UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO

PHILIPE PAULINO SCARTON

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA INDÚSTRIA DE SERRAGEM DE MÁRMORE E GRANITO EM CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM – ES

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2018

PHILIPE PAULINO SCARTON

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA INDÚSTRIA DE SERRAGEM DE MÁRMORE E GRANITO EM CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM – ES

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno Philipe Paulino Scarton, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Oureste Elias Batista

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2018

Dedico esse trabalho aos meus pais,
que fizeram e fazem de tudo para que
nossos sonhos se tornem realidade.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, por estar sempre presente na minha vida.

Agradecer aos meus queridos pais Joel e Ana Cristina, por sempre terem confiado em mim e nunca ter deixado de me apoiar

Aos meus irmãos Guilherme e Rafael, que sempre estiveram por perto quando necessitei.

A minha namorada que esteve comigo nos momentos que eu mais precisei.

Agradeço a todos meus amigos que me acompanharam durante as aulas e fora delas.

A todos os professores do curso de engenharia elétrica que me proporcionaram o meu aprendizado a ponto de elaborar este trabalho, em especial ao meu orientador, Prof. Oureste Elias Batista.

RESUMO

Na elaboração deste trabalho foi realizado um estudo de caso com análise de viabilidade técnica e econômica para instalação de sistema fotovoltaico interligado à rede de distribuição de energia local, na empresa GAP STONE mármores e granitos LTDA, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim - ES, empresa essa que trabalha com serragem de mármores e granitos. Realizou-se levantamentos de demanda de energia, consumo de energia e área que possibilita a instalação do sistema fotovoltaico na empresa, por meio de suas plantas básicas e faturas de energias correspondentes ao período de um ano. Com base nesses dados foi executado o dimensionamento do sistema fotovoltaico respeitando as normas vigentes, também foi efetuado o estudo de viabilidade econômica através do Valor Presente líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do período do *Payback*. Ao final do estudo, os resultados revelaram que o projeto é viável.

Palavras-Chave: Energia solar. Painéis fotovoltaicos. Sustentabilidade. Inversores

ABSTRACT

This work carried out a case study that with technical and economical feasibility analysis for installation of photovoltaic system interconnected to the local power distribution network, in the company GAP STONE marbles and granite LTDA, located in the municipality of Cachoeiro de Itapemirim - ES, company that which works with sawing of marbles and granites. A survey of the energy demand, energy consumption and area that made possible the installation of the photovoltaic system in the company, through its basic plants and energy bills corresponding to the period of one year. Based on these data, the design of the photovoltaic system was carried out respecting current standards. The economic viability study was also performed through the Net Present Value (NPV), the Internal Rate of Return and the Payback period. At the end of the study, the results showed that the project is viable.

Keywords: Solar energy. Photovoltaic panels. Sustainability. Investors

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Série histórica. 28
Gráfico 2 – Energia consumida durante o horário fora ponta no período de fevereiro de 2017 até janeiro de 2018 e energia gerada pelo sistema fotovoltaico. 34
Gráfico 3 – Custos por área do projeto 35
Gráfico 4 – Receita acumulada no primeiro cenário sem conversão para valores presentes. .. 40
Gráfico 5 – Receita acumulada no primeiro cenário convertida para valores presentes. 40
Gráfico 6 – Receita acumulada no segundo cenário sem conversão para valores presentes.... 41
Gráfico 7 – Receita acumulada no primeiro cenário convertida para valores presentes. 41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Célula solar 17
Figura 2 – Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício cristalino 18
Figura 3 - Matriz energética brasileira em 2018..... 19
Figura 4 - Localização da empresa. 21
Figura 5 – Tela Inicial do PVsyst V6.76 32
Figura 6 – Tela final da simulação realizada no software PVsyst V6.76 DEMO. 32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz energética brasileira em 2018 15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo ponta e fora de ponta detalhados. 22
Tabela 2 – Consumo de energia ativa durante o período de fevereiro de 2017 até o janeiro de 2018 em kWh 22
Tabela 3 – Dados de radiação solar para 0,901º S, 41,049º O (Estação Itapemirim, Itapemirim - ES) 23
Tabela 4 – Especificações painel fotovoltaico Canadian CSI CS6U-330P. 25
Tabela 5 – Dados de Entrada do inversor fronius eco 25.0-3-S 26
Tabela 6 – Dados de saída e dados gerais do inversor fronius eco 25.0-3-S 27
Tabela 7 – Valores de eficiência adotados 31
Tabela 8 – Estimativa de energia gerada durante um ano e energia consumida pela unidade consumidora durante o horário fora ponta no período de um ano. 33
Tabela 9 – Custos do projeto 35
Tabela 10 – Tarifas Médias por Região de 2013 a 2017(R$/MWh) 37
Tabela 11 – Cenário 1, apresentam os valores de entradas, saídas, valor futuro e valor presente. 38
Tabela 12 – Cenário 2, apresentam os valores de entradas, saídas, valor futuro e valor presente. 39
Tabela 13 – Resultados do balanço financeiro 42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
SFV	Sistemas Fotovoltaicos
BEN	Balanço Energético Nacional
VPL	Valor Presente Liquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
FDI	Fator de Dimensionamento dos Inversores
STC	Condição Padrão de Ensaio
IDEAL	Instituto Para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina
TMA	Taxa Mínima de Atratividade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 Apresentação 14
1.2 Objetivo 15
1.3 Organização do Projeto 15
2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS 16
2.1 Energia 16
2.2 Energia solar 16
2.3 Efeito Fotovoltaico e célula fotovoltaica 16
2.4 Energia solar no Brasil 18
3 METODOLOGIA 20
3.1 Local de estudo 20
3.2 Radiação solar do local 22
3.3 Orientação dos módulos 23
4 ESTUDO DE CASO 24
4.1 Escolha dos painéis fotovoltaicos 24
4.2 Escolha dos inversores 25
4.3 Determinação do arranjo 28
4.4 Rendimento do sistema 30
4.5 Cálculo da energia gerada 33
5. BALANÇO FINANCEIRO DO PROJETO 34
5.1. Custos do projeto 34
5.2 Valor Presente Líquido 35
5.3 Taxa interna de retorno – TIR 36
5.4 Payback 36

5.5 Resultados do balanço financeiro 37
5.6 Comparação entre o primeiro e o segundo cenário 41
6. CONCLUSÃO 43
7. REFERÊNCIAS 44
ANEXO A 45
ANEXO B 46
ANEXO C 49
ANEXO D 51

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A energia é um insumo fundamental para assegurar o desenvolvimento econômico e social de um país (ELETROBRÁS, 2005).

A energia elétrica é fundamental para praticamente todas as atividades que são realizadas no dia a dia. Está presente nas casas, indústrias, hospitais e outras construções. Hoje, a energia elétrica se tornou tão importante para vida humana, que assim como o alimento e a moradia, é direito humano básico.

A preferência pela eletricidade se deve pela facilidade de converter energia elétrica em outras formas de energia, como em energia mecânica utilizada nos motores elétricos, ou em energia luminosa utilizada nas lâmpadas. Outra vantagem da energia elétrica é a maior facilidade de transporte, segundo CAVALIN (2006) "pois pode ser transportada a grandes distâncias pelos condutores elétricos (fios e cabos), desde a geração até os centros de consumo, que são os lares, indústrias, comércio e etc", comparada com outras formas de energia tem baixas perdas com a transmissão, facilitando o transporte de energia elétrica.

As fontes de geração de energia se dividem em não renováveis (como combustíveis fósseis e a nuclear) e renováveis (como hídrica, eólica, solar e biomassa). O mundo utiliza majoritariamente no seu suprimento energético, as fontes não renováveis, em particular, os combustíveis fósseis como o petróleo, carvão mineral e gás natural. Esses combustíveis são grandes causadores de problemas climáticos, que colocam em risco a sustentabilidade e o abastecimento de longo prazo do planeta. Em virtude desses fatores, assuntos relacionados à preservação do meio ambiente e aos recursos naturais têm sido amplamente discutidos em eventos nacionais e internacionais, estando entre as prioridades e as preocupações atuais da comunidade mundial (FILHO, 2009).

A busca por fontes de energia renováveis é um dos grandes desafios enfrentados pela humanidade nos últimos anos e vem ganhando mais importância com a intensificação do efeito estufa. Uma das formas mais promissoras de contornar esse problema é aproveitar a energia fornecida pelo sol, fonte limpa e gratuita de energia (DANTAS, 2018).

Segundo dados apresentados no Quadro 1, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 19 de outubro de 2018, a energia solar fotovoltaica representa somente 0,8329% da matriz energética brasileira, com potência instalada de 1406 MW, mas quando comparamos com anos anteriores podemos observar um crescimento elevado. Se comparada com o ano de 2016 teve um crescimento de 5858,33%, pois segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2017 a energia solar fotovoltaica tinha potência instalada de apenas 24 MW.

Quadro 1 – Matriz energética brasileira em 2018

Fonte		**Capacidade instalada**		
Origem	**Fonte Nível 1**	**Nº de Usinas**	**(kW)**	**%**
Solar	Radiação solar	2257	1406373	0,8329

Fonte: Adaptado ANEEL, 2018.

A tecnologia usada é de pouca manutenção e o mercado vem sentido seus custos diminuir constantemente graças ao aumento da procura, juntando isso aos avanços da tecnologia e a maior eficiência podemos dizer que com o passar do tempo ela vem se tornando cada vez mais convidativa, o que explica esse crescimento (KALIKOSKI, 2016).

1.2 Objetivo

O estudo realizado tem como objetivo principal a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico em uma indústria de serragem de mármore e granito, com o sistema fotovoltaico interligado à rede de distribuição.

1.3 Organização do Projeto

No capítulo 2 serão abordados conceitos básicos sobre energia, energia solar, efeito fotovoltaico, célula fotovoltaica e a energia solar no Brasil.

No capítulo 3 será abordado a metodologia para o dimensionamento do sistema fotovoltaico e apresentado o local onde será aplicado o estudo de caso. No capítulo 4 será apresentado o estudo de caso completo. No capítulo 5 será apresentado o balanço financeiro do projeto.

Por fim, no capítulo 6 será apresentada a conclusão sobre todo o projeto.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1 Energia

Energia pode ser definida como tudo aquilo capaz de realizar trabalho, “Todas as movimentações que ocorrem no universo podem gerar forças capazes de transformar a energia em um encadeamento sucessivo, ou seja, em modalidades diferentes de energia” (CAVALIN e CERVELIN, 2006). Podendo se apresentar em diversas formas de energia:

- Elétrica;
- Mecânica;
- Química;
- Térmica;
- Solar;
- Hidráulica, entre outras.

2.2 Energia solar

O sol apresenta-se como uma fonte renovável de energia, que nos possibilita usufruir desse benefício de diversas maneiras, de modo que melhor se ajuste às novas necessidades (ANGELIS, 2011).

A energia solar é a energia proveniente do sol, considerada uma alternativa energética muito promissora para enfrentar os desafios da expansão da oferta de energia com menor impacto ambiental. As aplicações práticas da energia solar podem ser divididas em duas principais tecnologias: os Sistemas Fotovoltaicos (SFV) que transformam luz solar em eletricidade através de Painéis Fotovoltaicos, e podem ser isolados ou integrados à rede; e os Sistemas Heliotérmicos que usam o calor do sol para gerar eletricidade em plantas de geração térmica (COMETTA, 2008).

2.3 Efeito Fotovoltaico e célula fotovoltaica

O efeito fotovoltaico se dá pela existência de uma diferença de potencial elétrico nas extremidades de um material semicondutor quando exposto à luz solar. Este evento ocorre nas células fotovoltaicas, as quais são constituídas por estes materiais semicondutores e capazes de converter diretamente a radiação solar em eletricidade (JOÂO,2016).

