$ 49.068,49
7	20.023,64	R\$ 1,34	R\$ 26.886,34	R\$ 146,14	R\$ 26.740,20	R\$ 24.814,91	R\$ 73.883,39
8	19.863,45	R\$ 1,45	R\$ 28.804,78	R\$ 160,75	R\$ 28.644,03	R\$ 26.581,66	R\$ 100.465,06
9	19.704,54	R\$ 1,57	R\$ 30.860,27	R\$ 176,82	R\$ 30.683,45	R\$ 28.474,24	R\$ 128.939,30
10	19.546,91	R\$ 1,69	R\$ 33.062,42	R\$ 194,50	R\$ 32.867,92	R\$ 30.501,43	R\$ 159.440,73
11	19.390,53	R\$ 1,83	R\$ 35.421,65	R\$ 213,95	R\$ 35.207,70	R\$ 32.672,75	R\$ 192.113,47
12	19.235,41	R\$ 1,97	R\$ 37.949,34	R\$ 235,34	R\$ 37.714,00	R\$ 34.998,59	R\$ 227.112,07
13	19.082,00	R\$ 2,13	R\$ 40.657,38	R\$ 258,87	R\$ 40.398,51	R\$ 37.489,82	R\$ 264.601,89
14	18.929,00	R\$ 2,30	R\$ 43.558,55	R\$ 284,75	R\$ 43.273,80	R\$ 40.158,09	R\$ 304.759,97
15	18.777,44	R\$ 2,49	R\$ 46.666,82	R\$ 313,22	R\$ 46.353,60	R\$ 43.016,14	R\$ 347.776,11
16	18.627,22	R\$ 2,68	R\$ 49.996,95	R\$ 344,54	R\$ 49.652,41	R\$ 46.077,44	R\$ 393.853,55
17	18.478,20	R\$ 2,90	R\$ 53.564,61	R\$ 378,99	R\$ 53.185,62	R\$ 49.356,26	R\$ 443.209,81
18	18.330,37	R\$ 3,13		R\$ 416,88			

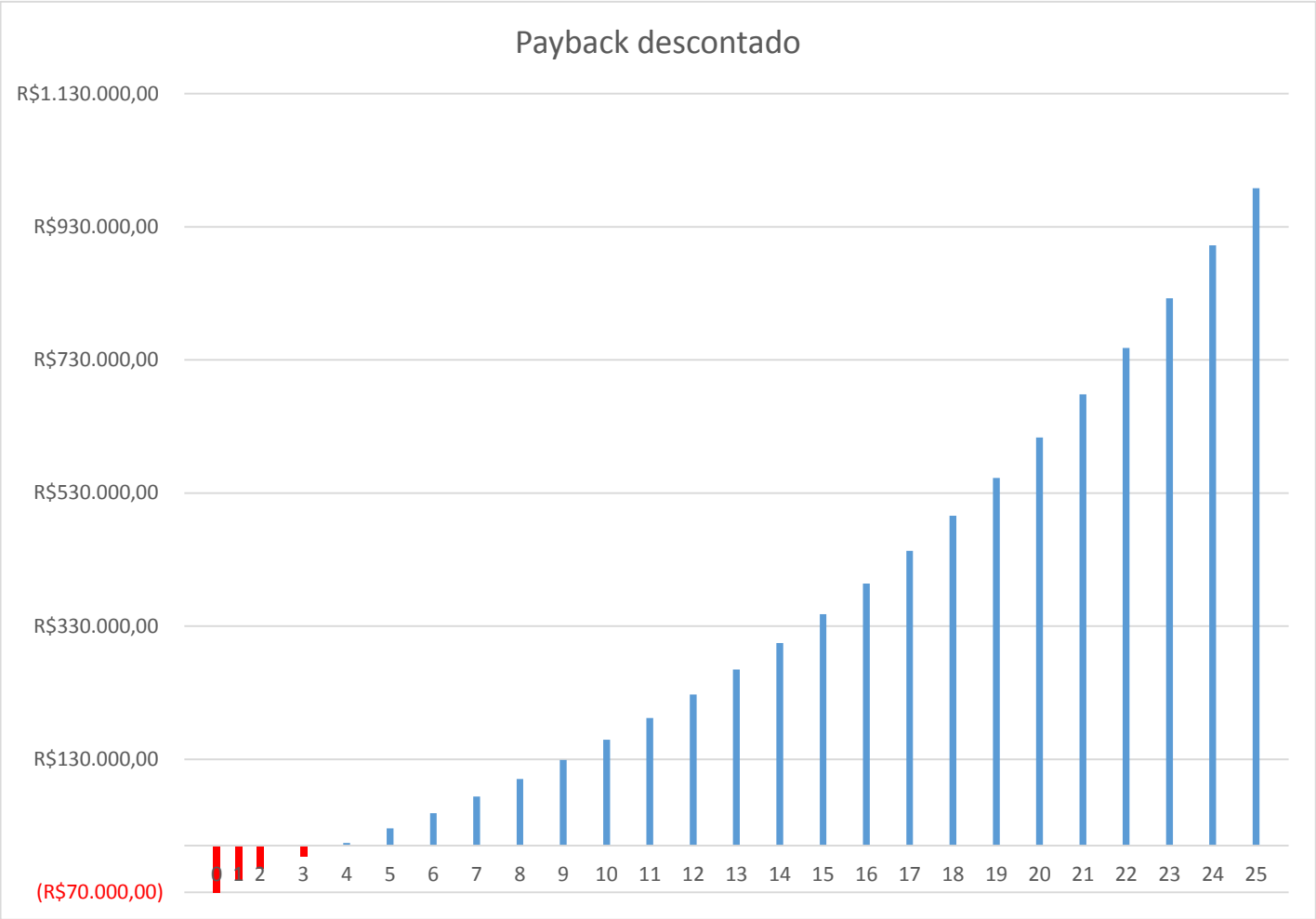


			R\$ 57.386,91		R\$ 56.970,03	R\$ 52.868,19	R\$ 496.078,00
19	18.183,73	R\$ 3,38	R\$ 61.481,93	R\$ 458,56	R\$ 61.023,37	R\$ 56.629,69	R\$ 552.707,69
20	18.038,26	R\$ 3,65	R\$ 65.869,25	R\$ 504,41	R\$ 65.364,84	R\$ 60.658,57	R\$ 613.366,26
21	17.893,95	R\$ 3,94	R\$ 70.569,66	R\$ 554,85	R\$ 70.014,81	R\$ 64.973,74	R\$ 678.340,00
22	17.750,80	R\$ 4,26	R\$ 75.605,48	R\$ 610,33	R\$ 74.995,15	R\$ 69.595,50	R\$ 747.935,49
23	17.608,80	R\$ 4,60	R\$ 81.000,48	R\$ 671,36	R\$ 80.329,12	R\$ 74.545,42	R\$ 822.480,92
24	17.467,92	R\$ 4,97	R\$ 86.780,67	R\$ 738,49	R\$ 86.042,18	R\$ 79.847,15	R\$ 902.328,06
25	17.328,18	R\$ 5,37	R\$ 92.973,34	R\$ 812,33	R\$ 92.161,01	R\$ 85.525,42	R\$ 987.853,48

Fonte: adaptado MARCHIORO (2018).

Depois de realizadas as análises de fluxo de caixa, podemos observar na Tabela 7, o saldo se torna positivo após o 4<sup>o</sup> ano do investimento e apresentando ao final da vida útil do sistema uma receita líquida de + R\$ 987.853,48. E também podemos analisar na Figura 32, os dados agregados do payback no total dos 25 anos de durabilidade do sistema, onde além do valor tem-se a variável tempo, onde deixa o cálculo mais preciso.

