

COMPARATIVO ENTRE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA EM UM CONSUMIDOR INDUSTRIAL

Patrick Kazmierczak da Silva¹

RESUMO

Este documento é uma análise comparativa realizado entre três formas de atendimento de energia elétrica (painel fotovoltaico, grupo gerador e rede de distribuição de energia elétrica) de um consumidor industrial do município de Eugênio de Castro no estado do Rio Grande do Sul. O estudo em questão utilizará dos recursos do software HOMER Pro que através de simulações buscará a melhor ou as melhores formas de atendimento deste consumidor.

Palavras-chaves — Energia Elétrica, Geração de energia, software HOMER Pro.

I. INTRODUÇÃO

O homem procura sempre a evolução, descobrindo fontes e formas alternativas de adaptação ao meio ambiente, uma delas é a energia, nas suas mais diversas, é indispensável para à sobrevivência da espécie humana. Desta forma, a exaustão, escassez ou inconveniência de um dado recurso tendem a ser compensadas pelo surgimento de outro(s) [1].

Buscando alternativas de possuir equipamentos cada vez mais autossustentáveis, a geração distribuída, entre outros aspectos, visa reduzir os gastos com energia elétrica, tornando os equipamentos energeticamente e economicamente melhores, viabilizando os pequenos aproveitamentos de energia.

Dos recursos energéticos disponíveis de atendimento de energia elétrica no setor brasileiro o escopo deste trabalho será melhor detalhado nos próximos itens.

¹Graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Unijuí).

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. ENERGIA FOTOVOLTAICA

Segundo [2], o sol é a principal fonte de energia para a terra e diretamente responsável pelas diferentes formas de vidas na terra. A radiação solar é uma inesgotável fonte energética havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão. O sol é a estrela central do sistema solar e sob órbita ao seu redor encontram os planetas deste sistema, esta estrela é basicamente uma enorme esfera de gás incandescente sua maior parte composta por hidrogênio e hélio, sua estrutura é demonstrada na fig. 1.

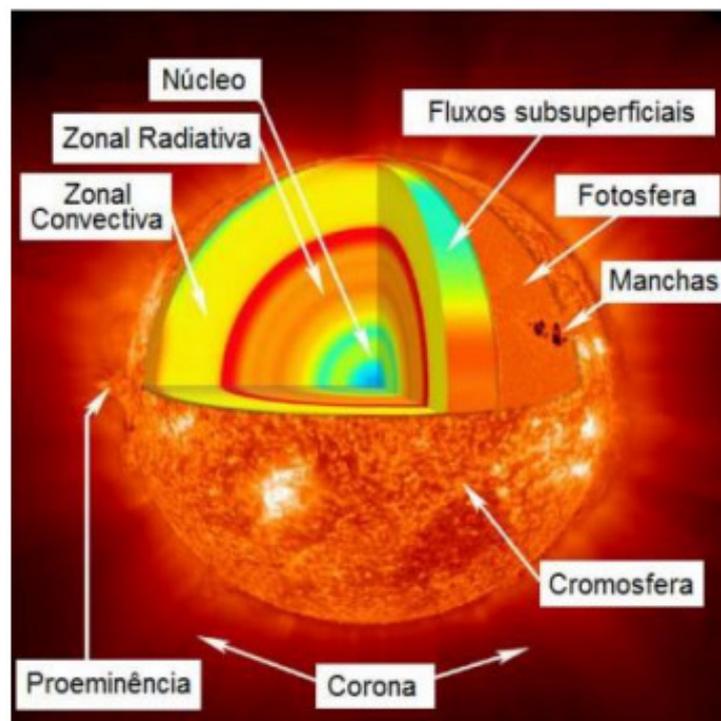


Fig. 1 – Estrutura do sol
Fonte: (CRESESB,2014)

A estrutura do sol é formada pelo núcleo que possui uma temperatura que chega a cerca de 15 milhões de Kelvin, a zona radiativa recebe a energia produzida pelo núcleo através da radiação. Já a zona convectiva possui a função de transportar a energia das regiões mais internas do sol para a superfície solar, a fotosfera é a camada visível do sol possui uma espessura de 330 Km e temperatura próxima de 5.800 K. As manchas solares indicam a intensa atividade magnética presente no sol, estas manchas possuem variações entre máximos e mínimos nos períodos de ciclos que correspondem a cada onze anos estes ciclos provocam alterações na irradiação

emitida pelo sol e apresenta as consequências na terra. A cromosfera não é visível, possui uma intensidade baixa de irradiação comparada com a fotosfera. A camada mais externa é a coroa só visível na ocorrência de um eclipse, pois o brilho da fotosfera é mais alto [2].

A partir de preocupações pela escassez de recursos naturais em nível mundial, à utilização de fontes renováveis de energia, dentre estas, principalmente as fontes não poluentes torna-se uma alternativa interessante. Assim a energia solar existe de forma gratuita e encontrasse disponível em grande escala [3].

Este efeito fotovoltaico foi descoberto no ano de 1839 por Edmond Becquerel, inicialmente através da exposição à luz de placas metálicas mergulhadas em um eletrolítico [4], sua característica é apresentada pela diferença de potencial quando incididos por raios luminosos [5].

O efeito fotovoltaico é obtido através da conversão da luz em eletricidade, sendo a célula fotovoltaica um dispositivo fabricado com material semicondutor fundamental desse processo de conversão [2].

Conforme [5], atualmente o material mais empregado na produção das placas fotovoltaicas é o Silício, em onde possui uma menor demanda é utilizado matérias como o Sulfeto de Cádmio e o Arsenieto de Gálio.

Entretanto [6], apresenta na fig. 2 a seguir, células fotovoltaicas produzidas em silício, as quais são silício monocristalino, do sício policristalino e do filme fino de silício.