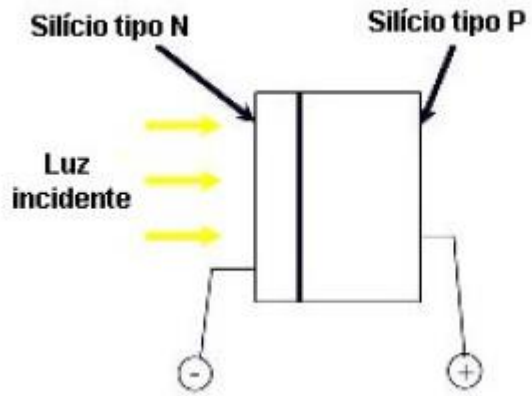
A primeira vez que o efeito fotovoltaico foi demostrado decorreu de um experimento executado pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839. Em 1883, Charles Fritts confeccionou a primeira célula fotovoltaica em estado sólido, revestindo o semicondutor selênio por uma camada de ouro formando as junções, célula essa que tinha aproximadamente 1% de eficiência. Comparando com as células fotovoltaicas comercializadas hoje que podem chegar a 25%, podemos notar a evolução dessa tecnologia.

As células fotovoltaicas geralmente são constituídas de material semicondutor silício, conduzindo energia quando incidi a luz por raio solares. O silício apresenta-se normalmente como areia, utilizando procedimentos adequados obtém-se o silício em sua forma pura. O cristal de silício puro é mau condutor pois não possui elétrons livres, para alterar isso acrescentam-se outros elementos. Esse processo denomina-se dopagem (ALVARENGA, 2004).

A dopagem do silício por exemplo com fósforo obtém-se um material com elétrons livres (silício do tipo N), já a dopagem com boro, obtém-se uma matéria com características inversas, ou seja, falta de elétrons (silício do tipo P).

Na Figura 1 é apresentado como uma célula fotovoltaica compõe-se, com uma camada fina de material tipo N e outra camada com maior espessura de material do tipo P.

Figura 1 – Célula solar



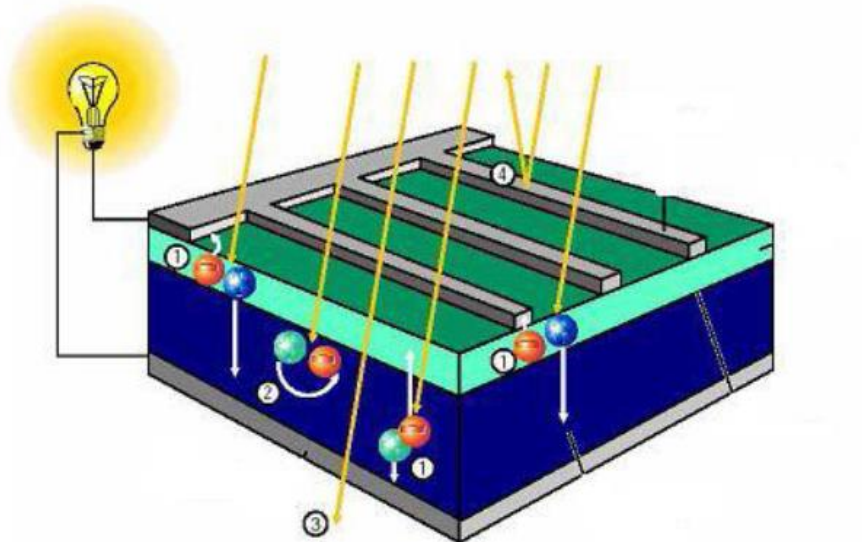
Fonte: ALVARENGA, 2004.

As camadas são eletricamente neutras, mas ao serem unidas, na região P-N forma-se um campo elétrico graças aos elétrons livres do silício do tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício do tipo P. Incidindo luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons chocam-se com outros elétrons da estrutura do silício fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores. O campo elétrico gerado pela junção P-N orienta os elétrons a fluírem da camada P para a camada N (ALVARENGA, 2004).

Ligando a camada positiva com a camada negativa por meio de um condutor externo gera-se um fluxo de elétrons, ou seja, corrente elétrica. Mantendo-se esse fluxo enquanto a luz incidir na célula, esse fluxo também mudará na mesma proporção que a intensidade da luz incidir na célula.

A figura 2 ilustra a estrutura básica de uma célula fotovoltaica com as camadas e o condutor descrito anteriormente. Esses condutores estão ligados em uma lâmpada, essa lâmpada só receberá corrente elétrica enquanto a célula fotovoltaica estiver recebendo luz solar.

Figura 2 – Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício cristalino



Fonte: Costa, 2004

2.4 Energia solar no Brasil

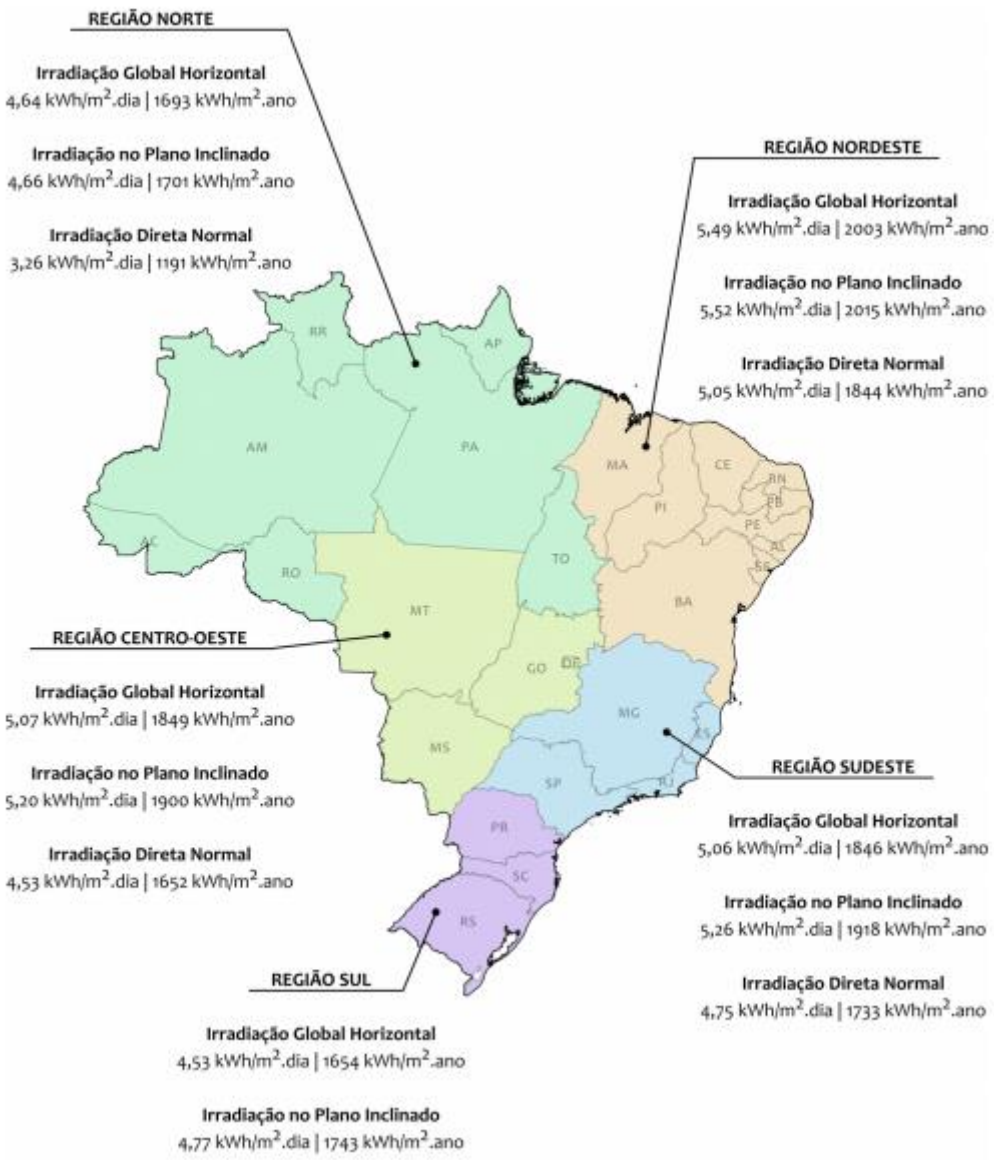
Na busca por fontes alternativas o Brasil apresenta grandes diferenciais em relação a outros países, como condições geográficas e climáticas favoráveis. Essas características possibilitam a geração de energia por vários meios, incluindo a energia solar fotovoltaica, que além de

favorecer a diversificação da matriz energética, auxilia na demanda crescente por energia (RUTHER, 2008).

A geração fotovoltaica de energia elétrica tem um grande potencial no Brasil. No local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo (ATLAS, 2017).

Na figura 3, é apresentado um mapa com a síntese dos níveis de radiação solar do Brasil por região.

Figura 3 - Matriz energética brasileira em 2018



Fonte: Atlas, 2017.

A Resolução Normativa Nº 482/2012, trouxe regras e normas para a micro e minigeração de energia distribuída até 1MW, trazendo a possibilidade da troca de créditos de energia com a distribuidora local.

A energia distribuída gerada, dessa forma, poderia ser injetada na rede, resultando na redução das faturas dos consumidores através dos créditos gerados por eles, com um prazo de até 36 meses (JOÂO, 2016).

A Resolução Normativa Nº687/2015, trouxe o aumento do limite da minigeração para 5MW e aumentou também a validade dos créditos para 60 meses.

3 METODOLOGIA

O método empregado neste projeto será o estudo de caso, comumente utilizado nos mais diversos ramos científicos, e que contribui para o entendimento dos fenômenos individuais, grupais, organizacionais, entre outros. O método possibilita analisar fenômeno passado ou presente por meio de múltiplas fontes de evidência e em seu cenário atual (VOSS, 2002).

3.1 Local de estudo

Para o estudo, foi escolhido o galpão da empresa Gap Stone Mármores e Granitos LTDA, localizada na Rodovia Governador Lacerda de Aguiar, S/N, km 03, Urtiga, Cachoeiro de Itapemirim - ES, conforme apresentado na figura 4.

Figura 4 - Localização da empresa.

Fonte: Google Maps, 2018

O galpão em questão foi escolhido por ter uma área disponível de 1882,37 m² para a instalação dos painéis, como pode ser observado na planta do galpão contida no Anexo A e porque a região possui muitas empresas com galpões parecidos, favorecendo assim futuros projetos semelhantes.

A empresa dona do galpão recebe energia da concessionária em alta tensão, 13,8 kV o que a enquadra no subgrupo A4, modalidade tarifária verde e com demanda contratada de 170 kW. O consumo em horário de ponta e fora de ponta é apresentado na Tabela 1:

Tabela 1 – Consumo ponta e fora de ponta detalhados.

Mês/Ano	Energia Ativa (kWh)		Demanda
	Ponta	**Fora de Ponta**	**Contratada (kW)**
fev-17	441	79.021	170
mar-17	408	86.103	170
abr-17	406	92.352	170
mai-17	527	75.872	170
jun-17	336	83.817	170
jul-17	208	81.582	170
ago-17	208	89.455	170
set-17	224	88.137	170
out-17	266	95.136	170
nov-17	254	88.559	170
dez-17	198	77.634	170
jan-18	147	39.695	170

Fonte: Próprio autor.

Outro dado importante no estudo é o consumo durante um ano, que é apresentado na tabela 2, esse dado será utilizado nos cálculos.

Tabela 2 – Consumo de energia ativa durante o período de fevereiro de 2017 até o janeiro de 2018 em kWh

Consumo de Fevereiro de 2017 até o janeiro de 2018 em kWh	
Ponta	3.623
Fora Ponta	977.663

Fonte: Próprio autor.

3.2 Radiação solar do local

Os dados de radiação solar utilizados neste estudo foram obtidos utilizando os dados da base SunData do CRESESB - CEPEL, Tabela 3. A estação mais próxima do local do estudo é a

estação de Itapemirim (Latitude: 0,901º S, Longitude: 41,049º O), situada no município de Itapemirim, ES - Brasil, A estação fica aproximadamente 5 km do local do estudo.