**Figura 32:** Valores do payback descontado.



Fonte: Autor (2018).

## 7. CONCLUSÃO

Após observar que não apenas o investimento tem um retorno significativo e rápido de aproximadamente 4 anos, isso se justifica pelo motivo de os três primeiros anos ser apenas compensado os investimentos do sistema e não gerando lucro, após isso o retorno se torna positivo e de agora em diante a energia produzida trará o retorno desejado, além disso podemos observar também que com um projeto desses, não só diminuimos os custos com a tarifa de energia elétrica, mas também estamos incentivando outros possíveis clientes e consumidores desse sistema, pessoas que até já pensaram em ter um sistema assim, mas que ainda não sabiam de todas as vantagens que podem lhe oferecer tanto financeira como ecologicamente correta. Esse projeto desperta o interesse de um retorno investido ainda sendo superior a aplicações financeiras o que se torna um investimento favorável tecnicamente e economicamente, tendo um retorno financeiro em cerca de 4 anos de uso do sistema e ainda tendo o proveito de 21 anos de produção de energia elétrica, sabendo que essa produção trará um bom retorno financeiro, que devidamente planejados podem ser investidos em outras áreas da empresa por exemplo.

Diante das constatações feitas sobre esse sistema que vem crescendo cada dia mais ao nosso redor, tanto em descobertas de novas formas de produção de energia limpa, mas na diminuição da poluição do nosso planeta, cabe a nós observar que nossos próximos anos tendem a dar grandes passos em busca dessas novas tecnologias, tentando não apenas minimizar custos de instalação mas como também ajudar nosso planeta a se manter em pé por muito mais tempo sem que possamos explorar tanto assim as riquezas naturais, hídricas e fósseis que possuímos.

Além de toda essa busca por mudança, não só das empresas do ramo, mas também de pequenos empresários que buscam o conhecimento sobre o assunto, assim gerando novos empregos, fomentando o capital de giro de uma cidade por exemplo, apostando nisso, os bancos estão procurando medidas de incentivo para apoiar essas novas tecnologias para quem realmente que ajudar não só a busca por essas novas formas de minigeração e microgeração, mas também uma forma de desenvolver padrões sustentáveis.

Por fim os objetivos do estudo foram completamente alcançados, mostrando que não apenas vale o investimento na geração solar fotovoltaica, mas também que a representação da produção e dos gastos com a tarifa compensam perfeitamente todo o investimento realizado. E por fim e não menos importante é ver a satisfação do cliente com seu sistema funcionando e trazendo seu investimento de volta em pouco tempo.

## 8. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 16149. **Sistemas Fotovoltaicos (FV)** – Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Primeira edição. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1 de março de 2013b.

ABNT NBR 5410:2004. **Instalações elétricas de baixa tensão**. Associação Brasileira de normas técnicas.

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – Prodist: Módulo 3** – acesso ao sistema de distribuição. Revisão 5.14 de dezembro de 2012c.

ANEEL - Nota Técnica nº 166/2017-SGT/ANEEL **Homologação das Tarifas de Energia – TE e das Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição – TUSD referentes à RGE - Rio Grande Energia S/A. e demais providências pertinentes ao seu Reajuste Tarifário Anual de 2017**.

Aterramento de sistemas fotovoltaicos: disponível em: <<https://suaenergiasolar.com.br/aterramento-do-sistema-fotovoltaico/>> acessado em: 03 out. 2018.

BLUESOL. **Tabela de eficiência das células fotovoltaicas em diferentes planos de comparação**. Disponível: <<http://blog.bluesol.com.br/wpcontent/uploads/2017/02/compara%C3%A7%C3%A3o-de-eficiencia-entre-c%C3%A9lulas-fotovoltaicas.png>>. Acesso em: 20 set. 2018.

BUCHSBAUM, Paulo. **Processos de interação da radiação solar com os principais constituintes atmosféricos**. Disponível em: <<https://medium.com/@paulobuchsbaum/aquecimento-global-para-leigos-70f3970d9617>>. Acesso em: 13 set. 2018.

CALCULADORA DO CIDADÃO. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/metodologiaCorrigirPelaPoupanca.do?method=metodologiaCorrigirPelaPoupanca>>. Acesso em: 05 de ou. 2018.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CEPEL- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica; CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.

EFITRON. **Modelos de módulos solares fotovoltaicos de c-Si com vários tamanhos e potências**. Disponível em: <<https://efitron.com/placas-solares/>>. Acesso em: 04 set. 2018.

HERING, G. **Enter the dragon**. Photon international. Março de 2012a. p. 132-161.

NEOSOLAR. **Modelo de chave seccionadora.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/chave-seccionadora-fotovoltaica-schneider-c60na.html>>. Acesso em: 03 out. 2018.

Minha casa solar. **Módulos solares.** Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/suporte-p-4-modulos-de-240w-a-330w-para-telhado-ondulado-rs225-79177>>. Acessado em: 28 out. 2018

**Modelo de disjuntor.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/disjuntor-schneider-1000dc-10a-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 03 out. 2018.

**Modelo de DPS.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/dps-schneider-prd-dc40r-600pv-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 03 out. 2018.

PEREIRA, Enio Bueno. [et al.]. **Atlas brasileiro de energia solar.** São José dos Campos: INPE, 2006.

PINTO, Milton de Oliveira. **Energia elétrica: geração, transmissão e sistemas interligados.** Rio de Janeiro: 1. ed – LTC, 2014.

POLUX. **Modelo de sistema onde há uso de transformador.** Disponível em: <<http://polux.ind.br/transformadores-trifasicos/transformador-solar>>. Acesso em: 25 set. 2018.

PORTAL SOLAR. **Placa silício policristalino (p-Si).** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 10 set. 2018.

PUCCINI, Ernesto Coutinho. **Matemática financeira e análise de investimentos.** / Ernesto Coutinho Puccini. – Florianópolis : Departamento de Ciências da Administração / UFSC; [Brasília] : CAPES : UAB, 2011.

RABUSKE, R.; Friedrich, L. R., Fontoura, F. B. B., 2016. **Análise da viabilidade para implantação de energia fotovoltaica com utilização para sombreamento de estacionamento.** XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa – Paraíba.

Taxa mínima de atratividade. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/taxa-minima-de-atratividade-tma/>> acesso 08 out. 2018.

**Painel de silício amorfo cristalino.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 10 set. 2018.

**Placa de telureto de cádmio (CdTe).** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 10 set. 2018.

**Placa de Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS E CIGS).** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 10 set. 2018.

**Inversor fotovoltaico para conexão à rede sem uso de transformador.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>>. Acesso em: 25 set. 2018.

**Fixação com uso de parafuso prisioneiro com interface entre o trilho e a cobertura.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 26 set. 2018.

**Fixação em telhas de barro usando gancho como interface entre o trilho e a cobertura.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 26 set. 2018.

**Fixação para coberturas com telha de fibrocimento.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acessado em: 26 set. 2018.

**Fixação para coberturas metálicas.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acessado em: 26 set. 2018.

**Fixação em lajes de concreto.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acessado em: 26 set. 2018.

**Fixação no solo.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acessado em: 26 set. 2018.

**PROGRAMA DE GERAÇÃO DISTRIBUIDA.** Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030)>. Acesso em: 17 set. 2018.

**REVISTA CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS. Inversores e métodos de funcionamento.** Vol.15, nº 1, Jan/Jun 2013.

**Sistema com inversor central, com conjunto de módulos fotovoltaicos junto com diodos de bloqueio de cada string, inversor e rede elétrica.** Vol.15, nº 1, Jan/Jun 2013.