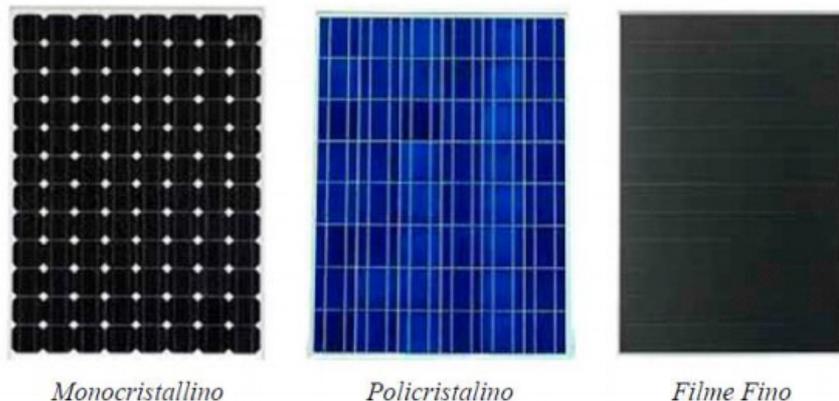


Fig. 2 - Células fotovoltaicas produzidas em silício
Fonte: (Carvalho, 2013)

Os painéis fotovoltaicos comerciais são encontrados de 12 a 68 V, e suas respectivas, correntes 0,5 a 8 A e potência de 3 a 275 W. E caso haja uma necessidade em especial é possível associar as placas em série e/ou paralelo [5].

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em duas categorias principais: os isolados e conectados à rede. Mas existem os sistemas híbridos ao qual ocorre a combinação de uma ou mais fontes de energia com a energia fotovoltaica [2].

Sistemas isolados, puramente fotovoltaicos ou híbridos, acabam necessitando uma forma de armazenamento de energia podendo ser por baterias, no momento em que não há geração fotovoltaica, pois, o uso de energia deverá ter continuidade [2].

Os sistemas isolados contam com o inversor responsável pelo controle e condicionamento de potência e controle de carga [2].

O sistema conectado à rede é representado na fig. 3, e conforme [7], este tipo de instalação da energia gerada pelos painéis é entregue a rede elétrica de distribuição.

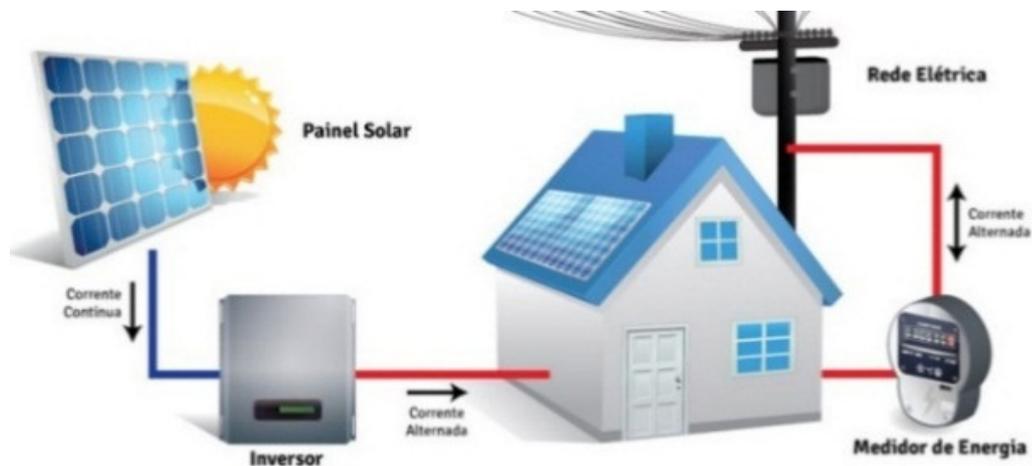


Fig. 3 - Representação de um sistema conectado à rede
Fonte: (<http://real-solar.com/como-funciona.php>)

Ao qual a energia gerada é liberada de forma direta na rede de distribuição da concessionária de energia, mas para tal, se tem a necessidade do inversor (conversor CC-CA). O inversor deve prezar pela qualidade, segurança, duração e confiabilidade da energia entregue a rede. Outra exigência deste sistema é possuir um medidor bidirecional, para ter o controle da energia que é consumida e da energia que é injetada na rede da concessionária [2].

Os sistemas conectados à rede (on grid), prevalece de um regulamento disposto pela ANEEL, através da regulação 482 de abril de 2012, estabelecendo as condições de acesso de micro e mini geração distribuída para os sistemas de distribuição de energia elétrica. A energia gerada pelo consumidor e injetada na rede será convertida em créditos para descontos na fatura mensal de energia [2].

B. REDE DE DISTRIBUIÇÃO

As redes de distribuição são padronizadas em média e baixa tensão. Também conhecidas como redes primárias e secundárias, respectivamente, a rede primária é aquela cuja tensão elétrica fica entre 2,3 kV e 44 kV, e são implementadas em postes normalmente de 11 até 13 metros de altura, mas os mesmos possuem outras alturas o qual não são tão usuais, os condutores são dispostos de forma horizontal sustentados por cruzetas [8].

Já a rede secundária é aquela cuja tensão elétrica fica entre 110 V e 440 V, e são encontradas a uma altura inferior da rede de média tensão e seus condutores são dispostos na forma vertical. Porém para obter estes níveis de tensão da rede secundária é necessário um transformador de distribuição que irá transformar os níveis de média tensão em baixa tensão [8].

A fig. 4 representa a forma de disposição dos condutores de média e baixa tensão.