Tabela 3 – Dados de radiação solar para 0,901º S, 41,049º O (Estação Itapemirim, Itapemirim - ES)

Irradiação solar diária média mensal [KWh/m².dia]				
Mês/Ângulo	**Plano horizontal 0º N**	**Ângulo igual a latitude 21º N**	**Maior média anual 18º N**	**Maior mínimo mensal 23º N**
Janeiro	6,28	5,68	5,79	5,6
fevereiro	6,51	**6,2**	**6,28**	**6,14**
março	5,24	5,36	5,37	5,34
abril	4,55	5,07	5,02	5,09
maio	3,88	4,67	4,58	4,72
junho	3,65	4,6	4,49	4,67
julho	3,7	**4,56**	**4,46**	4,62
agosto	4,45	5,15	5,08	5,19
setembro	4,91	5,19	5,18	5,19
outubro	5,16	5,03	5,08	4,99
novembro	5,05	4,66	4,74	**4,6**
dezembro	5,9	5,28	5,4	5,2
Média	4,94	5,12	5,12	5,11

Fonte: Adaptado de CRESESB - CEPEL, 2018

3.3 Orientação dos módulos

De acordo com a variação da posição da Terra em relação ao Sol ao longo do ano, são determinados os ângulos de inclinação dos módulos solares, em relação ao norte (azimute) e em relação ao plano horizontal, que proporcionam a otimização do aproveitamento solar no caso da utilização de módulos fixos, que não acompanham a trajetória diária do Sol (EPE, 2012).

No hemisfério Sul, os painéis solares devem estar voltados para o Norte Verdadeiro (Norte Magnético) e a inclinação com o plano horizontal pode ser ajustada para maximizar a produção em cada uma das estações do ano ou para maximizar a produção média ao longo do ano. Neste

último caso, em geral a inclinação corresponde a ângulos próximos da latitude do local da instalação, e nunca menor que 15°, de forma a facilitar a autolimpeza dos módulos (EPE, 2012).

Com os dados obtidos na Tabela 2, foi observado que deve se realizar a instalação dos módulos voltados para o norte com uma inclinação de 18º, maximizando o rendimento do sistema.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Escolha dos painéis fotovoltaicos

No estudo realizado temos uma limitação de área a ser utilizada para a instalação dos painéis fotovoltaicos. O agente limitador é a área do telhado do galpão, pois é onde serão instalados, galpão esse que possui uma área de 1882,37 m². A partir desse dado podemos estimar a área ocupada para cada tipo de módulo fotovoltaico. O painel fotovoltaico escolhido é o Canadian CSI CS6U-330P (330Wp), pelos seguintes motivos:

- A fabricante do painel é mundialmente conhecida, produz desde o silício até os painéis solares trazendo vantagens não só técnicas, como de confiabilidade.
- Preço competitivo.
- Alta eficiência.
- Possuem certificado do Inmetro Classe A.

A Tabela 4 apresenta algumas das especificações do painel fotovoltaico escolhido o Canadian CSI CS6U-330P (330Wp), no Anexo C é apresentado o catalogo completo do painel fotovoltaico em questão.

Tabela 4 – Especificações painel fotovoltaico Canadian CSI CS6U-330P.

Especificações técnicas	
Máxima Potência (Pm):	330 Watts
Tolerância:	0 ~ + 5 Watts
Tensão de Máxima Potência (Vm) :	37,2 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im):	8,88 Amps
Tensão de Circuito Aberto (Voc):	45,6 Volts
Corrente de Curto-Circuito (Isc):	9,45 Amps
Tensão Máxima do Sistema:	1000 Volts
Eficiência do Painel:	16,97%
Coeficiente de Temperatura da Potência(Pm):	-0,41 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Corrente(Isc):	0,053 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Tensão (Voc):	-0,31 %/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	43±2°C
Dimensões do painel:	(1960 x 992 x 40) mm
Código IP da caixa de junção:	IP 68, 3 diodos
Número de células e tipo:	72, Silício Policristalino
Peso do módulo:	22,2 kg
Vidro, tipo e espessura:	Vidro Temperado de Alta Transmissividade, liga de alumínio anodizado, Vidro Temperado 3,2mm

Fonte: Canadian, 2018

4.2 Escolha dos inversores

O dimensionamento dos inversores deve ser feito considerando o Fator de Dimensionamento dos Inversores (FDI), é comum que este seja subdimensionado, já que dificilmente se alcança potência nominal do sistema. (Kalikoski,2016).

Como no estudo a capacidade instalada será no máximo 170 kWp que é a demanda contratada pela unidade consumidora junto a concessionária, optou-se então por utilizar 6 inversores de menor potência, aumentando a confiabilidade. O FDI representa a razão entre a potência

instalada dos painéis, P_{FV}, e a potência nominal do inversor, P_{Nca}, como é mostrado na Equação 1. A capacidade instalada se dividirá entre 6 inversores, logo a P_{FV} máxima será 28,33 kW.

$$FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} \tag{1}$$

O inversor escolhido foi o FRONIUS ECO 25.0-3-S, pois esse inversor tem sido amplamente comercializado no país, o FDI calculado é de no mínimo 0,88. Porém verificou-se após simulações usando o PVsyst e cálculos da operação do sistema, que ele suportava as situações mais extremas, tanto de temperatura e radiação do sistema. Na Tabela 5, são apresentados os dados de entrada referente ao inversor escolhido.

Tabela 5 – Dados de Entrada do inversor fronius eco 25.0-3-S

Dados de entrada	
Max. corrente de entrada(Idc max)	44.2 A
Max. conjunto corrente curto-circuito	66.3 A
Min. tensão de entrada (Udc min)	580 V
Feed-in tensão de entrada (Udc start)	650 V
Tensão nominal de entrada (Udc,r)	580 V
Max. tensão de entrada (Udc max)	1,000 V
Faixa de tensão MPP (Umpp min – Umpp max)	580 - 850 V
Números de rastreadores MPP	1
Número de conexões CC	6

Fonte: Adaptado de Fronius, 2018.

Na Tabela 6 são apresentadas as informações sobre os dados de saída e alguns dados gerais do inversor adotado, as informações completas do inversor encontrasse em seu catalogo inserido no Anexo B.

Tabela 6 – Dados de saída e dados gerais do inversor fronius eco 25.0-3-S

Dados de saída	
Tensão nominal de saída (Pac,r)	25.000 W
Max.potência de saída	25.000 VA
Max. corrente de saída (Iac nom)0	36,1 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	3~NPE 380 V / 220 V or 3~NPE 400 V / 230 V (+20 % / - 30 %)
Frequência	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)
Distorção harmônica total	< 2.0 %
Fator de potência (cos φac,r)	0 - 1 ind. / cap.
Dados gerais	
Dimensões (altura x largura x profundidade)	725 x 510 x 225 mm
Peso	35.7 kg
Grau de proteção	IP 66
Classe de proteção	1
Categoria de sobrecarga	(CC/CA) 2) 2 / 3
Consumo noturno	< 1 W
Design do inversor	Sem transformador
Resfriamento	Refrigeração de ar comprimido
Instalação	Montagem interna e externa
Faixa de temperatura ambiente	-25 - +60 °C
Umidade relativa permitida	0 to 100 %
Max. altitude	2,000 m
Tecnologia de conexão	6x DC+ e 6x DC- parafusos terminais 2.5 - 16 mm²
Tecnologia de conexão rede	5-pole CA de parafusos terminais 2.5 - 16 mm²

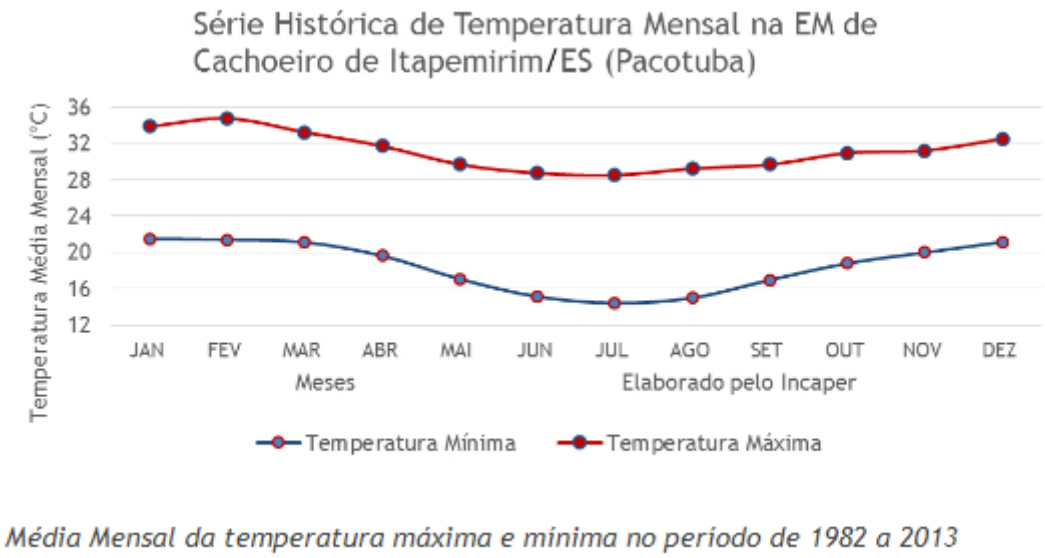
Fonte: Adaptado de Fronius, 2018.

4.3 Determinação do arranjo

O número de módulos em série tem que respeitar os limites de operação dos inversores, que no caso dos inversores adotados é 1000 V, caso não respeite esse limite pode levar a queima do inversor.

A máxima tensão de operação ocorre quando o painel está operando em circuito aberto e na menor temperatura prevista. Para se determinar a tensão do módulo individual na menor temperatura prevista, deve-se primeiramente então obter-se a menor temperatura de operação do módulo. (KALIKOSKI, 2016), mostrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Série histórica.



Fonte: Incaper, 2018.

Conforme mostra o Gráfico 1 da média mensal histórica da região onde se encontra a unidade consumidora, a temperatura mínima registrada é de 14,5ºC no ambiente. Pode-se, assim, utilizar a Equação 2, para poder fazer a correção da tensão em circuito aberto.

$$X_c = X_{STC} * (1 + \gamma * (T - T_{STC})) \quad (2)$$

Sendo,

X_c é o parâmetro corrigido;
X_{STC} é o parâmetro nas condições padrão de teste;
γ é o coeficiente de temperatura do parâmetro;
T é a temperatura do módulo fotovoltaico na situação de interesse;
T_{STC} é a temperatura do módulo fotovoltaico nas condições padrão de teste.

O manual do equipamento completo presente no Anexo A, traz o coeficiente de temperatura da tensão, -0,31%, permitindo assim calcular a máxima tensão de operação do módulo. O valor corrigido de tensão é igual a 49,628 V.

Como já foi dito que a máxima tensão suportada pelo inversor é igual a 1000 V, utilizado a Equação 3, a quantidade máxima de módulos ligados em série é igual a 20 módulos.

$$N_{MS} = \frac{V_{IN}}{V_{MOD}} \tag{3}$$

Sendo,
N_{MS} o número de módulos fotovoltaicos associados em série;
V_{IN} a tensão de entrada máxima permitida do inversor;
V_{MOD} a tensão de saída do módulo fotovoltaico.

As tensões máximas e mínimas do seguidor de máxima potência também têm que ser avaliadas, 580V a 850 V. O número de painéis em uma mesma *string* deve ser escolhido de forma que permita o funcionamento na maior faixa de temperatura possível (KALIKOSKI, 2016).