**Sistema conectado à rede com inversores string, junto com módulos fotovoltaicos, inversores e a rede elétrica.** Vol.15, nº 1, Jan/Jun 2013.

**Remuneração dos Depósitos de Poupança.** Disponível em:  
<<https://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp>>. Acesso em: 05 out. 2018.

SNAPSHOT OF GLOBAL PHOTOVOLTAIC MARKETS – IEA International Energy Agency. 2018.

## ANEXO A – CÁTALOGO DA PLACA SOLAR UTILIZADO NO ESTUDO DE CASO



ANEXO B – CATALOGO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA UTILIZADO NO ESTUDO  
DE CASO

## ANEXO C – PROJETO ELETRICO E PLANTA BAIXA DO ABATEDOURO

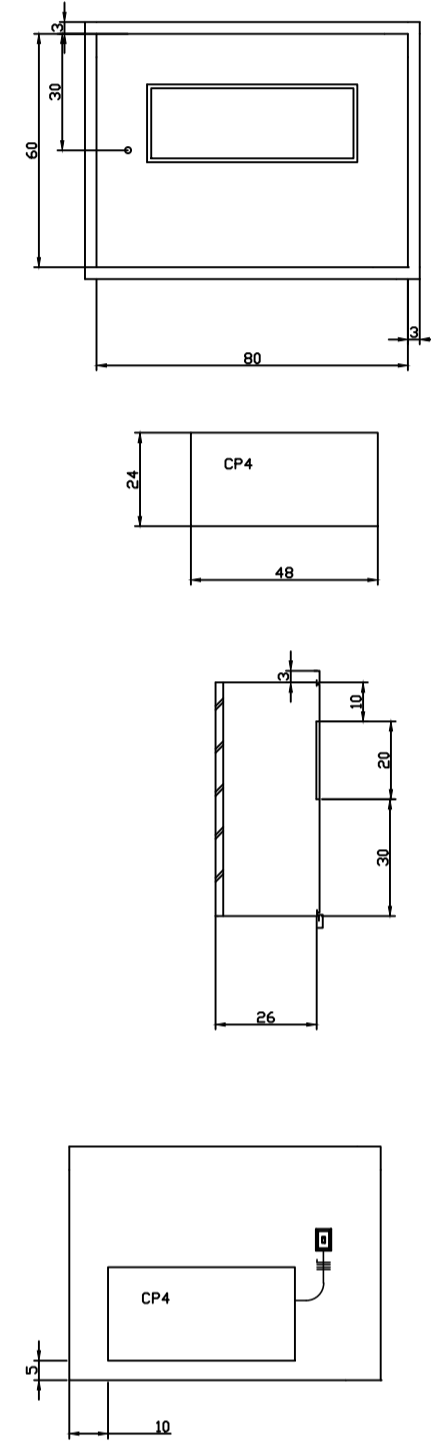
ANEXO D – FOTOS DO LOCAL ONDE FOI FEITO O ESTUDO DE CASO



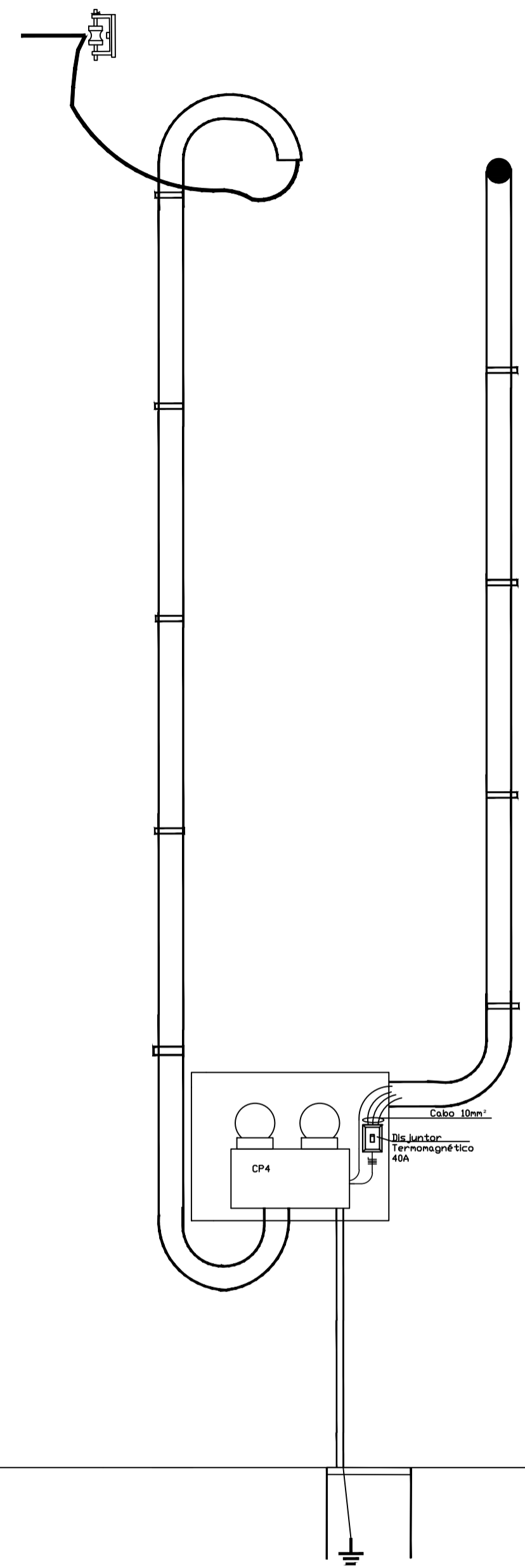


# Entrada de Energia Elétrica

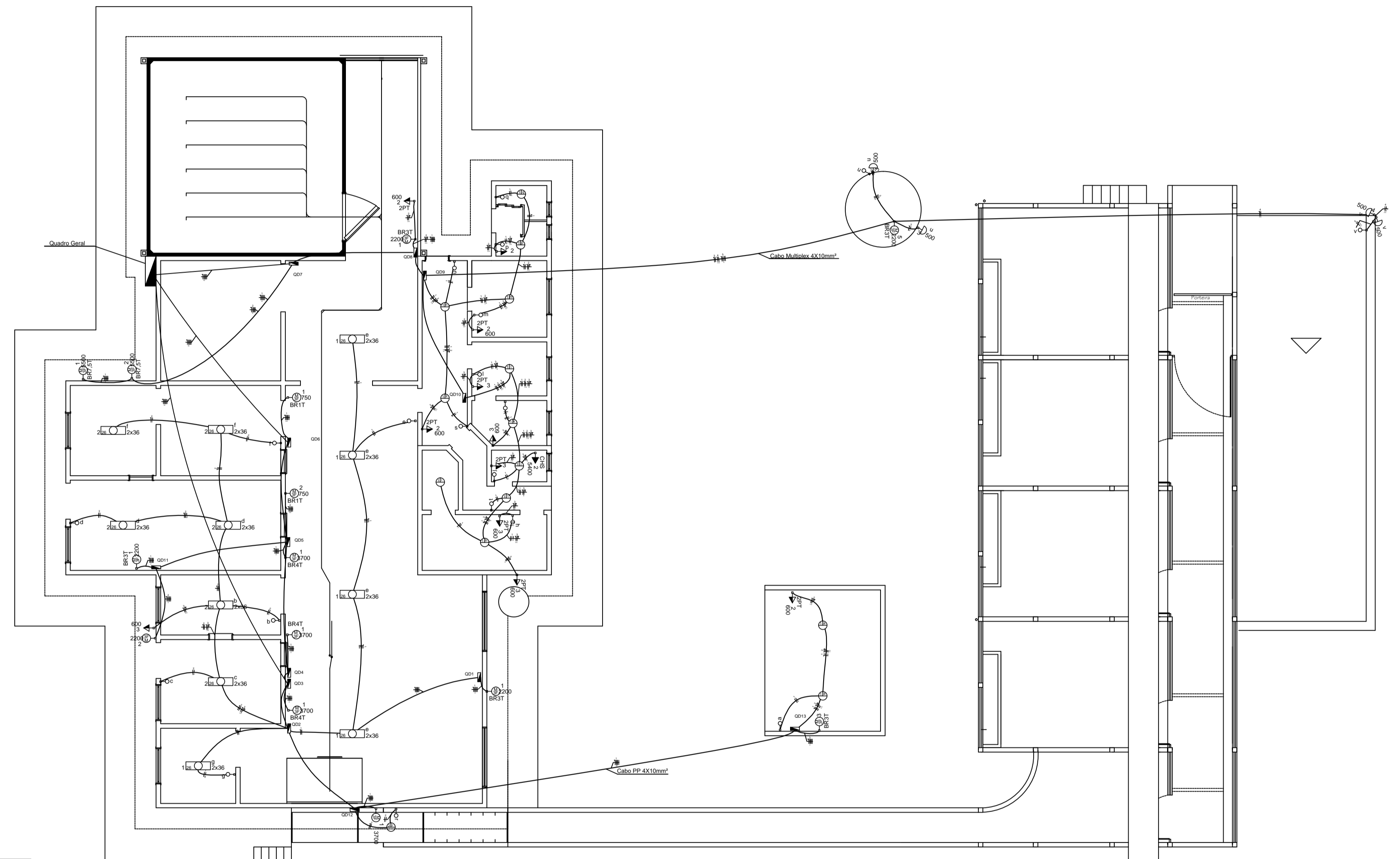
## Detalhes



## Parede Frigorífico



# Planta Baixa Abatedouro



## Quadros de Carga

## Legenda

Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Bomba d'água 01	2200	R+S+T	2.5	25.0
TOTAL		2200	R+S+T	2.5	25.0

Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Moedor de Carne	2200	R+S+T	4	25.0
2	Tomada Geral	600	R	2.5	10.0
TOTAL		2800	R+S+T	6	30.0

Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Guincho 03	3700	R+S+T	4	25.0
2	Serra 01	750	R+S+T	2.5	10.0
TOTAL		4450	R+S+T	6	30.0

Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Limpa Bucha	2200	R+S+T	4	25.0
2	Bomba d'água 02	2200	R+S+T	4	25.0
TOTAL		4400	R+S+T	6	30.0

Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Iluminação Frigorífico 01	360	S	1.5	10.0
2	Iluminação Frigorífico 02	432	S	1.5	10.0
3	Tomada Uso Geral	600	S	2.5	10.0
TOTAL		1392	S	4	30.0

Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Iluminação 01 Escritórios	500	R	1.5	10.0
2	Tomadas Gerais	1800	R	2.5	20.0
3	Refletor 01	1000	S	1.5	10.0
4	Refletor 02	1000	S	2.5	10.0
5	Bomba d'água 03	2200	R+S+T	4	25.0
TOTAL		6500	R+S+T	6	30.0

Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Serra 02	750	R+S+T	2.5	10.0
TOTAL		750	R+S+T	2.5	10.0

Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Compressor 5CV	3700	R+S+T	6	30.0
2	Iluminação abate	100	S	1.5	10.0
TOTAL		3800	R+S+T	6	30.0

Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Guincho 01	3700	R+S+T	4	25.0
TOTAL		3700	R+S+T	4	25.0

Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Iluminação 02 Escritório	600	R	1.5	10.0
2	Chuveiro	5400	T	2.5	20.0
3	Tomadas Gerais	3000	R	4	25.0
TOTAL		6100	R	6	30.0

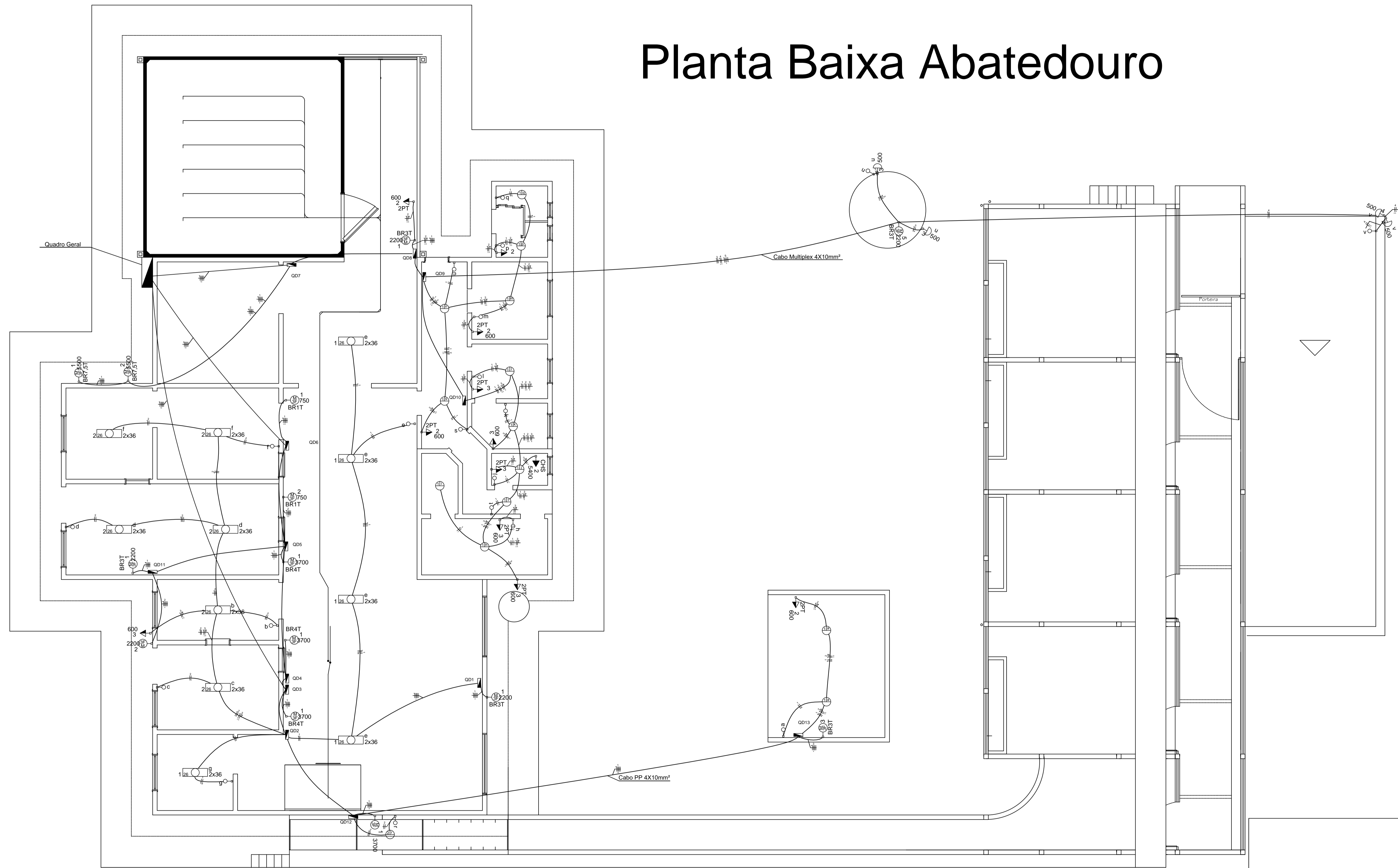
Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Câmara Fria 01	5500	R+S+T	6	30.0
2	Câmara Fria 02	5500	R+S+T	6	30.0
TOTAL		11000	R+S+T	6	40.0