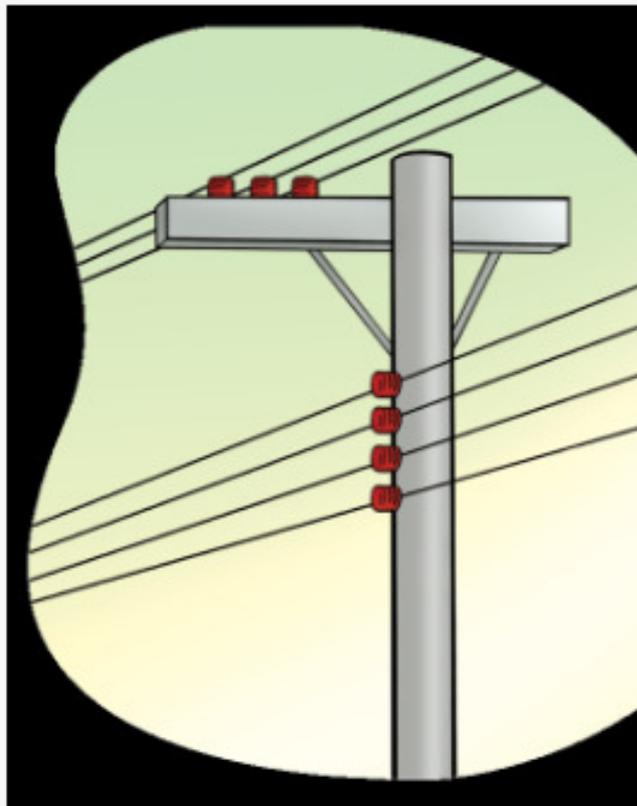


Fig. 4 - Representação da rede elétrica em média e baixa tensão
Fonte: (<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>)

Os consumidores que possuem instalações usuais com carga inferior a 75 kW são interligados diretamente nas redes aéreas de baixa tensão, já os consumidores com carga superior ao valor supracitado acima são atendidos em média tensão [9].

Conforme [10], os consumidores com carga superior a 75 kW, devem ser atendidos a partir da instalação de transformador particular podendo ser de duas formas, sendo estas:

- Em cabine de medição indireta em baixa tensão.
- Em cabines de medição indireta em media tensão.

C. GERAÇÃO TERMELÉTRICA - DIESEL

As centrais a diesel são instaladas em regiões mais isoladas, onde não possuem outra fonte geradora de energia. Muito usuais em potências até 40 MW, desta forma possuem como toda outra fonte de energia suas vantagens e desvantagens, sendo as seguintes [11].

➤ Vantagens:

- Rápida entrega de energia;
- Fácil operação;
- Facilidade no plano de manutenção.

➤ Desvantagens:

- Limitações de potência;
- Ruído;
- Vibração;
- Dificuldade em peças de reposição;
- Alto custo do combustível.

Segundo [12], o motor a diesel transforma energia térmica em energia mecânica, ou seja, o motor a diesel é uma máquina térmica. Seu funcionamento parte da liberação de energia química do combustível.

Na fig. 5 adaptada, apresenta um motor a diesel, onde a mesma é uma máquina térmica que está acoplada a um alternador [12].

- 1- Máquina Térmica, Motor diesel
- 2- Máquina elétrica geradores
- 3- Árvore, através da qual o motor diesel fornece a potência para o gerador
- 4- Saída dos produtos da combustão
- 5- Entrada ou saída do fluido refrigerante

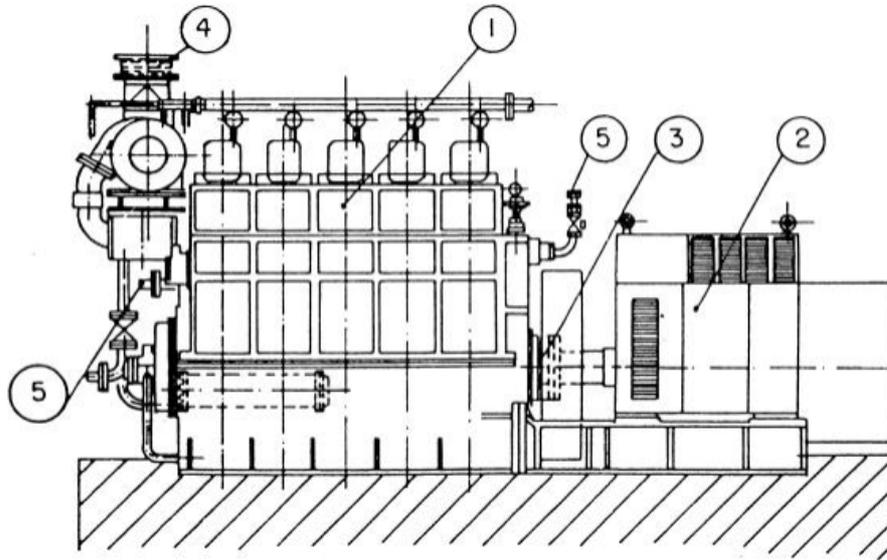


Fig. 5 - Grupo gerador motor a Diesel
Fonte: (WEG, 2013)

O grupo gerador é uma opção para locais que possuem seu expediente de trabalho de 24 horas por dia e que possuem subestações particulares com demanda contratada, pois terá seu funcionamento no período que aumenta o consumo de energia, ou seja, o horário de ponta. Desta forma buscando uma solução na redução da tarifa já que neste horário há uma cobrança diferenciada.

Mas para tal investimento deve ser realizado um estudo de análise técnica e econômica para saber se o mesmo pode se tornar viável, pois não terá gasto com a energia, mas sim com o combustível diesel, o qual que no decorrer dos últimos anos tem seu valor está em alta.

III. ESTUDO DE CASO

Este estudo tem como objetivo demonstrar três opções de atendimento de energia e dentre estes citar qual ou quais deles terá sua escolha para atender um consumidor industrial.