Para temperaturas elevadas a tensão do módulo fotovoltaico operando em máxima potência, V_{MPP}, irá diminuir. Para calcular o novo valor de V_{MPP} foi utilizado a Equação 4, onde K_v é o coeficiente de temperatura do parâmetro. O V_{MPP} em condições de teste é 37,2 V. Com a Máxima temperatura ambiente, T, igual a 36º C conforme o Gráfico 1, O novo V_{MPP} é de 37,22 V, limitando o número de painéis em pelo menos 15.

$$V_{MPP}(T_c) = V_{MPPNOCT} * (1 + K_v * (T - 43)) \tag{4}$$

Realizando o mesmo cálculo para a condição de baixas temperaturas, T igual a 14,5, devendo o V_{MPP} da soma dos módulos ser menor do 850 V. Sob essas condições cada painel irá operar em 40,486 V, limitando em 21 painéis em série, número esse que é maior que os 20 módulos delimitados pela tensão de circuito aberto. Portanto, devemos utilizar no mínimo 15 painéis e no máximo 20 em série, optou-se por utilizar 20 módulos em série.

O número máximo de *strings* que poderão ser ligadas em paralelo, N_{SP}, é obtido pela Equação 5. Sendo I_{MAX} a corrente máxima na entrada do inversor e I_{SC} a corrente de curto-circuito do módulo em Condição Padrão de Ensaio (STC). Para o módulo escolhido as correntes são 44,2 A e 9,45 A, respectivamente. Assim o N_{SP} escolhido foi de 4.

$$N_{SP} = \frac{I_{MAX}}{I_{SC}} \tag{5}$$

4.4 Rendimento do sistema

Segundo KALIKOSKI (2016) o fator de capacidade de sistema solares situa-se em algo próximo de 16%. Porém para obter um valor mais próximo da realidade foram utilizados os valores nos manuais dos painéis fotovoltaicos e dos inversores, valores esses contidos na Tabela 7 e utilizados na Equação 6.

$$N_G = N_P * N_I * N_S * N_P \tag{6}$$

Sendo,
N_G, rendimento global.
N_P, rendimento dos painéis.
N_I, rendimento do inversor.
N_S, rendimento dos sombreamentos.
N_P, rendimento por perdas ôhmicas.

Tabela 7 – Valores de eficiência adotados

Eficiência do Sistema	
Eficiência do inversor	0,982
Eficiência do painel	0,1697
Eficiência por perdas elétricas	0,98
Eficiência do arranjo	0,96
Eficiência global	0,1567799923

Fonte: Próprio Autor.

Após o cálculo realizado de forma analítica também foi realizado uma simulação do sistema utilizando o *software* PVsyst V6.76 DEMO, para obter a confirmação que os valores calculados estão de acordo e que não houve nenhum equipamento subdimensionado e sobre dimensionado.

O software PVsyst foi criado pela companhia suiça PVsyst SA, cuja atividade é o desenvolvimento e comercialização de ferramentas computacionais para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados ou conectados à rede elétrica. O programa fornece uma documentação completa, com instruções e explicações sobre os diversos itens disponíveis para o usuário.

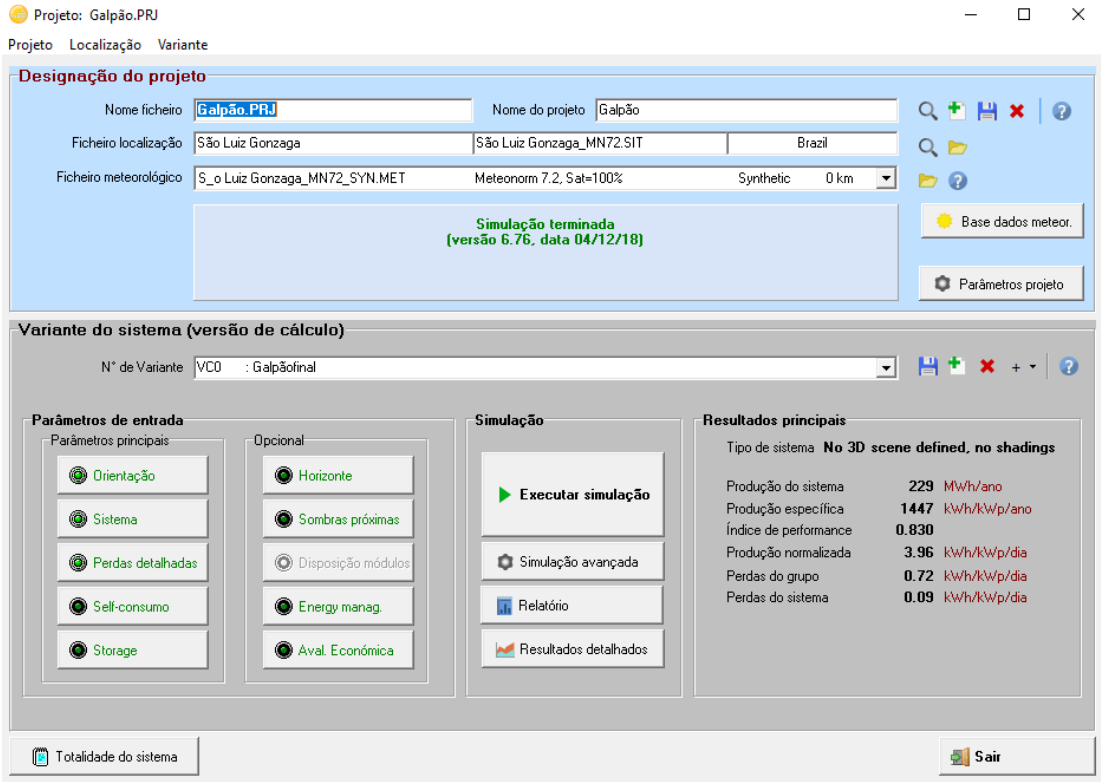
Para resultados precisos, é recomendado utilizar a opção "conceção do projeto*" e "acoplado á rede"*, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Tela Inicial do PVsyst V6.76

Fonte: PVsyst V6.76 DEMO.

Após a entrada dos dados é gerado um relatório completo pelo programa, relatório esse que se encontra no Anexo B. A tela final do programa após a simulação é apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Tela final da simulação realizada no software PVsyst V6.76 DEMO.



Fonte: PVsyst V6.76 DEMO.

4.5 Cálculo da energia gerada

Para estimar a energia gerada foi utilizado a Equação 7, que leva em consideração o número de painéis fotovoltaicos e o rendimento do sistema todos esses itens já calculados neste estudo.

$$E_G = N * A_P * G * N_G \quad (7)$$

Sendo,

E_G, energia gerada.

A_P, área dos painéis.

G, a radiação.

N_G, rendimento global.

Os resultados são apresentados na Tabela 8, onde pode ser encontrado a radiação e a energia gerada em cada mês do ano e o total durante o período de um ano.

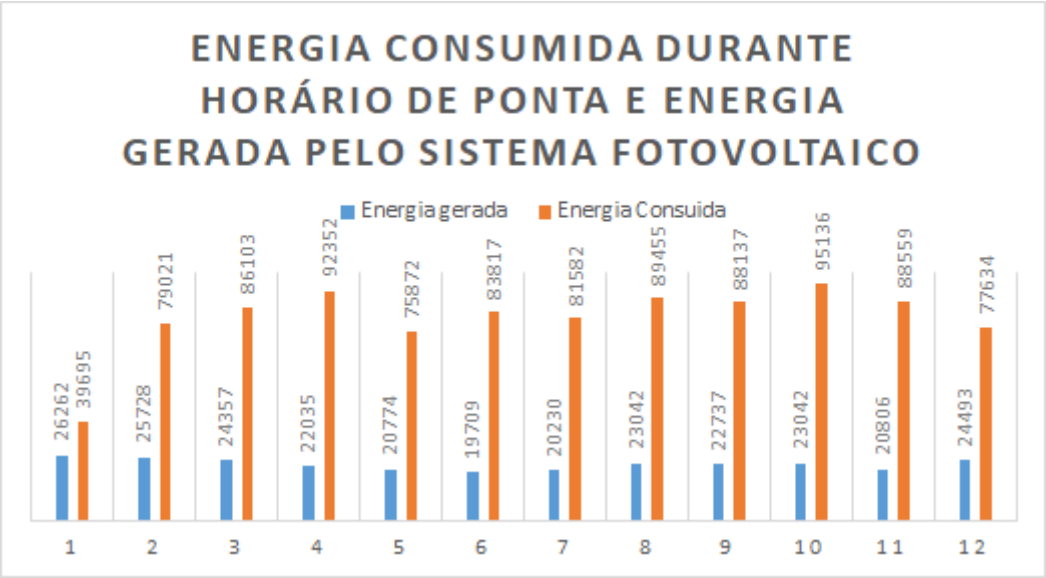
Tabela 8 – Estimativa de energia gerada durante um ano e energia consumida pela unidade consumidora durante o horário fora ponta no período de um ano.

Mês	Radiação kW/m²/mês	Energia gerada (kWh)	Mês	Energia consumida Fora de Ponta (kWh)
Janeiro	179,49	26262,7318	**jan-18**	39695
fevereiro	175,84	25728,66878	**fev-17**	79021
março	166,47	24357,66317	**mar-17**	86103
abril	150,6	22035,58643	**abr-17**	92352
maio	141,98	20774,3198	**mai-17**	75872
junho	134,7	19709,12014	**jun-17**	83817
julho	138,26	20230,01448	**jul-17**	81582
agosto	157,48	23042,25864	**ago-17**	89455
setembro	155,4	22737,91588	**set-17**	88137
outubro	157,48	23042,25864	**out-17**	95136
novembro	142,2	20806,5099	**nov-17**	88559
dezembro	167,4	24493,7395	**dez-17**	77634
Total	1867,3	273220,7872	**Total**	977363

Fonte: Próprio Autor.

Comparando a energia gerada com a energia consumida pela unidade consumidora, Tabela 8 e no Gráfico 2. A energia gerada no período de um ano segundo o levantamento seria suficiente para suprir 27,95% da energia consumida pela unidade no horário de fora ponta durante o período de fevereiro de 2017 até janeiro de 2018. A comparação é realizada com a energia consumida no horário de fora ponta pois a empresa em questão suspende suas atividades durante o horário de ponta, dados esses que podem ser observados na Tabela 1.

Gráfico 2 – Energia consumida durante o horário fora ponta no período de fevereiro de 2017 até janeiro de 2018 e energia gerada pelo sistema fotovoltaico.



Fonte: Próprio autor.

5. BALANÇO FINANCEIRO DO PROJETO

Nesta seção serão realizados os estudos da análise econômica do projeto, estimando tempo de retorno do projeto (*payback*), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e o custo nivelado da geração (LCOE).

5.1. Custos do projeto

Os custos totais de cada equipamento foram obtidos através de cotações de preços realizadas em outubro de 2018 e os demais custos foram utilizados assim com KALIKOSKI (2016) a partir de estudos realizados e divulgados pela Instituto Para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (IDEAL), Gráfico 3.

Gráfico 3 – Custos por área do projeto

Fonte: Adaptado IDEAL, 2016

Os custos do projeto são apresentados na Tabela 9, com valores detalhados para inversores, painéis fotovoltaicos, projeto e instalação e outros componentes.

Tabela 9 – Custos do projeto

Equipamento	Quantidade	Preço	Total
Painéis fotovoltaicos	480	R$ 739,00	R$ 354.720,00
Inversores	6	R$ 19.780,00	R$ 118.680,00
Projeto e instalação		R$ 123.812,31	R$ 123.812,31
Outros Componentes		R$ 131.095,38	R$ 131.095,38
Total			R$ 728.307,69

Fonte: Próprio autor.

5.2 Valor Presente Líquido

O método do Valor Presente Líquido (VPL), caracteriza-se, essencialmente, pela transferência de todas as variações de caixa esperadas para o instante presente, descontadas à taxa de juros básica. Isto é, seria o transporte para a data zero de um diagrama de fluxo de caixa de todos os recebimentos e desembolsos esperados, descontados à taxa de juros considerada. Como mostra a Equação 8. (MEURER, 2014).

$$VPL = R_0 + P_1 + P_2 + \cdots + P_N \quad (8)$$

R_0 é o custo inicial do investimento, o valor presente das entradas líquidas, P, pode ser calculado de acordo com a Equação 9. Onde F é a entrada líquida do período N em anos e i é taxa de desconto. (KALIKOSKI, 2016).

$$P_N = \frac{F_N}{(1+i)^N} \quad (9)$$

Em termos de análise, um VPL positivo significa que o projeto é viável e trará retorno, caso o VPL seja 0 significa que o investimento não trará retorno, mas também não trará prejuízo, diferente de um VPL negativo que mostra que o investimento não é vantajoso.