Circuito	Descrição	Pot. total (W)	Fases	Seção (mm <sup>2</sup> )	Disj (A)
1	Iluminação Caldeira	200	S	1.5	10.0
2	Tomada Geral	600	S	2.5	10.0
3	Caldeira	2200	R+S+T	4	32.0
TOTAL		3000	R+S+T	6	30.0

○-C36	Inteligor simples 1 mca - 1,10m do piso
○-h	Inteligor simples 2 mca - 1,10m do piso
○-h	Luminação pl. lâmp. fluor. tubular - sobrepôr
○-h	Luminação pl. lâmp. incand. comum - parede
○-h	Luminação pl. lâmpada incand. comum - teto
○-h	Ponto 2P+T a 2,20m do piso
○-h	Ponto 3P+T a 0,30m do piso
○-h	Quadro de distribuição - embutir a 1,50m do piso
○-h	Tomada universal 2P+T a 1,10m do piso

RESPONSÁVEL TÉCNICO:	
Engenheiro Eletricista	
ASSINATURA PROPRIETÁRIO:	
TÍTULO: Projeto Elétrico	
PROPRIETÁRIO: Abat. Com. de Carnes	
TIPO DE CONSTRUÇÃO: Abatedouro	
ENDEREÇO:	MUNICÍPIO: Barracão-RS
DESCRIÇÃO: Quadro de Entrada de Energia El. Detalhes Q. Energia Elétrica Quadro de Cargas / Legenda Planta Baixa Abatedouro	ÁREA DO TERRENO: --
	ÁREA CONSTRUÍDA: --
	DESENHO:
PRANCHA: 1/2	DATA: Mar/2016
	ESCALA: sem escala

# Planta Baixa Abatedouro



RESPONSÁVEL TÉCNICO:	
Engenheiro Eletricista	
ASSINATURA PROPRIETÁRIO:	
TÍTULO: Projeto Elétrico	
PROPRIETÁRIO: Abat. Com. de Carnes	
TIPO DE CONSTRUÇÃO: Abatedouro	
ENDEREÇO:	MUNICÍPIO:
DESCRIÇÃO: Planta Baixa Abatedouro	ÁREA DO TERRENO: --
	ÁREA CONSTRUÍDA: --
	DESENHO:
PRANCHA: 2/2	DATA: Mar/2016
	ESCALA: sem escala



## MAXPOWER CS6U-325 | 330 | 335 | 340P

Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

**25**  
years  
linear power output warranty

**10**  
years  
product warranty on materials  
and workmanship

### KEY FEATURES



Excellent module efficiency of up to: 17.49 %



Outstanding low irradiance performance of up to: 96.0 %



High PTC rating of up to: 92.21 %



IP68 junction box for long-term weather endurance



Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2008 / Quality management system

ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system

OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CQC / MCS / INMETRO / CEC AU

UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)

UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE

UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1

IEC 60068-2-68: SGS

Take-e-way

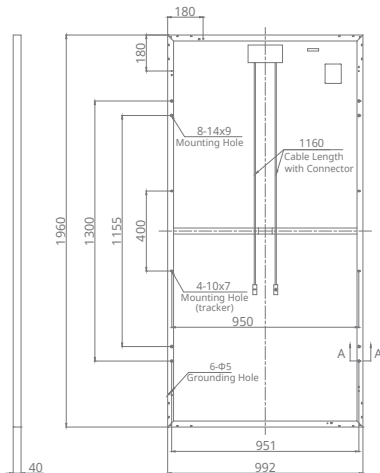


\* Please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific product certificates applicable in your market.

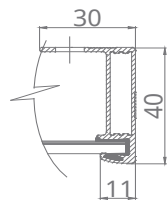
**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 21 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

## ENGINEERING DRAWING (mm)

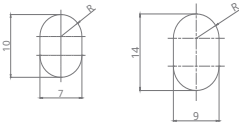
### Rear View



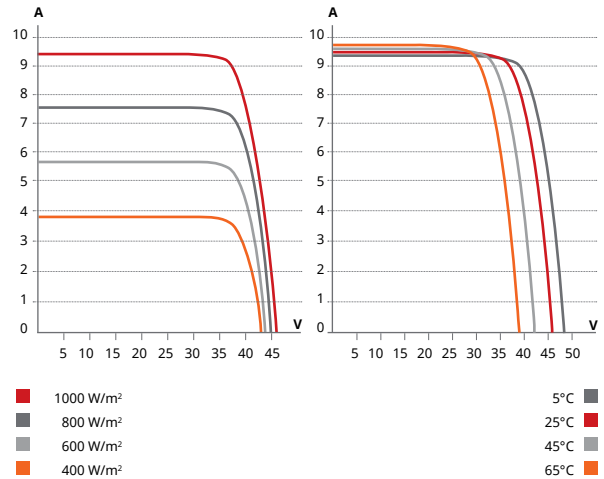
### Frame Cross Section A-A



### Mounting Hole



## CS6U-330P / I-V CURVES



## ELECTRICAL DATA | STC\*

CS6U	325P	330P	335P	340P
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W	340 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.0 V	37.2 V	37.4 V	37.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.78 A	8.88 A	8.96 A	9.05 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.6 V	45.8 V	45.9 V
Short Circuit Current (Isc)	9.34 A	9.45 A	9.54 A	9.62 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%	17.49%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

## ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS6U	325P	330P	335P	340P
Nominal Max. Power (Pmax)	239 W	242 W	246 W	250 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.0 V	34.2 V	34.4 V	34.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.01 A	7.08 A	7.15 A	7.22 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.4 V	42.5 V	42.6 V	42.7 V
Short Circuit Current (Isc)	7.54 A	7.63 A	7.70 A	7.77 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

## PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.0 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

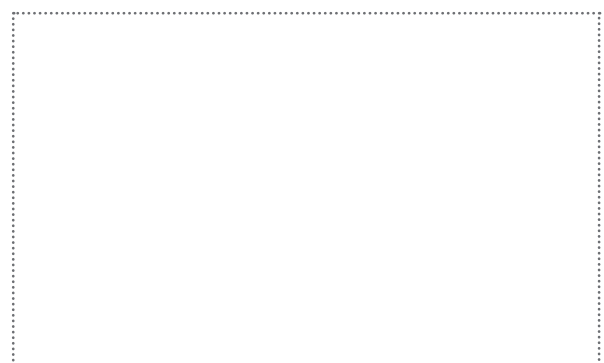
## MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 40 mm (77.2 × 39.1 × 1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 diodes
Cable	4.0 mm² (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	26 pieces, 635 kg (1400 lbs)
Per Container (40' HQ)	624 pieces

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 2 °C

## PARTNER SECTION





# FRONIUS SYMO

/ Maximum flexibility for the applications of tomorrow.



/ PC board replacement process



/ SnapINverter technology



/ Integrated data communication



/ SuperFlex Design



/ Dynamic Peak Manager



/ Smart Grid Ready



/ Boasting power categories ranging from 3.0 to 20.0 kW, the transformerless Fronius Symo is the three-phase inverter for systems of every size. Owing to the SuperFlex Design, the Fronius Symo is the perfect answer to irregularly shaped or multi-oriented roofs. The standard interface to the internet via WLAN or Ethernet and the ease of integration of third-party components make the Fronius Symo one of the most communicative inverters on the market. Furthermore, the meter interface permits dynamic feed-in management and a clear visualisation of the consumption overview.

## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

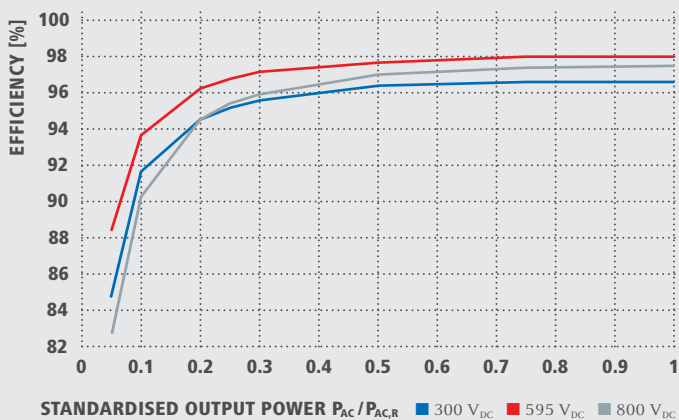
INPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Max. input current ( $I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}^{1)}$ )				16.0 A / 16.0 A		
Max. array short circuit current (MPP <sub>1</sub> /MPP <sub>2</sub> <sup>1)</sup> )				24.0 A / 24.0 A		
Min. input voltage ( $U_{dc\ min}$ )				150 V		
Feed-in start voltage ( $U_{dc\ start}$ )				200 V		
Nominal input voltage ( $U_{dc,r}$ )				595 V		
Max. input voltage ( $U_{dc\ max}$ )				1,000 V		
MPP voltage range ( $U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$ )	200 - 800 V	250 - 800 V	300 - 800 V	150 - 800 V		
Number MPP trackers	1			2		
Number of DC connections	3			2+2		
OUTPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
AC nominal output ( $P_{ac,r}$ )	3,000 W	3,700 W	4,500 W	3,000 W	3,700 W	4,500 W
Max. output power	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA
Max. output current ( $I_{ac\ max}$ )	4.8 A	5.9 A	7.2 A	4.8 A	5.9 A	7.2 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)					
Frequency (Frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)					
Total harmonic distortion	< 3 %					
Power factor ( $\cos\ \varphi_{ac,r}$ )	0.70 - 1 ind. / cap.			0.85 - 1 ind. / cap.		
GENERAL DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Dimensions (height x width x depth)				645 x 431 x 204 mm		
Weight	16.0 kg			19.9 kg		
Degree of protection				IP 65		
Protection class				1		
Overvoltage category (DC / AC) <sup>2)</sup>				2 / 3		
Night time consumption				< 1 W		
Inverter design				Transformerless		
Cooling				Regulated air cooling		
Installation				Indoor and outdoor installation		
Ambient temperature range				-25 - +60 °C		
Permitted humidity				0 - 100 %		
Max. altitude				2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)		
DC connection technology	3x DC+ and 3x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>			4x DC+ and 4x DC- screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>3)</sup>		
Mains connection technology	5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>			5-pole AC screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>3)</sup>		
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777 <sup>1)</sup> , CEI 0-21 <sup>1)</sup>					

<sup>1)</sup> This applies to Fronius Symo 3.0-3-M, 3.7-3-M and 4.5-3-M.

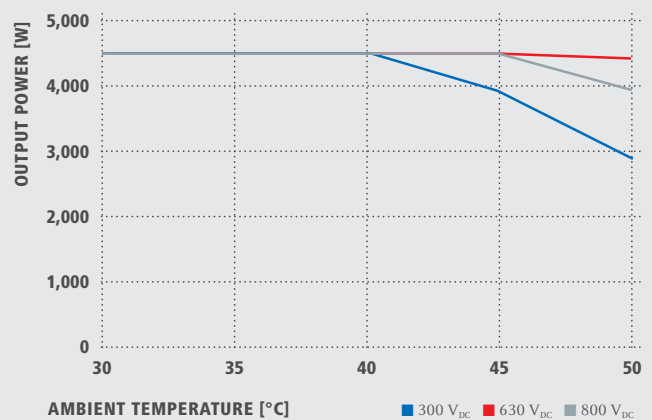
<sup>2)</sup> According to IEC 62109-1.

<sup>3)</sup> 16 mm<sup>2</sup> without wire end ferrules. Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

## FRONIUS SYMO 4.5-3-S EFFICIENCY CURVE



## FRONIUS SYMO 4.5-3-S TEMPERATURE DERATING



## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

EFFICIENCY	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Max. efficiency	98.0 %					
European efficiency ( $\eta_{EU}$ )	96.2 %	96.7 %	97.0 %	96.5 %	96.9 %	97.2 %
$\eta$ at 5 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	80.3 / 83.6 / 79.1 %	83.4 / 86.4 / 80.6 %	84.8 / 88.5 / 82.8 %	79.8 / 85.1 / 80.8 %	81.6 / 87.8 / 82.8 %	83.4 / 90.3 / 85.0 %
$\eta$ at 10 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	87.8 / 91.0 / 86.2 %	90.1 / 92.5 / 88.7 %	91.7 / 93.7 / 90.3 %	86.5 / 91.6 / 87.7 %	87.9 / 93.6 / 90.5 %	89.2 / 94.1 / 91.2 %
$\eta$ at 20 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	92.6 / 95.0 / 92.6 %	93.7 / 95.7 / 93.6 %	94.6 / 96.3 / 94.5 %	90.8 / 95.3 / 93.0 %	91.9 / 96.0 / 94.1 %	92.8 / 96.5 / 95.1 %
$\eta$ at 25 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	93.4 / 95.6 / 93.8 %	94.5 / 96.4 / 94.7 %	95.2 / 96.8 / 95.4 %	91.9 / 96.0 / 94.2 %	92.9 / 96.6 / 95.2 %	93.5 / 97.0 / 95.8 %
$\eta$ at 30 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	94.0 / 96.3 / 94.5 %	95.0 / 96.7 / 95.4 %	95.6 / 97.2 / 95.9 %	92.8 / 96.5 / 95.1 %	93.5 / 97.0 / 95.8 %	94.2 / 97.3 / 96.3 %
$\eta$ at 50 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	95.2 / 97.3 / 96.3 %	96.9 / 97.6 / 96.7 %	96.4 / 97.7 / 97.0 %	94.3 / 97.5 / 96.5 %	94.6 / 97.7 / 96.8 %	94.9 / 97.8 / 97.2 %
$\eta$ at 75 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	95.6 / 97.7 / 97.0 %	96.2 / 97.8 / 97.3 %	96.6 / 98.0 / 97.4 %	94.9 / 97.8 / 97.2 %	95.0 / 97.9 / 97.4 %	95.1 / 98.0 / 97.5 %
$\eta$ at 100 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	95.6 / 97.9 / 97.3 %	96.2 / 98.0 / 97.5 %	96.6 / 98.0 / 97.5 %	95.0 / 98.0 / 97.4 %	95.1 / 98.0 / 97.5 %	95.0 / 98.0 / 97.6 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %					

<sup>1)</sup> And at  $U_{mpp\ min} / U_{dc,r} / U_{mpp\ max}$

PROTECTIVE DEVICES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
DC insulation measurement	Yes					
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation					
DC disconnecter	Yes					

INTERFACES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)					
6 inputs and 4 digital in/out	Interface to ripple control receiver					
USB (A socket) <sup>2)</sup>	Datalogging, inverter update via USB flash drive					
2x RS422 (RJ45 socket) <sup>2)</sup>	Fronius Solar Net, interface protocol					
Signalling output <sup>2)</sup>	Energy management (potential-free relay output)					
Datalogger and Webservice	Included					
External input	SO-Meter Interface / Input for overvoltage protection					
RS485 <sup>3)</sup>	Modbus RTU SunSpec or meter connection					

<sup>2)</sup> Also available in the light version. <sup>3)</sup> Available from autumn 2014.

## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

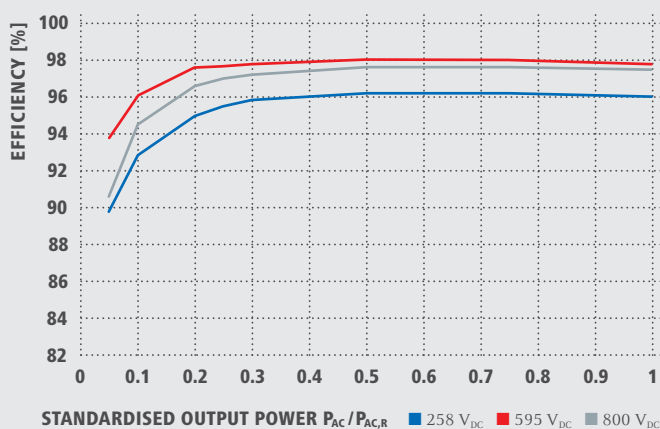
INPUT DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Max. input current ( $I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$ )	16.0 A / 16.0 A			
Max. array short circuit current ( $MPP_1/MPP_2$ )	24.0 A / 24.0 A			
Min. input voltage ( $U_{dc\ min}$ )	150 V			
Feed-in start voltage ( $U_{dc\ start}$ )	200 V			
Nominal input voltage ( $U_{dc,r}$ )	595 V			
Max. input voltage ( $U_{dc\ max}$ )	1,000 V			
MPP voltage range ( $U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$ )	163 - 800 V	195 - 800 V	228 - 800 V	267 - 800 V
Number MPP trackers	2			
Number of DC connections	2 + 2			
OUTPUT DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
AC nominal output ( $P_{ac,r}$ )	5,000 W	6,000 W	7,000 W	8,200 W
Max. output power	5,000 VA	6,000 VA	7,000 VA	8,200 VA
Max. output current ( $I_{ac\ max}$ )	8.0 A	9.6 A	11.2 A	13.1 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)			
Frequency (Frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)			
Total harmonic distortion	< 3 %			
Power factor ( $\cos\ \varphi_{ac,r}$ )	0.85 - 1 ind. / cap.			
GENERAL DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Dimensions (height x width x depth)	645 x 431 x 204 mm			
Weight	19.9 kg			21.9 kg
Degree of protection	IP 65			
Protection class	1			
Overvoltage category (DC / AC) <sup>1)</sup>	2 / 3			
Night time consumption	< 1 W			
Inverter design	Transformerless			
Cooling	Regulated air cooling			
Installation	Indoor and outdoor installation			
Ambient temperature range	-25 - +60 °C			
Permitted humidity	0 - 100 %			
Max. altitude	2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)			
DC connection technology	4x DC+ and 4x DC- Screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>2)</sup>			
Mains connection technology	5-pole AC Screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>2)</sup>			
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-21			

<sup>1)</sup> According to IEC 62109-1.

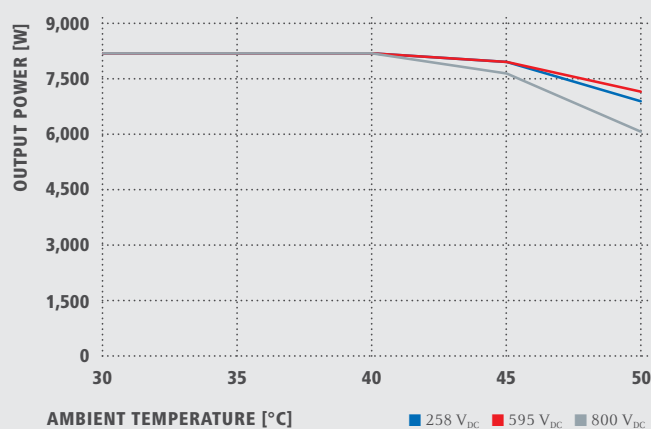
<sup>2)</sup> 16 mm<sup>2</sup> without wire end ferrules.

Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

## FRONIUS SYMO 8.2-3-M EFFICIENCY CURVE



## FRONIUS SYMO 8.2-3-M TEMPERATURE DERATING



## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

EFFICIENCY	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Max. efficiency	98.0 %			
European efficiency ( $\eta_{EU}$ )	97.3 %	97.5 %	97.6 %	97.7 %
$\eta$ at 5 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	84.9 / 91.2 / 85.9 %	87.8 / 92.6 / 87.8 %	88.7 / 93.1 / 89.0 %	89.8 / 93.8 / 90.6 %
$\eta$ at 10 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	89.9 / 94.6 / 91.7 %	91.3 / 95.6 / 93.0 %	92.0 / 95.9 / 94.7 %	92.8 / 96.1 / 94.5 %
$\eta$ at 20 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	93.2 / 96.7 / 95.4 %	94.1 / 97.1 / 95.9 %	94.5 / 97.3 / 96.3 %	95.0 / 97.6 / 96.6 %
$\eta$ at 25 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	93.9 / 97.2 / 96.0 %	94.7 / 97.5 / 96.5 %	95.1 / 97.6 / 96.7 %	95.5 / 97.7 / 97.0 %
$\eta$ at 30 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	94.5 / 97.4 / 96.5 %	95.1 / 97.7 / 96.8 %	95.4 / 97.7 / 97.0 %	95.8 / 97.8 / 97.2 %
$\eta$ at 50 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	95.2 / 97.9 / 97.3 %	95.7 / 98.0 / 97.5 %	95.9 / 98.0 / 97.5 %	96.2 / 98.0 / 97.6 %
$\eta$ at 75 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	95.3 / 98.0 / 97.5 %	95.7 / 98.0 / 97.6 %	95.9 / 98.0 / 97.6 %	96.2 / 98.0 / 97.6 %
$\eta$ at 100 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	95.2 / 98.0 / 97.6 %	95.7 / 97.9 / 97.6 %	95.8 / 97.9 / 97.5 %	96.0 / 97.8 / 97.5 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %			

<sup>1)</sup> And at  $U_{mpp, min} / U_{dc,r} / U_{mpp, max}$

PROTECTIVE DEVICES	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
DC insulation measurement	Yes			
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation			
DC disconnecter	Yes			

INTERFACES	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)			
6 inputs and 4 digital in/out	Interface to ripple control receiver			
USB (A socket) <sup>2)</sup>	Datalogging, inverter update via USB flash drive			
2x RS422 (RJ45 socket) <sup>2)</sup>	Fronius Solar Net, interface protocol			
Signalling output <sup>2)</sup>	Energy management (potential-free relay output)			
Datalogger and Webservice	Included			
External input	S0-Meter Interface / Input for overvoltage protection			
RS485 <sup>3)</sup>	Modbus RTU SunSpec or meter connection			

<sup>2)</sup> Also available in the light version. <sup>3)</sup> Available from autumn 2014.