O estudo será baseado na geração de energia através de painéis fotovoltaicos, na geração de energia através do uso de grupo geradores ou se terá seu atendimento pela rede da concessionária de energia.

Como já supracitado acima o estudo é baseado no consumo de uma indústria, desta forma foi adquirido uma fatura de energia e dela retirados os últimos doze meses de consumo estes identificados na tabela I.

TABELA I. CONSUMO MENSAL.

Meses	kWh
SET	5760
OUT	5760
NOV	5700
DEZ	5670
JAN	7920
FEV	5430
MAR	6090
ABR	11070
MAI	5220
JUN	4800
JUL	7980
AGO	4650

Fonte: (Do autor, 2017)

A partir dos valores da tabela I é realizada a média do consumo anual a qual obteve 6337,5 kWh, deste valor é verificado na tabela II qual a faixa que esta indústria se encaixa.

TABELA II. CONSUMO MÉDIO MENSAL (kWh)

Faixas	Industrial	
	Mín.	Máx.
1	0	500
2	501	501
3	1001	5000
4	5001	10000
5	10000	-

Fonte: (Do autor, 2017)

Podendo ser visto que a faixa 4 do consumo médio mensal é a adequada para esta situação.

A faixa define o consumo diário em p.u., ao qual são apresentadas na tabela III os valores usados para a definição do gráfico da curva de carga diária.

TABELA III. CONSUMO DIÁRIO (P.U.)

HORA	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4	Faixa 5
	P.U.	P.U.	P.U.	P.U.	P.U.
	Máx	Máx	Máx	Máx	Máx
01:00	0,21	0,13	0,122	0,18	0,365
02:00	0,185	0,13	0,11	0,172	0,364
03:00	0,182	0,12	0,111	0,166	0,341
04:00	0,174	0,114	0,124	0,18	0,303
05:00	0,175	0,116	0,117	0,182	0,301
06:00	0,191	0,139	0,123	0,224	0,343
07:00	0,327	0,233	0,202	0,325	0,533
08:00	0,614	0,659	0,741	0,782	0,888
09:00	0,93	0,912	0,933	0,981	1
10:00	1	0,985	0,959	0,985	0,977
11:00	0,998	0,985	1	0,981	0,987
12:00	0,75	0,696	0,705	0,696	0,902
13:00	0,512	0,502	0,376	0,465	0,722
14:00	0,733	0,857	0,899	0,927	0,904
15:00	0,866	1	0,981	1	0,975
16:00	0,841	0,932	0,949	0,986	0,968
17:00	0,82	0,895	0,918	0,934	0,971
18:00	0,781	0,719	0,603	0,689	0,831
19:00	0,681	0,433	0,231	0,38	0,604
20:00	0,59	0,302	0,175	0,287	0,518
21:00	0,453	0,276	0,166	0,231	0,442
22:00	0,426	0,261	0,132	0,188	0,425
23:00	0,398	0,241	0,114	0,175	0,392
00:00	0,281	0,182	0,127	0,177	0,396

Fonte: (Do autor, 2017)

Como já foi definido a faixa 4 será usada para representar a curva de carga diária.

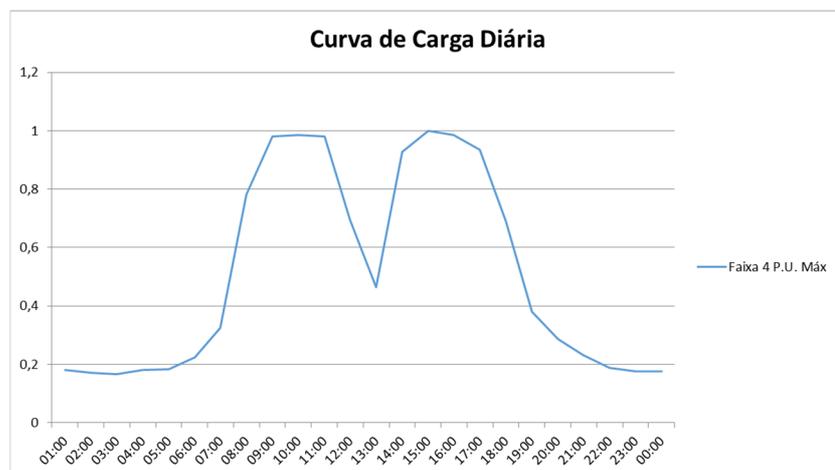


Fig. 6 - Curva de carga diária.

Fonte: (Do autor, 2017)

Neste gráfico é possível perceber que o consumo desta indústria começa a partir das 7 h da manhã chegando ao seu máximo nos horários das 9 h até as 12 h, após este último seu consumo é reduzido até as 13 h 30 min ao qual a indústria volta ao seu funcionamento, chegando novamente ao seu máximo consumo nos horários das 14 h até as 18 h. E assim mantém seu consumo sucessivamente.

Outro valor que deve ser obtido é o consumo médio diário, ou seja, o valor médio que a indústria consome por dia. É definido pelo valor médio de consumo anual 6337,5 kWh e dividido pelos 30 dias do mês, obtendo assim 211,25 kWh/dia.

Após os dados obtidos (Tabela I, Tabela II, Tabela III e Fig. 6) desta indústria será analisado no software HOMER Pro as três formas de atendimento como base de estudo deste artigo.

A fig. 7 está representando a base do desenvolvimento deste estudo.