5.3 Taxa interna de retorno – TIR

O método da Taxa Interna de Retorno (TIR) é aquele que nos permite encontrar a remuneração do investimento em termos percentuais. Encontrar a TIR de um investimento é o mesmo que encontrar o percentual exato de remuneração que o investimento oferece (Meurer, 2014).

Para efeito de análise, deve-se comparar a TIR encontrada com a TMA. Se a TIR for maior ou igual a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), o investimento deve ser aceito, se for menor, deve ser recusado.

5.4 Payback

O *payback* é o tempo necessário para que as entradas de caixa se igualem à saídas de caixa, ou seja, é o tempo necessário para que se recupere o investimento aplicado (JOÂO,2016). Quanto mais breve for o período do *payback*, mais vantajoso será o investimento.

5.5 Resultados do balanço financeiro

Para o balanço financeiro foi utilizado o período de garantia dos painéis fotovoltaicos que é de 25 anos, para efeito de cálculos considerou-se as perdas de eficiência dos painéis fotovoltaicos de 1% no primeiro ano e de 0,75% nos demais anos de utilização. Durante o período de análise considerou-se a necessidade da troca dos inversores no décimo terceiro ano, período estimado para sua vida útil. Os gastos com manutenção e operação anuais do SFV considerou-se 0,9% do custo inicial do projeto (KALIKOSKI, 2016).

A análise de diferentes cenários é importante, devido à dificuldade de se prever a evolução da tarifa de energia elétrica (KALIKOSKI, 2016). Para o reajuste da tarifa foram considerados dois cenários, no primeiro foi considerado a média de reajuste da tarifa entre o período de 2013 a 2017 no Sudeste, 13,18%, Tabela 10. No segundo cenário foram considerados 7,02%, percentual a partir da série histórica divulgada pelo IBGE até o ano de 2015 (KALIKOSKI, 2016). Levando em conta que o custo do MWh para o subgrupo A4 e modalidade verde da energia no horário de fora ponta é de R$370,29 por MWh.

Tabela 10 – Tarifas Médias por Região de 2013 a 2017(R$/MWh)

	2013	2014	2015	2016	2017	Δ% (2017/2016)	Δ% (2017/2013)
Média Brasil	254,45	276,97	395,04	419,15	421,35	0,5	65,6
Norte	276,68	303,53	372,93	419,76	477,94	13,9	72,7
Nordeste	250,52	269,07	340,06	367,45	394,76	7,4	57,6
Sudeste	**260,24**	**282,22**	**413,05**	**441,67**	**431,77**	**-2,2**	**65,9**
Sul	235,15	264,28	409,41	415,39	403,34	-2,9	71,5
Centro-Oeste	257,74	273,63	398,08	419,38	420,33	0,2	63,1

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, EPE, 2018.

Para a taxa de desconto básico foi utilizado a taxa SELIC, Sistema Especial de Liquidação e de Custódia. Pois a taxa SELIC é a taxa de financiamento no mercado interbancário no Brasil. A Taxa Selic acumulada nos últimos 12 meses entre outubro de 2017 até novembro de 2018, foi de 6,37%.

As Tabela 11 e Tabela 12 apresentam os seus valores no tempo presente e os fluxos de caixas, para os cenários 1 e 2 respectivamente.

Tabela 11 – Cenário 1, apresentam os valores de entradas, saídas, valor futuro e valor presente.

Cenário 1				
Ano	**Receita Gerada**	***Gastos***	***Valor Futuro***	***Valor Presente***
0	R$ -	*R$ 728.307,69*	*-R$ 728.307,69*	*-R$ 728.307,6*
1	R$ 113.961,16	*R$ 5.810,26*	*R$ 108.150,90*	*R$ 101.674,25*
2	R$ 130.974,75	*R$ 6.180,37*	*R$ 124.794,38*	*R$ 110.295,22*
3	R$ 147.905,40	*R$ 6.574,06*	*R$ 141.331,34*	*R$ 117.430,52*
4	R$ 167.024,61	*R$ 6.992,83*	*R$ 160.031,78*	*R$ 125.005,64*
5	R$ 188.615,30	*R$ 7.438,27*	*R$ 181.177,03*	*R$ 133.047,69*
6	R$ 212.996,94	*R$ 7.912,09*	*R$ 205.084,85*	*R$ 141.585,45*
7	R$ 240.530,30	*R$ 8.416,09*	*R$ 232.114,21*	*R$ 150.649,47*
8	R$ 271.622,81	*R$ 8.952,19*	*R$ 262.670,62*	*R$ 160.272,21*
9	R$ 306.734,55	*R$ 9.522,45*	*R$ 297.212,10*	*R$ 170.488,09*
10	R$ 346.385,05	R$ 10.129,03	R$ 336.256,02	R$ 181.333,68
11	R$ 391.161,03	R$ 10.774,25	R$ 380.386,78	R$ 192.847,79
12	R$ 441.725,05	R$ 11.460,57	R$ 430.264,48	R$ 205.071,63
13	R$ 498.825,30	R$ 261.195,25	R$ 237.630,05	R$ 106.476,14
14	R$ 563.306,70	R$ 12.967,15	R$ 550.339,55	R$ 231.826,19
15	R$ 636.123,38	R$ 13.793,15	R$ 622.330,23	R$ 246.452,66
16	R$ 718.352,83	R$ 14.671,78	R$ 703.681,05	R$ 261.980,70
17	R$ 811.211,78	R$ 15.606,37	R$ 795.605,41	R$ 278.465,90
18	R$ 916.074,29	R$ 16.600,49	R$ 899.473,80	R$ 295.967,25
19	R$ 1.034.492,01	R$ 17.657,95	R$ 1.016.834,06	R$ 314.547,37
20	R$ 1.168.217,17	R$ 18.782,76	R$ 1.149.434,41	R$ 334.272,78
21	R$ 1.319.228,51	R$ 19.979,22	R$ 1.299.249,29	R$ 355.214,06
22	R$ 1.489.760,56	R$ 21.251,90	R$ 1.468.508,66	R$ 377.446,16
23	R$ 1.682.336,70	R$ 22.605,64	R$ 1.659.731,06	R$ 401.048,65
24	R$ 1.899.806,48	R$ 24.045,62	R$ 1.875.760,86	R$ 426.106,00
25	R$ 2.145.387,81	R$ 25.577,33	R$ 2.119.810,48	R$ 452.707,88

Fonte: Próprio autor.

Tabela 12 – Cenário 2, apresentam os valores de entradas, saídas, valor futuro e valor presente.

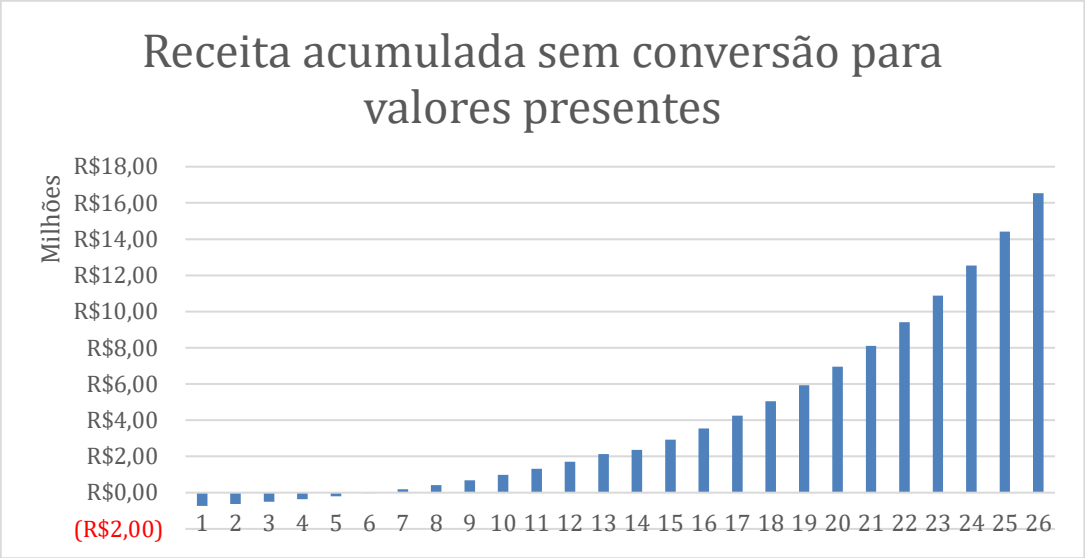
Cenário 2				
Ano	**Receita Gerada**	**Gastos**	**Valor Futuro**	**Valor Presente**
0	R$ -	R$ 728.307,69	-R$ 728.307,69	-R$ 728.307,69
1	R$ 108.273,12	R$ 5.810,26	R$ 102.462,86	R$ 96.326,84
2	R$ 114.715,15	R$ 6.180,37	R$ 108.534,78	R$ 95.924,74
3	R$ 121.847,40	R$ 6.574,06	R$ 115.273,34	R$ 95.779,24
4	R$ 129.423,08	R$ 6.992,83	R$ 122.430,25	R$ 95.633,95
5	R$ 137.469,76	R$ 7.438,27	R$ 130.031,49	R$ 95.488,87
6	R$ 146.016,74	R$ 7.912,09	R$ 138.104,65	R$ 95.343,99
7	R$ 155.095,11	R$ 8.416,09	R$ 146.679,02	R$ 95.199,33
8	R$ 164.737,92	R$ 8.952,19	R$ 155.785,73	R$ 95.054,87
9	R$ 174.980,25	R$ 9.522,45	R$ 165.457,80	R$ 94.910,62
10	R$ 185.859,38	R$ 10.129,03	R$ 175.730,35	R$ 94.766,58
11	R$ 197.414,91	R$ 10.774,25	R$ 186.640,66	R$ 94.622,74
12	R$ 209.688,89	R$ 11.460,57	R$ 198.228,32	R$ 94.479,11
13	R$ 222.725,98	R$ 261.195,25	-R$ 38.469,27	-R$ 17.237,13
14	R$ 236.573,63	R$ 12.967,15	R$ 223.606,48	R$ 94.192,46
15	R$ 251.282,24	R$ 13.793,15	R$ 237.489,09	R$ 94.049,45
16	R$ 266.905,34	R$ 14.671,78	R$ 252.233,56	R$ 93.906,64
17	R$ 283.499,78	R$ 15.606,37	R$ 267.893,41	R$ 93.764,04
18	R$ 301.125,95	R$ 16.600,49	R$ 284.525,46	R$ 93.621,65
19	R$ 319.848,01	R$ 17.657,95	R$ 302.190,06	R$ 93.479,45
20	R$ 339.734,08	R$ 18.782,76	R$ 320.951,32	R$ 93.337,46
21	R$ 360.856,53	R$ 19.979,22	R$ 340.877,31	R$ 93.195,67
22	R$ 383.292,25	R$ 21.251,90	R$ 362.040,35	R$ 93.054,09
23	R$ 407.122,87	R$ 22.605,64	R$ 384.517,23	R$ 92.912,71
24	R$ 432.435,12	R$ 24.045,62	R$ 408.389,50	R$ 92.771,54
25	R$ 459.321,13	R$ 25.577,33	R$ 433.743,80	R$ 92.630,56

Fonte: Próprio autor.