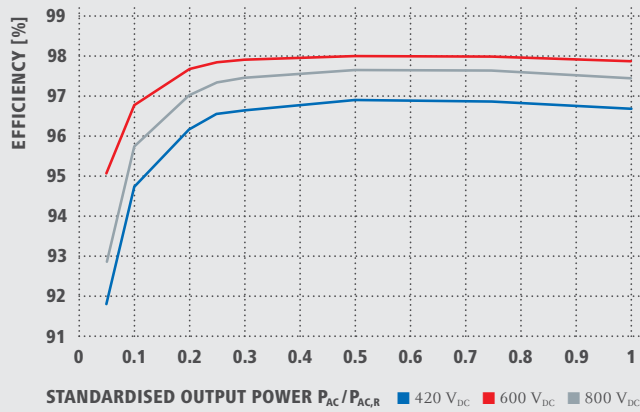
## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

INPUT DATA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Max. input current ( $I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$ )	27.0 A / 16.5 A		33.0 A / 27.0 A		
Max. array short circuit current (MPP <sub>1</sub> /MPP <sub>2</sub> )	40.5 A / 24.8 A		49.5 A / 40.5 A		
Min. input voltage ( $U_{dc\ min}$ )	200 V				
Feed-in start voltage ( $U_{dc\ start}$ )	200 V				
Nominal input voltage ( $U_{dc,r}$ )	600 V				
Max. input voltage ( $U_{dc\ max}$ )	1,000 V				
MPP voltage range ( $U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$ )	270 - 800 V	320 - 800 V		370 - 800 V	420 - 800 V
Number MPP trackers	2				
Number of DC connections	3+3				
OUTPUT DATA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
AC nominal output ( $P_{ac,r}$ )	10,000 W	12,500 W	15,000 W	17,500 W	20,000 W
Max. output power	10,000 VA	12,500 VA	15,000 VA	17,500 VA	20,000 VA
Max. output current ( $I_{ac\ max}$ )	16.0 A	19.9 A	23.9 A	27.9 A	31.9 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)				
Frequency (Frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Total harmonic distortion	< 2 %				
Power factor ( $\cos\ \varphi_{ac,r}$ )	0 - 1 ind. / cap.				
GENERAL DATA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Dimensions (height x width x depth)	725 x 510 x 225 mm				
Weight	34.8 kg		43.4 kg		
Degree of protection	IP 66				
Protection class	1				
Overvoltage category (DC / AC) <sup>1)</sup>	2 / 3				
Night time consumption	< 1 W				
Inverter design	Transformerless				
Cooling	Regulated air cooling				
Installation	Indoor and outdoor installation				
Ambient temperature range	-25 - +60 °C				
Permitted humidity	0 - 100 %				
Max. altitude	2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)				
DC connection technology	6x DC+ and 6x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>				
Mains connection technology	5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>				
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, G59/3, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21				

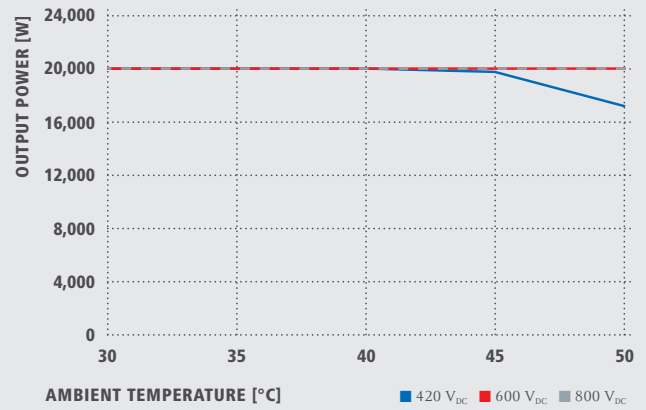
<sup>1)</sup> According to IEC 62109-1. DIN rail for optional overvoltage protection (type 2) is included.

Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

## FRONIUS SYMO 20.0-3-M EFFICIENCY CURVE



## FRONIUS SYMO 20.0-3-M TEMPERATURE DERATING



## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

EFFICIENCY	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Max. efficiency	98.0 %				
European efficiency ( $\eta_{EU}$ )	97.4%	97.6 %	97.8 %	97.8 %	97.9 %
$\eta$ at 5 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	87.9 / 92.5 / 89.2 %	88.7 / 93.1 / 90.1 %	91.2 / 94.8 / 92.3 %	91.6 / 95.0 / 92.7 %	91.9 / 95.2 / 93.0 %
$\eta$ at 10 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	91.2 / 94.9 / 92.8 %	92.9 / 96.1 / 94.6 %	93.4 / 96.0 / 94.4 %	94.0 / 96.4 / 95.0 %	94.8 / 96.9 / 95.8 %
$\eta$ at 20 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	94.6 / 97.1 / 96.1 %	95.4 / 97.3 / 96.6 %	95.9 / 97.4 / 96.7 %	96.1 / 97.6 / 96.9 %	96.3 / 97.8 / 97.1 %
$\eta$ at 25 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	95.4 / 97.3 / 96.6 %	95.6 / 97.6 / 97.0 %	96.2 / 97.6 / 97.0 %	96.4 / 97.8 / 97.2 %	96.7 / 97.9 / 97.4 %
$\eta$ at 30 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	95.6 / 97.5 / 96.9 %	95.9 / 97.7 / 97.2 %	96.5 / 97.8 / 97.3 %	96.6 / 97.9 / 97.4 %	96.8 / 98.0 / 97.6 %
$\eta$ at 50 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	96.3 / 97.9 / 97.4 %	96.4 / 98.0 / 97.5 %	96.9 / 98.1 / 97.7 %	97.0 / 98.1 / 97.7 %	97.0 / 98.1 / 97.8 %
$\eta$ at 75 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	96.5 / 98.0 / 97.6 %	96.5 / 98.0 / 97.6 %	97.0 / 98.1 / 97.8 %	97.0 / 98.1 / 97.8 %	97.0 / 98.1 / 97.7 %
$\eta$ at 100 % $P_{Ac,r}$ <sup>1)</sup>	96.5 / 98.0 / 97.6 %	96.5 / 97.8 / 97.6 %	97.0 / 98.1 / 97.7 %	96.9 / 98.1 / 97.6 %	96.8 / 98.0 / 97.6 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %				
PROTECTIVE DEVICES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
DC insulation measurement	Yes				
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation				
DC disconnecter	Yes				
INTERFACES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)				
6 inputs and 4 digital inputs/outputs	Interface to ripple control receiver				
USB (A socket) <sup>2)</sup>	Datalogging, inverter update via USB flash drive				
2x RS422 (RJ45-socket) <sup>2)</sup>	Fronius Solar Net, interface protocol				
Signalling output <sup>2)</sup>	Energy management (potential-free relay output)				
Datalogger und Webserver	Included				
External input	S0-Meter Interface / Input for overvoltage protection				
RS485 <sup>3)</sup>	Modbus RTU SunSpec or meter connection				

<sup>1)</sup> And at  $U_{mpp\ min} / U_{dc,r} / U_{mpp\ max}$  <sup>2)</sup> Also available in the light version. <sup>3)</sup> Available from autumn 2014.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

### WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,000 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our more than 850 active patents are testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com)

v02 Feb 2014 EN

Fronius India Private Limited  
GAT no 312, Nanekarwadi  
Chakan, Taluka - Khed District  
Pune 410501  
India  
pv-sales-india@fronius.com  
www.fronius.in

Fronius Australia Pty Ltd.  
90-92 Lambeck Drive  
Tullamarine VIC 3043  
Australia  
pv-sales-australia@fronius.com  
www.fronius.com.au

Fronius UK Limited  
Maidstone Road, Kingston  
Milton Keynes, MK10 0BD  
United Kingdom  
pv-sales-uk@fronius.com  
www.fronius.co.uk

Fronius International GmbH  
Froniusplatz 1  
4600 Wels  
Austria  
pv-sales@fronius.com  
www.fronius.com