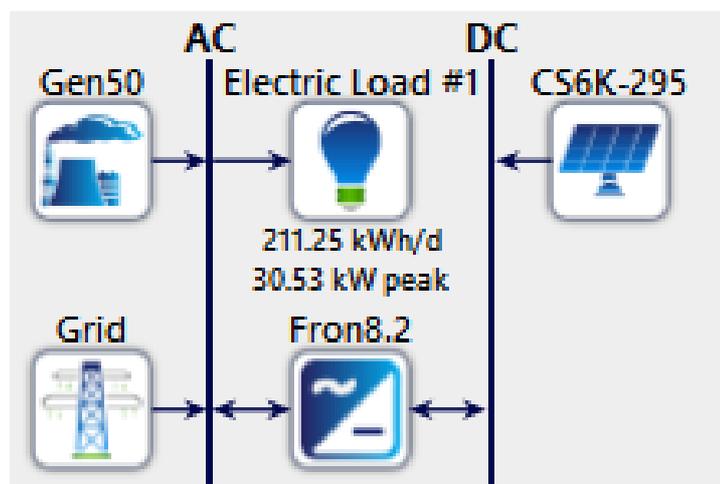


Figura 7 – Cenário em estudo.
Fonte: (Do autor, 2017)

O painel fotovoltaico utilizado neste estudo é da marca CanadianSolar, modelo SuperPower CS6K-295MS ao qual tem a sua abreviação CS6K-295 sua capacidade de potência nominal é de 0,295 kW e o valor de cada painel está em R\$ 620,00, o qual terá a utilização de 176 painéis, ou seja, o capital total é de R\$ 109.120,00.

O inversor de frequência utilizado é da marca Fronius, modelo Primo 8.2-1 e tem sua abreviação Fron8.2 sua capacidade de potência nominal é de 8,2 kW e o valor de cada inversor R\$ 11.777,00, terá a utilização de 5 inversores totalizando em um valor de R\$ 58.885,00.

A rede de distribuição não terá investimento e sim apenas o custo do kWh.

E por último a opção para os horários de ponta a instalação de um gerador de energia com uma potência de 50 kW, o valor do investimento é de R\$ 25.000,00, mais o valor do custo do diesel.

A fig. 8 representa a curva diária criada pelo software HOMER Pro.

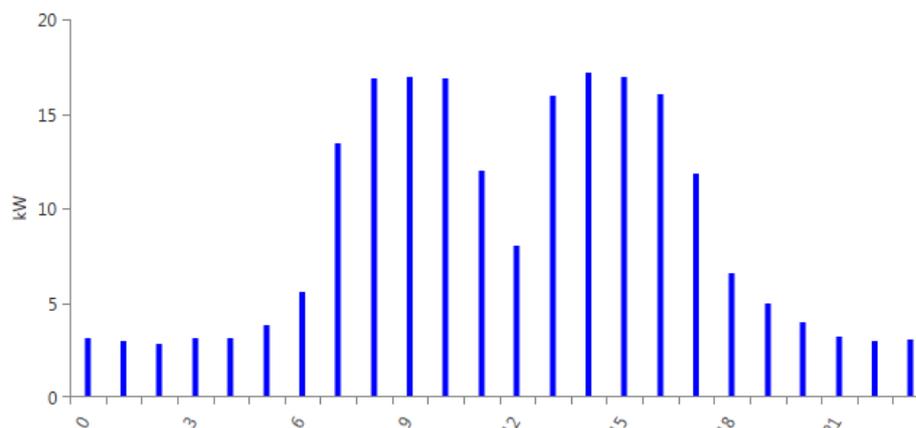


Fig. 8- Curva de carga diária criada pelo HOMER Pro.
Fonte: (Do autor, 2017)

Na fig. 9, retrata novamente o valor do consumo médio diário, ao qual o software irá buscar as formas de atendimento deste consumidor.

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/d)	211.25	211.25
Average (kW)	8.8	8.8
Peak (kW)	30.53	30.53
Load Factor	.29	.29

Figura 9 – Exigências para o atendimento.
Fonte: (Do autor, 2017)

A fig. 10 apresenta a simulação no software HOMER Pro indicando as melhores opções para o atendimento deste consumidor industrial, podendo se observar que a melhor opção considera apenas o uso de painéis fotovoltaicos e a rede de distribuição.

Architecture							Cost				System
CS6K-295 (kW)	Gen50 (kW)	Grid (kW)	Fron8.2 (kW)	Dispatch	COE (R\$)	NPC (R\$)	Operating cost (R\$)	Initial capital (R\$)	Ren Frac (%)		
52,0		999.999	41,0	CC	R\$ 0,159	R\$ 195.642	R\$ 2.372	R\$ 168.173	71,1		
52,0	50,0	999.999	41,0	CC	R\$ 0,246	R\$ 329.670	R\$ 11.787	R\$ 193.173	65,4		
		999.999		CC	R\$ 0,693	R\$ 618.788	R\$ 53.435	R\$ 0,00	0		
	50,0	999.999		CC	R\$ 0,745	R\$ 745.609	R\$ 62.227	R\$ 25.000	0		

Fig. 10 - Melhores opções de atendimento.
Fonte: (Do autor, 2017)

Podendo notar que dentro dos cenários obtidos através dos dados que foram inseridos a melhor opção ficou com o uso de painéis fotovoltaicos e com a rede de distribuição, deixando de fora o uso de gerador.

O capital inicial deste investimento ficou em R\$ 168.173,14 com custo de operação de R\$ 2.372,00 anual, tendo um gasto de R\$ 0,159 kWh e o total do NPC (Net Present Cost – Valor Presente Líquido) é equivalente a R\$ 195.642,00.

Na fig. 11 obtém-se o gráfico de valor presente líquido do investimento inicial das placas fotovoltaicas e inversor de frequência, o qual resulta em um custo de investimento inicial de R\$ 168.173,14 e no custo da troca do inversor de frequência de R\$ 28.821,06. Um ponto a ser analisada nesta figura é a questão da injeção do excedente gerada pelos painéis, deixando um saldo de R\$ 14.477,56, sendo R\$ 6.968,37 referentes aos painéis solares e R\$ 7.509,19 referente a injeção do inversor. Já o uso da energia da concessionária é muito baixa.