As receitas durante a vida útil do projeto levando em consideração o primeiro cenário são representadas também nos Gráfico 4 e Gráfico 5. No Gráfico 4, não utilizando a conversão para valores presentes. No Gráfico 5, com valores convertidos para valores presentes. Para o cenário 2 também foram apresentados os dados através dos Gráfico 6 e Gráfico 7, assim como no

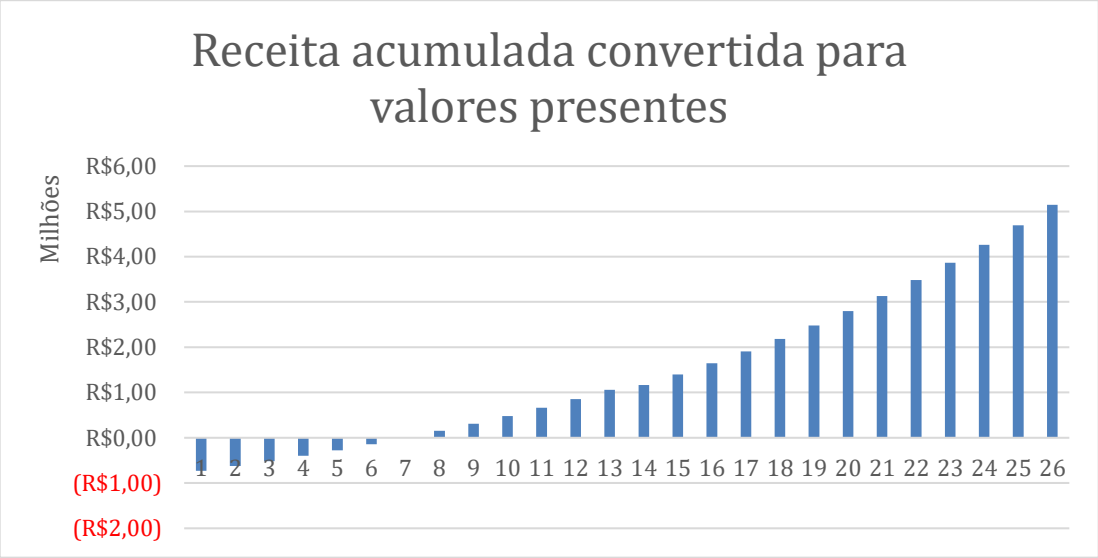
primeiro cenário são apresentados os dados primeiramente sem a conversão para valores presentes e logo após apresentados os dados para valores corrigidos para o presente.

Gráfico 4 – Receita acumulada no primeiro cenário sem conversão para valores presentes.



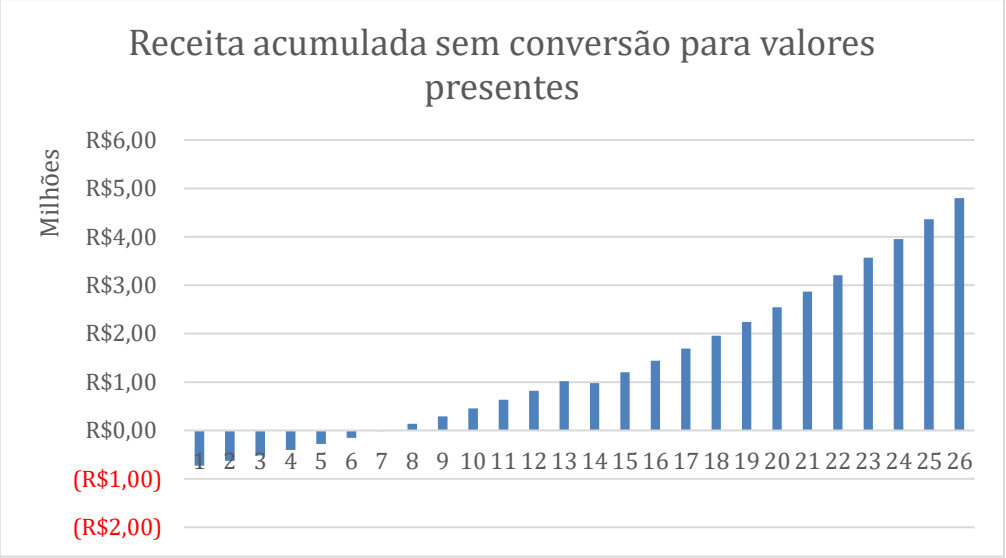
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 5 – Receita acumulada no primeiro cenário convertida para valores presentes.



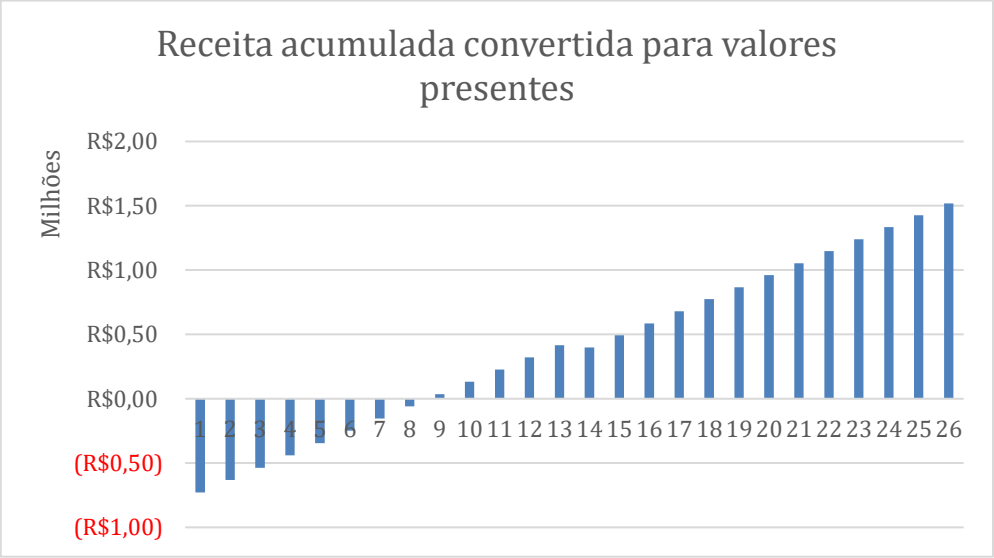
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 6 – Receita acumulada no segundo cenário sem conversão para valores presentes.



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 7 – Receita acumulada no primeiro cenário convertida para valores presentes.



Fonte: Próprio autor.

5.6 Comparação entre o primeiro e o segundo cenário

Os dados expostos mostram que nos dois cenários apresentados o projeto é completamente viável, até mesmo o segundo cenário que considera o reajuste da tarifa em percentual próximo do valor considerado para a inflação, o projeto tem um bom rendimento. A Tabela 12 apresenta os valores do balanço financeiro.

Tabela 13 – Resultados do balanço financeiro

	VPL	TIR	Payback	
			Simples	**Modificado**
Cenário 1	R$5.143.905,67	20%	6	6
Cenário 2	R$1.763.936,50	12%	6	8

Fonte: Próprio autor.

A TIR calculada alcançou 20% no melhor cenário e 12% para o pior cenário, que são valores ótimos, principalmente no primeiro cenário. Pois investimentos de baixo risco dificilmente ultrapassam essas margens, como a poupança que rende 0,5% ao mês, sempre que a meta da taxa SELIC for maior que 8,5% ao ano. Se a meta da SELIC foi igual ou inferior a 8,5% ao ano, o índice corresponde a 70% da meta.

O tempo de retorno do investimento no *payback* simples nos dois cenários foi de 6 anos, já no *payback* modificado no primeiro cenário foi de 6 anos e no segundo de 8 anos. Os valores de *payback* são amplamente satisfatórios quando comparados com outros sistemas fotovoltaicos. Segundo KALIKOSKI (2016) esses resultados estão dentro do esperado, inclusive os resultados são melhores que os obtidos por ele, essa melhora nos resultados foi causada principalmente pelo avanço da tecnologia e a diminuição do preço dos equipamentos.

O VPL no primeiro cenário foi algo que surpreendeu, pois com um investimento de R$728307,69, ter um VPL de R$5.143.905,67 é algo muito convincente para quem pensa em investir na área de energia solar, o segundo cenário também obteve um VPL aceitável R$1.763.936,50.

6. CONCLUSÃO

Dois projetos de sistemas fotovoltaicos podem ser realizados utilizando métodos variados, produzindo resultados diferentes. A organização e as decisões de cada projeto não são as mesmas se produzidos por pessoas distintas. O que os projetos precisam e devem ter em comum é respeitar as normas e as leis vigentes.

Neste trabalho, poderia ter resultados completamente diferentes, caso mudasse a opção por exemplo da célula fotovoltaica, por outra célula de maior ou menor eficiência, modificando assim não só a produção de energia anual como os custos do projeto e de manutenção. Um instrumento que auxilia nas tomadas de decisões são as ferramentas computacionais, pois podem ser geradas diversas configurações de maneira mais rápida, de modo que acelera a tomada de decisão.

Os resultados apresentados depois de todas tomadas de decisões são satisfatórios, mesmo suprindo 27,95% da energia consumida pela unidade no horário de fora de ponta. As máquinas da indústria são desligadas no horário de ponta, devido ao valor da energia ser mais cara.

Assim, através do conhecimento adquirido nesse trabalho, pode-se enxerga o potencial que a tecnologia fotovoltaica permite como um meio de entregar energia elétrica em diversos locais, até mesmo locais remotos. Assim, possibilita também a realização de um investimento mesmo sendo a longo prazo com taxas favoráveis para o crescimento do número de unidades geradoras no país.

7. REFERÊNCIAS

ELETROBRÁS**, GESTÃO ENERGÉTICA,** RIO DE JANEIRO, 2005

CAVALIN, G; CERVELIN, S. **Instalações Elétricas e Prediais**. 14. ed. São Paulo: Érica, 2004.

FILHO, A. V. **O Brasil no Contexto Energético Mundial**, nova série, vol. 6, USP, São Paulo – SP, 2009.

DANTAS, S. G; POMPERMAYER, F.M**. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. 2018.

ANGELIS, D, A. **Methods and tools to evaluate the availability of renewab nergy sources.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, n. 2, 2011

COMETTA, E**. ENERGIA SOLAR: UTILIZAÇÃO E EMPREGOS PRÁTICOS**, HEMUS EDITORA LTDA, 1ª ED., 2008.

JOÂO, P,E,T,V.; **Análise Técnico-Econômica de uma Minigeração Fotovoltaica em um Galpão Logístico em Contagem – MG** – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016.

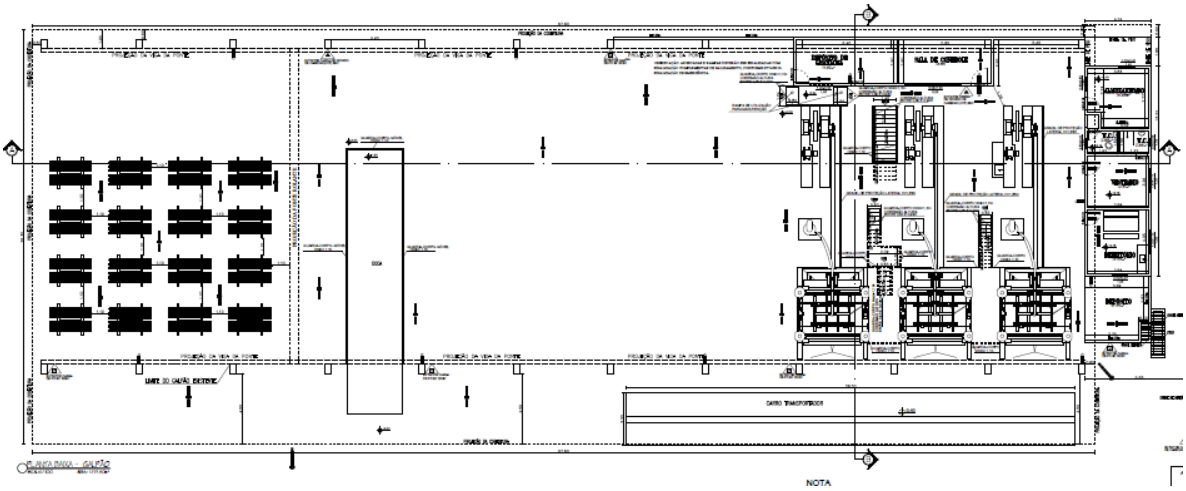
NASCIMENTO,C,A. **Princípio de funcionamento da célula Fotovoltaica**. 2004. 21F. Monografia – Pós-Graduação – Fonte alternativa de energia, UFLA/FAEPE, Lavras, 2001.