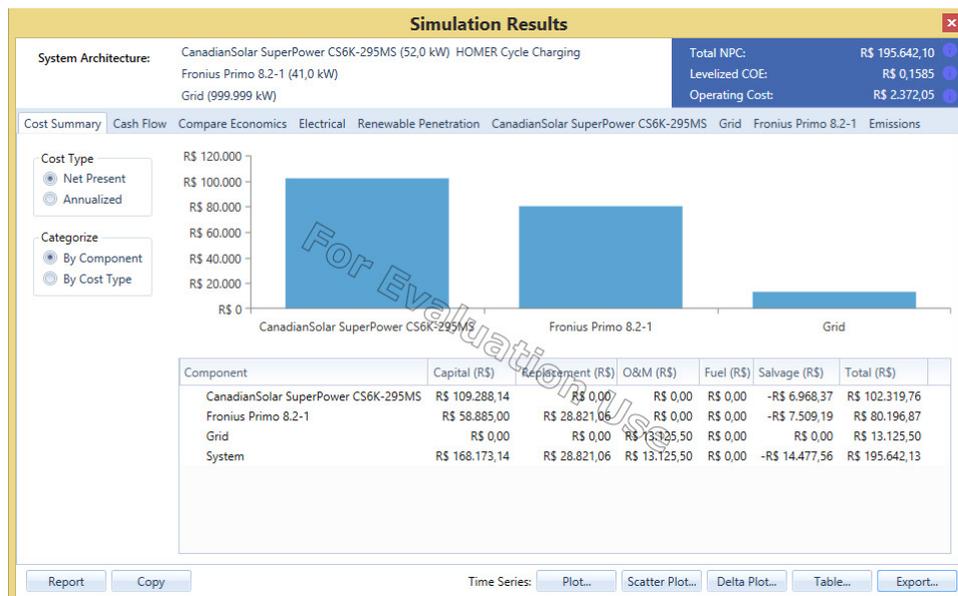


Fig. 11 - Sumário de custo.
Fonte: (Do autor, 2017)

Na fig. 12 apresenta através do gráfico um cenário de 20 anos. Sendo que representado pela cor verde (Capital) o investimento inicial para a instalação de todos os equipamentos, na cor laranja (Replacement) as trocas do inversor de frequência e na cor marrom (Salvage) o valor do lucro deste investimento.

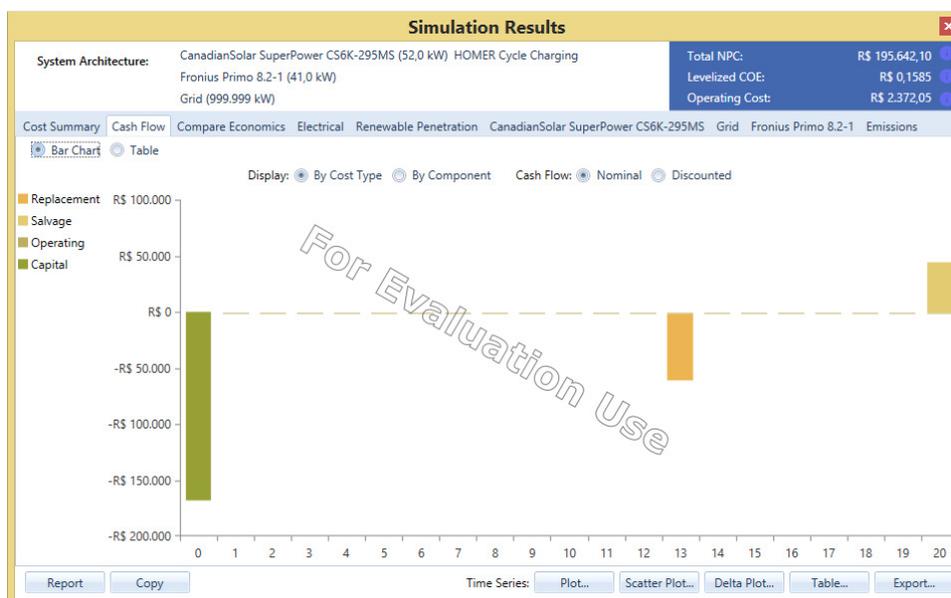


Figura 12 - Fluxo de caixa.
Fonte: (Do autor, 2017)

Na fig. 13 apresenta a participação da concessionária de energia em 30,756 kWh/ano enquanto a capacidade de geração dos painéis fotovoltaicos é bem superior ao primeiro sendo 78,957kWh/ano, totalizando assim 109,713 kWh/ano.

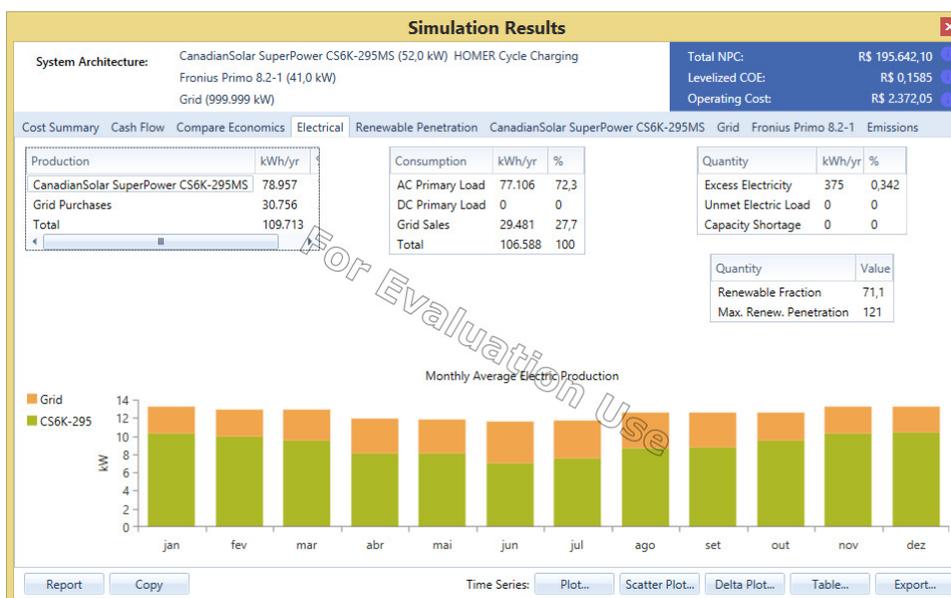


Figura 13 – Produção elétrica média mensal.
Fonte: (Do autor, 2017)

Na fig. 14 é possível identificar a incidência dos raios solares características da região. Os picos de geração ocorrem às 12 h. Outro fator preponderante que o município de Eugenio de Castro no estado do Rio Grande do Sul possui um grau de incidência expressivo com um total da produção de 78.957 kWh/ano.

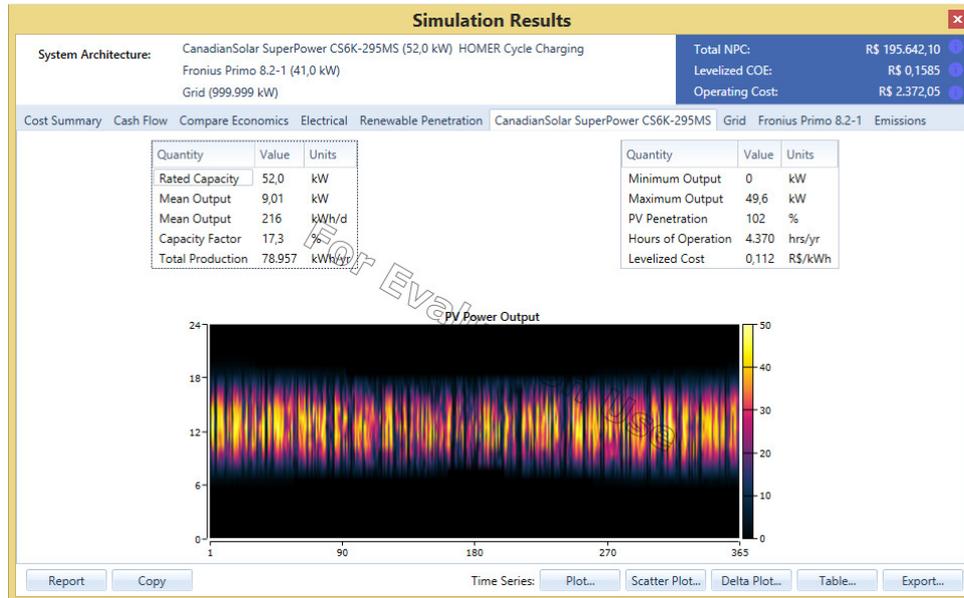


Figura 14 - Potência gerada pelos painéis fotovoltaicos.
Fonte: (Do autor, 2017)

Na fig. 15 é possível perceber que aproximadamente as 18 h 30 min até as 6 h este sistema está consumindo energia da rede, e durante as 7 h 30min até as 17 h 50 min pode se notar a geração de energia.

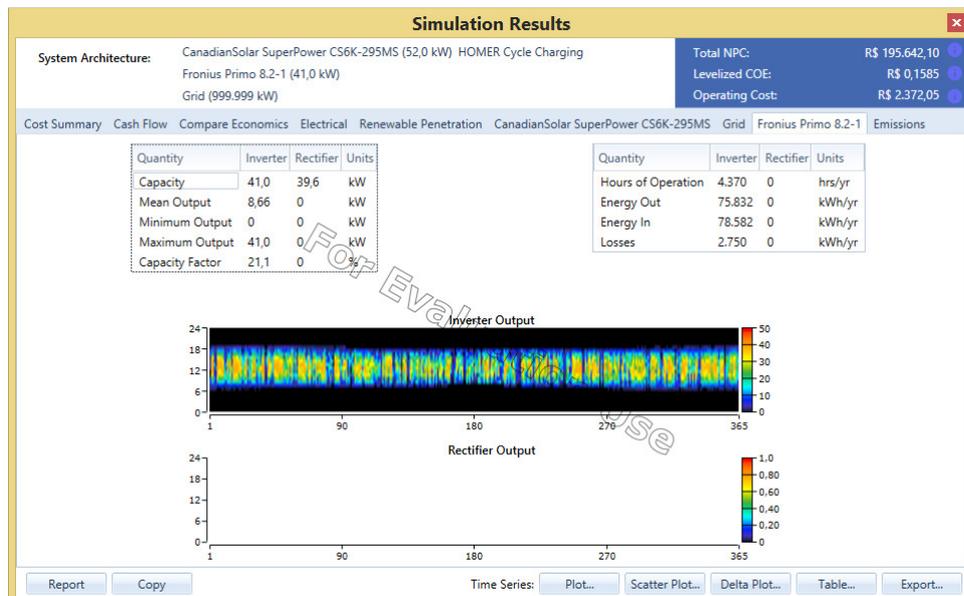


Figura 15 - Comportamento do inversor de frequência.
Fonte: (Do autor, 2017)

Na fig. 16 apresenta o histórico anual da energia consumida pela rede de distribuição e a energia injetada pelo inversor, sendo possível perceber que nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro foi injetada na rede mais energia do que consumida, desta forma não houve custo com a fatura e sim teve seu custo abatido nos próximos meses.