KALIKOSKI, V. R. **Estudo de viabilidade técnica para sistema de geração distribuída fotovoltaica para consumidor do grupo A4.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento do Curso de Engenharia Elétrica, Porto Alegre, 2016.

VOSS, C., TSIKRIKTSIS, N. & FROHLICH, M. **Case Research in Operations Management.** 2002

YIN, R. K. **Estudo de caso – Planejamento e Métodos.** Quinta edição, Bookman editora. 2015.

ANEXO A



A planta em formato DWG também se encontra disponível no link https://drive.google.com/open?id=11-ZWk-8RQ8cnc7BORQLTIWRA0wlMOT2I.

ANEXO B

PVSYST V6.76		04/12/18	Página 1/3

Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação

Projeto : **Galpão**

Localização geográfica	**São Luiz Gonzaga**		País	**Brazil**
Localização	Latitude	-20.86° S	Longitude	-41.07° W
Tempo definido como	Tempo legal	Fuso horário TU-3	Altitude	51 m
	Albedo	0.20		
Dados meteorológicos:	**São Luiz Gonzaga**	Meteonorm 7.2, Sat=100% - Synthetic		

Variante da simulação : **Galpãofinal**

Data da simulação	04/12/18 00h12

Parâmetros da simulação	Tipo de sistema	**No 3D scene defined, no shadings**		
Orientação do plano dos módulos	Inclinação	23°	Azimute	0°
Modelos utilizados	Transposição	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sem horizonte			
Sombras próximas	Sem sombras			
Exigências do consumidor :	Carga ilimitada (rede)			

Características do grupo FV

Módulo FV	Si-poly	Modelo	**CS6U - 330P 1000V**	
Original PVsyst database		Fabricante	Canadian Solar Inc.	
Número de módulos FV		Em série	20 módulos	Em paralelo 24 strings
Número total de módulos FV		Nr. módulos	480	Potência unitária 330 Wp
Potência global do grupo		Nominal (STC)	**158 kWp**	Em condições de func. 142 kWp (50°C)
Características de funcionamento do grupo (50°C)		Umpp	664 V	I mpp 214 A
Superfície total		Superfície módulos	**933 m²**	Superfície célula 841 m²

Inversor		Modelo	**ECO 25.0-3-S**	
Original PVsyst database		Fabricante	Fronius International	
Características		Tensão de funcionamento	580-850 V	Potência unitária 25.0 kWac
Bateria de inversores		N.° de inversores	6 unidades	Potência total 150 kWac
				Rácio Pnom 1.06

Fatores de perda do grupo FV

Fator de perdas térm.	Uc (const.)	20.0 W/m²K	Uv (vento)	0.0 W/m²K / m/s
Perdas óhmicas nos cabos	Res. global do grupo	52 mOhm	Fração perdas	1.5 % em STC
Perdas de qualidade dos módulos			Fração perdas	-0.4 %
Perdas de módulos com mismatch			Fração perdas	1.0 % no MPP
Perdas de strings com mismatch			Fração perdas	0.10 %

Efeito de incidência (IAM): User defined IAM profile

10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000

PVsyst AVALIAÇÃO

Sistema acoplado à rede: Resultados principais

Projeto : **Galpão**

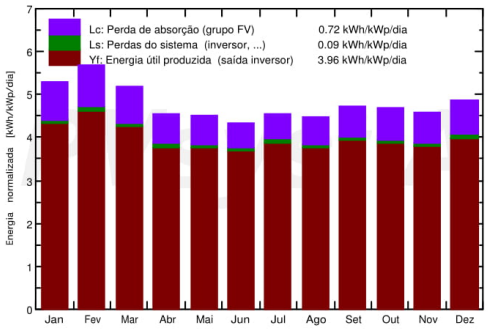
Variante da simulação : **Galpãofinal**

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	**No 3D scene defined, no shadings**		
Orientação do plano dos módulos	inclinação	23°	azimute	0°
Módulos FV	Modelo	CS6U - 330P 1000V	Pnom	330 Wp
Grupo FV	Número de módulos	480	Pnom total	**158 kWp**
Inversor	Modelo	ECO 25.0-3-S	Pnom	25.00 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	6.0	Pnom total	**150 kW ac**
Exigências do consumidor	Carga ilimitada (rede)			

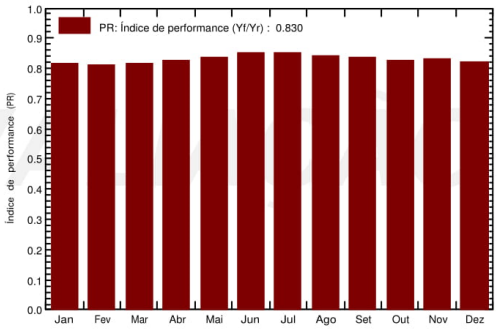
Resultados principais da simulação

Produção do sistema	**Energia produzida**	**229.2 MWh/ano**	Prod. específica	1447 kWh/kWp/ano
	Índice de performance (PR)	83.00 %		

Produções normalizadas (por kWp instalado): Potência nominal 158 kWp



Índice de performance (PR)



Galpãofinal

Balanços e resultados principais

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Janeiro	180.7	82.97	27.63	164.4	159.8	21.67	21.19	0.814
Fevereiro	165.1	76.98	27.74	158.9	154.7	20.91	20.46	0.813
Março	155.3	76.72	26.99	160.9	157.1	21.31	20.85	0.818
Abril	122.2	60.46	25.36	136.7	133.7	18.32	17.92	0.828
Maio	113.9	47.94	23.50	139.3	136.6	18.86	18.44	0.836
Junho	102.2	46.52	21.70	129.9	127.2	17.91	17.52	0.851
Julho	113.1	49.98	21.36	141.2	138.4	19.50	19.07	0.852
Agosto	120.5	59.14	22.43	138.1	135.2	18.86	18.44	0.843
Setembro	131.8	65.82	23.10	141.2	138.0	19.15	18.72	0.837
Outubro	147.1	78.15	25.52	145.1	141.6	19.44	19.01	0.827
Novembro	148.2	80.15	25.93	137.2	133.7	18.43	18.01	0.829
Dezembro	167.9	84.79	27.21	150.5	146.4	20.02	19.58	0.821
Ano	1667.8	809.62	24.86	1743.4	1702.5	234.37	229.21	0.830

Legendas:
- GlobHor — Irradiação global horizontal
- DiffHor — Irradiação difusa horizontal
- T_Amb — Temperatura ambiente
- GlobInc — Incidência global no plano dos sensores
- GlobEff — Global efetivo, corrigido para IAM e sombras
- EArray — Energia efetiva à saída do grupo
- E_Grid — Energia injetada na rede
- PR — Performance Ratio (Quociente de performance)

PVsyst AVALIAÇÃO

Tradução sem garantias, A referência é o texto inglês.

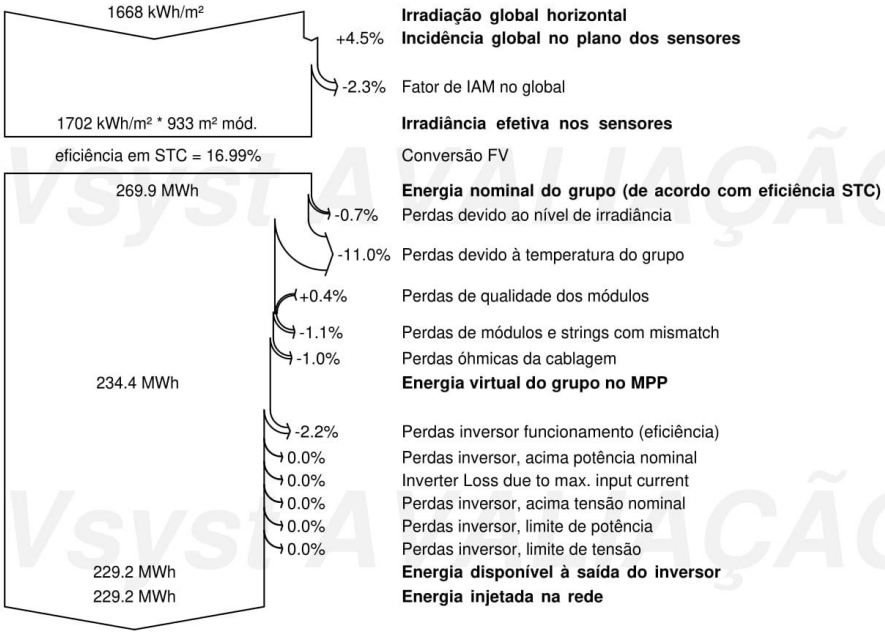
Sistema acoplado à rede: Diagrama de perdas

Projeto : **Galpão**

Variante da simulação : **Galpãofinal**

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	**No 3D scene defined, no shadings**		
Orientação do plano dos módulos	inclinação	23°	azimute	0°
Módulos FV	Modelo	CS6U - 330P 1000V	Pnom	330 Wp
Grupo FV	Número de módulos	480	Pnom total	**158 kWp**
Inversor	Modelo	ECO 25.0-3-S	Pnom	25.00 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	6.0	Pnom total	**150 kW ac**
Exigências do consumidor	Carga ilimitada (rede)			

Diagrama das perdas do ano inteiro



PVsyst AVALIAÇÃO

Tradução sem garantias, A referência é o texto inglês.

ANEXO C

NOVO

Nova tecnologia de célula com 5 barras

CanadianSolar

MAXPOWER
CS6U-315|320|325|330P

Os novos módulos policristalinos MAXPOWER da Canadian Solar usam a mais recente tecnologia inovadora de célula de cinco barras, aumentando a saída de potência do módulo e a confiabilidade do sistema.

PRINCIPAIS RECURSOS

- Confiabilidade aprimorada com a tecnologia de célula de 5 barras
- Eficiência da célula de até 18,8%
- Excepcional desempenho de baixa irradiação: 96%
- IP67 — Caixa de derivação IP67, resistência de longo prazo ao clima
- Carga de neve pesada até 5.400 Pa, carga de vento até 2.400 Pa

25 anos de garantia de saída de potência linear

10 anos de garantia do produto em materiais e mão de obra

CERTIFICADOS DE SISTEMA DE GESTÃO*

ISO 9001:2008/Sistema de gestão da qualidade
ISO/TS 16949:2009/O sistema de gestão de qualidade do setor automotivo
ISO 14001:2004/Padrões para sistema de gestão ambiental
OHSAS 18001:2007/Padrões internacionais para saúde e segurança no trabalho

CERTIFICADOS DO PRODUTO*

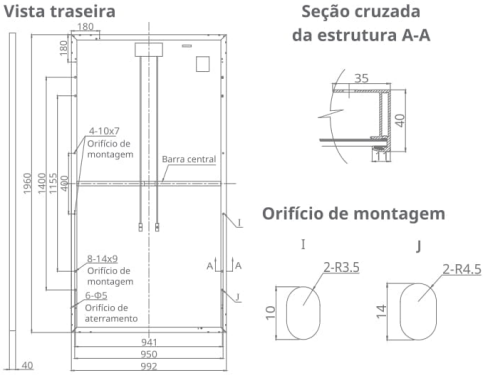
IEC 61215/IEC 61730: VDE/CE
UL 1703: CSA/IEC 61701 ED2: VDE/IEC 62716: VDE/Take-e-way

* As exigências de certificação são diferentes em cada mercado, portanto solicite a seu representante de vendas local da Canadian Solar os certificados válidos para os produtos na região em que eles serão usados.