Podendo observar que houve um custo anual de R\$ 1.133,40 para a concessionária de energia e considerar um valor baixo.

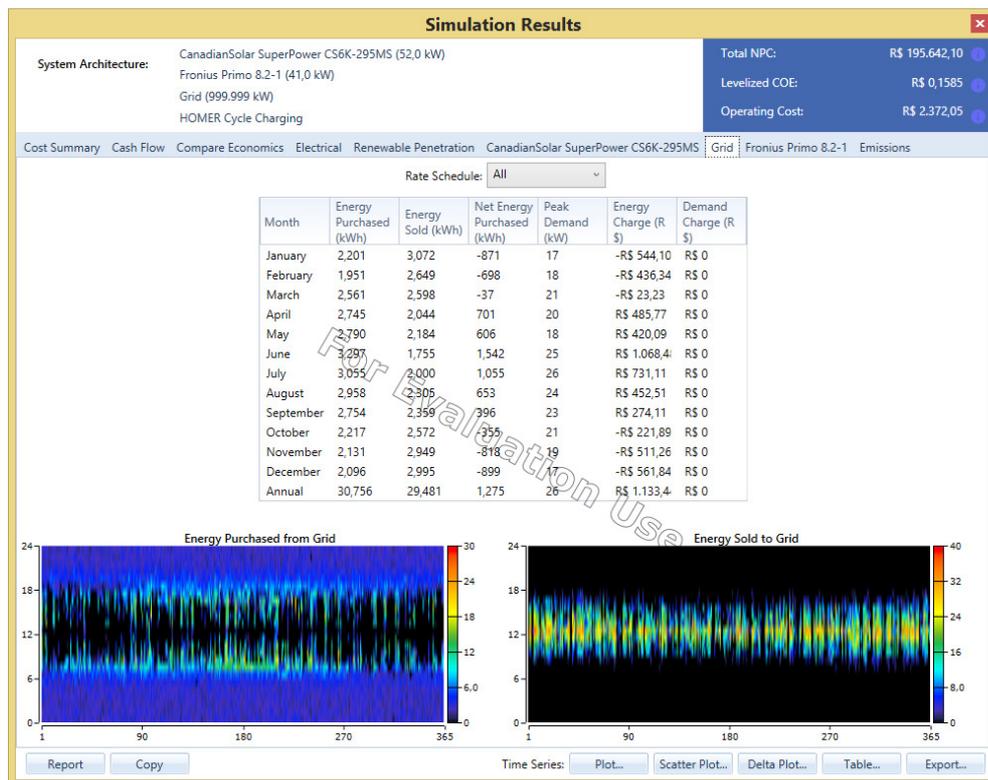


Figura 16 – Energia consumida anual.
Fonte: (Do autor, 2017)

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por intermédio do analisado, nota-se grande vantagem no uso de painéis fotovoltaicos, pois o local da instalação obtém grande incidência solar possibilitando uma expressiva geração de energia e através deste, identificasse na fig. 16 o quanto se torna viável a instalação deste tipo de equipamento. O custo inicial é um pouco elevado R\$ 168.173,14 porém é possível perceber também nesta figura supracitada que o consumidor tem um custo anual de R\$ 1.133,40 para a concessionária de energia, pois durante todo o ano ocorre por parte do inversor injeção de energia na rede da concessionária abatendo o consumo excedente por parte da rede em momento que não a geração pelos painéis.

E através do uso da energia por parte da rede de distribuição de energia elétrica o consumidor consome anualmente 76.050 kW/h e tem um custo estimado de R\$ 0,64 por kW/h resultando um custo anual de R\$ 48.672,00.

Após a análise destes valores citados é possível comprovar a viabilidade do negócio e o quanto é lucrável. Tendo um retorno do valor inicial estimado a partir de terceiro ano e cinco meses de uso.

V. REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 07 de julho de 2017.
- [2] CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014)**. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 05 de julho de 2017.
- [3] SILVA, P. Douglas. **Sistema Eletrônico para Processamento de Energia Solar Fotovoltaica, Operando na Máxima Transferência de Potência, com Aplicação na Alimentação de Refrigeradores Convencionais**. (2003). Dissertação de Mestrado. Florianópolis.
- [4] COELHO, Roberto F. **Estudo dos Conversores Buck e Boost Aplicados ao Rastreamento de Máxima Potência de Sistemas Solares Fotovoltaicos**. (2008). Dissertação de Mestrado. Florianópolis.
- [5] DEMONTI, R. **Sistema de Co-Geração de Energia a partir de Painéis Fotovoltaicos**. (1998) Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina.
- [6] CARVALHO, Clázia Ramayana Freitas de. **Sistema Fotovoltaico Isolado: uma Aplicação Prática no Projeto Xarupi**. 2013. 46 f. Monografia (Pós-graduação Especialista em Formas Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais.
- [7] REALSOLAR. **Energia Renovável do Brasil**. Disponível em <<http://real-solar.com/como-funciona.php>>. Acesso em: 05 de julho de 2017.
- [8] ABRADÉE. **Redes de Energia Elétrica**. Disponível em <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 05 de julho de 2017.
- [9] CPFL. **GED 13**. Disponível em <<http://sites.cpf.com.br/documentos-tecnicos/GED-13.pdf>>. Acesso em: 05 de julho de 2017.
- [10] CPFL. **GED 2855**. Disponível em <<http://sites.cpf.com.br/documentos-tecnicos/GED-2855.pdf>>. Acesso em: 05 de julho de 2017.

[11] REIS, L. B. **Notas de Aula - Geração Termelétrica**. Disponível em <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=1728901>>. Acesso em: 06 de julho de 2017.

[12] WEG INDÚSTRIAS LTDA. Módulo 4 - Geração De Energia. 1. ed. Jaraguá do Sul, 2013. p. 315.