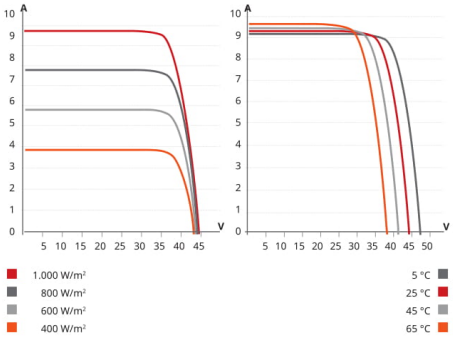
A CANADIAN SOLAR INC. está comprometida a fornecer produtos solares, soluções de sistemas solares e serviços de alta qualidade para clientes em todo o mundo. Como desenvolvedora de projetos fotovoltaicos e fabricante líder de módulos solares com mais de 15 GW instalados em todo o mundo desde 2001, a Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) é uma das empresas de energia solar mais lucrativas do mundo.

CANADIAN SOLAR INC.
2430 Camino Ramon, Suite 240 San Ramon, CA, USA 94583-4385, www.canadiansolar.com, sales.us@canadiansolar.com

DESENHOS DE ENGENHARIA (mm)



CS6U-320P | CURVAS I-V



DADOS ELÉTRICOS/STC*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (Pmáx)	315 W	320 W	325 W	330 W
Tensão operacional ideal (Vmp)	36,6 V	36,8 V	37,0 V	37,2 V
Corrente operacional ideal (Imp)	8,61 A	8,69 A	8,78 A	8,88 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	45,1 V	45,3 V	45,5 V	45,6 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9,18 A	9,26 A	9,34 A	9,45 A
Eficiência do módulo	16,20%	16,46%	16,72%	16,97%
Temperatura operacional	-40 °C ~ +85 °C			
Tensão máxima do sistema	1.000 V (IEC) ou 1.000 V (UL)			
Desempenho do módulo contra incêndio	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Classificação máx. de fusíveis da série	15 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ + 5 W			

* Sob condições de teste padrão (STC) de irradiação de 1.000 W/m², espectro AM de 1,5 e temperatura de célula de 25 °C.

DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo de célula	Policristalino, 6 polegadas
Organização das células	72 (6 × 12)
Dimensões	1.960 × 992 × 40 mm (77,2 × 39,1× 1,57 pol.)
Peso	22,4 kg (49,4 lb)
Tampa dianteira	Vidro temperado de 3,2 mm
Material da estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de derivação	IP67, 3 diodos
Cabo	4 mm² (IEC) ou 4 mm² e 12 AWG 1.000 V (UL), 1.160 mm (45,7 pol.)
Conectores	T4 (IEC/UL)
Por palete	26 peças
Por contêiner (40' HQ)	572 peças

DADOS ELÉTRICOS/NOCT*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (Pmáx)	228 W	232 W	236 W	239 W
Tensão operacional ideal (Vmp)	33,4 V	33,6 V	33,7 V	33,9 V
Corrente operacional ideal (Imp)	6,84 A	6,91 A	6,98 A	7,05 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	41,5 V	41,6 V	41,8 V	41,9 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	7,44 A	7,50 A	7,57 A	7,66 A

* Sob temperatura operacional normal da célula (NOCT), irradiação de 800 W/m², espectro AM de 1,5, temperatura ambiente de 20 °C, velocidade do vento de 1 m/s.

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificação	Dados
Coeficiente de temperatura (Pmáx)	-0,41%/°C
Coeficiente de temperatura (Voc)	-0,31%/°C
Coeficiente de temperatura (Isc)	0,053%/°C
Temperatura operacional nominal da célula	45±2 °C

DESEMPENHO A BAIXA IRRADIAÇÃO

Desempenho excepcional em ambientes de baixa irradiação, eficiência média relativa de 96% a partir de uma irradiação de 1.000 W/m² a 200 W/m² (AM 1,5, 25 °C).

A especificação e os principais recursos descritos nesta ficha técnica podem ser um pouco diferentes e não estão garantidos. Devido à contínua inovação, pesquisa e melhoria de produtos, a Canadian Solar Inc. reserva-se o direito de fazer modificações nas informações descritas neste documento a qualquer momento e sem aviso prévio. Sempre adquira a versão mais recente da ficha técnica, que deve ser devidamente incorporada ao contrato legal firmado pelas partes regulamentando todas as transações relativas à compra e à venda dos produtos aqui descritos.

Atenção: Apenas para uso profissional. A instalação e o manuseio de módulos fotovoltaicos requerem habilidades profissionais. Apenas profissionais qualificados devem realizá-los. Leia as instruções de segurança e instalação antes de usar os módulos.

SEÇÃO DO PARCEIRO

CANADIAN SOLAR INC.

Julho de 2016. Todos os direitos reservados. Ficha técnica do produto do módulo fotovoltaico V5.51P1_NA

ANEXO D

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

SHIFTING THE LIMITS

FRONIUS ECO

/ O inversor para projetos de máximo rendimento

/ Tecnologia Snap-INverter

/ Dados de comuni-cação integrados

/ Smart Grid Ready

/ Dynamic Peak Manager

/ O trifásico Fronius Eco possui categorias de potência e 25,0 27,0 kW e preenche perfeitamente todos os requisitos de instalações de grande escala. Graças ao seu baixo peso e o sistema de montagem SnapINverter, este dispositivo é transformador pode ser instalado rapido e facilmente dentro de casa ou ao ar livre. Esta gama inversor estabelece novos padrões com a sua classe de proteção IP 66. Além disso, graças aos seus dois fusíveis integrados e proteção contra sobretensão opcional, caixas de coleta de cadeia não são mais necessárias.

DADOS TÉCNICOS FRONIUS ECO

DADOS DE ENTRADA	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
Max. corrente de entrada($I_{dc\ max}$)	44.2 A	47.7 A
Max. conjunto corrente curto-circuito	66.3 A	71.6 A
Min. tensão de entrada ($U_{dc\ min}$)	580 V	
Feed-in tensão de entrada ($U_{dc\ start}$)	650 V	
Tensão nominal de entrada ($U_{dc,r}$)	580 V	
Max. tensão de entrada ($U_{dc\ max}$)	1,000 V	
Faixa de tensão MPP ($U_{mpp\ min}$ – $U_{mpp\ max}$)	580 - 850 V	
Numeros de rastreadores MPP	1	
Numero de conexões CC	6	

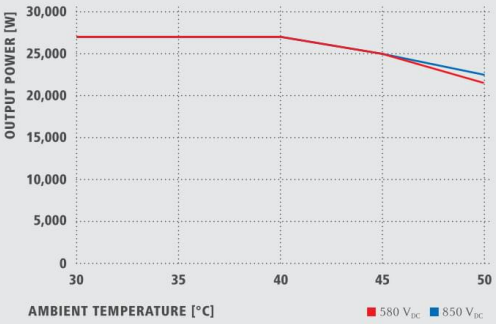
DADOS DE SAÍDA	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
Tensão nominal de saída ($P_{ac,r}$)	25,000 W	27,000 W
Max.potência de saída	25,000 VA	27,000 VA
Max. corrente de saída ($I_{ac\ nom}$)	36.1 A	39.0 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	3-NPE 380 V / 220 V or 3-NPE 400 V / 230 V (+20 % / - 30 %)	
Frequencia	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	
Distorção harmônica total	< 2.0 %	
Fator de potência (cos $\varphi_{ac,r}$)	0 - 1 ind. / cap.	

DADOS GERAIS	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
Dimensões (height x width x depth)	725 x 510 x 225 mm	
Peso	35.7 kg	
Grau de potreção	IP 66	
Classe de proteção	1	
Categoria de sobrecarga (CC/CA) [2)]	2 / 3	
Consumo noturno	< 1 W	
Design do inversor	Sem transformador	
Resfriamento	Refrigeração de ar comprimido	
Instalação	Montagem interna e externa	
Faixa de temperatura ambiente	-25 - +60 °C	
Umidade relativa permitida	0 to 100 %	
Max. altitude	2,000 m	
Tecnologia de conexão	6x DC+ e 6x DC- parafusos terminais 2.5 - 16 mm^2	
Tecnologia de conexão rede	5-pole CA de parafusos terminais 2.5 - 16 mm^2	
Certficados	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 0-2, ABNT NR 16149	

[2)]De acordo com IEC 62109-1. Trilho DIN para protecção contra sobretensão opcional (tipo 2) está incluído.
Mais informações sobre a disponibilidade dos inversores no seu país pode ser encontrada em www.fronius.com.br

FRONIUS ECO 27.0.3-S CURVA DE EFICIÊNCIA

FRONIUS ECO 27.0.3-S REDUÇÃO DE TEMPERATURA



DADOS TÉCNICOS FRONIUS ECO

EFICIÊNCIA	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
Max. efi ciência	98.2 %	98.3 %
Efi ciencia Europeia(η_{EU})	98.0 %	98.0 %
η at 5 % Pac,r [1]	95.1 / 91.5 %	95.9 / 93.1 %
η at 10 % Pac,r [1]	97.0 / 95.2 %	96.8 / 95.7 %
η at 20 % Pac,r [1]	97.8 / 96.9 %	97.7 / 97.1 %
η at 25 % Pac,r [1]	98.0 / 97.0 %	98.1 / 97.3 %
η at 30 % Pac,r [1]	98.1 / 97.2 %	98.1 / 97.4 %
η at 50 % Pac,r [1]	98.2 / 97.5 %	98.3 / 97.5 %
η at 75 % Pac,r [1]	98.2 / 97.5 %	98.2 / 97.6 %
η at 100 % Pac,r [1]	98.2 / 97.5 %	98.1 / 97.5 %
MPP adaptação eficiente	> 99.9 %	

DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
Medição de isolamento CC	Sim	
Comportamento de sobrecarga	Mudança de ponto de operação, limitação de potência	
Disjuntor CC	Sim	
Porta-fusíveis de suporte integrado [2]	Sim	

INTERFACES	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)	
6 entradas ou 4 digital in/out	Interface com receptor de telecomando	
USB (A socket) [3]	Datalogging, para entradas USB	
2x RS422 (RJ45 socket) [3]	Fronius Solar Net	
Saida de sinal [3]	Gerenciamento de energia (saída de relé livre de potencial)	
Datalogger e Webserver	Integrado	
Entrada externa [3]	Medidor de conexão S0 / Avaliação da proteção da sobretensão	
RS485	Modbus RTU SunSpec ou medidor de conexão	

[1] E no $U_{mpp\ min} = U_{dc,r} / U_{mpp\ max}$. [2] Optionally fitted with 6 fuses 15 A / 1,000 V on the plus side. [3] Também disponivel na versão simples.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

NÓS TEMOS TRÊS DIVISÕES E UMA PAIXÃO: SUPERAR OS LIMITES DO POSSÍVEL.

/ Seja na Tecnologia de soldagem, no fotovoltaico ou na tecnologia de carregadores de bateria, o nosso objetivo é claro: queremos ser líderes em inovação. Com aproximadamente 3.300 funcionários em todo o mundo, nós superamos os limites do que é possível, como prova disso temos mais de 900 patentes concedidas. Enquanto os outros se desenvolvem lentamente, nós ultrapassamos barreiras. Desde sempre. O uso responsável de nossos recursos é a base do nosso negócio.

Para obter mais informações sobre todos os produtos Fronius e nossos parceiros de distribuição e representantes, visite **www.fronius.com**

v05 May 2015 PB

Fronius do Brasil Comércio Indústria e Serviços Ltda

Escritório central
Av. Dr. Ulysses Guimarães, 3389
Vila Nogueira, Diadema, SP
CEP: 09990-080
Telefone +55 11 3563-3800
vendas.solar@fronius.com
www.fronius.com.br

O texto e as imagens correspondem ao estado técnico atual no momento da impressão. Reservam-se alterações.
Todas as indicações são, apesar de processadas cuidadosamente, sem garantia - responsabilidade excluída. Direito de autor © 2011 Fronius™. Todos os direitos reservados.

M.06.0183.PB v06 july 2015