



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA  
CAMPUS PALMAS**

**FELIPE TOZZI BITTENCOURT**

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE VIABILIDADE DE SISTEMAS HÍBRIDOS  
DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA  
BIODIESEL/DIESEL/SOLAR CONECTADOS A REDE ELÉTRICA PARA  
CONSUMIDORES DO GRUPO A: ESTUDO DE CASO IFTO CAMPUS PALMAS**

**PALMAS - TO  
2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA  
CAMPUS PALMAS**

**FELIPE TOZZI BITTENCOURT**

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE VIABILIDADE DE SISTEMAS HÍBRIDOS  
DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA  
BIODIESEL/DIESEL/SOLAR CONECTADOS A REDE ELÉTRICA PARA  
CONSUMIDORES DO GRUPO A: ESTUDO DE CASO IFTO CAMPUS PALMAS**

Dissertação de mestrado apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agroenergia pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Palmas.

**Orientador:** Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior

**PALMAS - TO  
2018**

BITTENCOURT, Felipe Tozzi.

Simulação Computacional de Viabilidade de Sistemas Híbridos de Minigeração Distribuída de Energia Elétrica Biodiesel/Diesel/Solar Conectados a Rede Elétrica para Consumidores do Grupo A: Estudo de caso IFTO campus Palmas. / Felipe Tozzi Bittencourt. – Palmas: Universidade Federal do Tocantins (UFT), 2018.

82 p.

1 Sistemas Híbridos. 2. Biodiesel. 3. Diesel. 4. Solar Fotovoltaico.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE VIABILIDADE DE SISTEMAS HÍBRIDOS  
DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA  
BIODIESEL/DIESEL/SOLAR CONECTADOS A REDE ELÉTRICA PARA  
CONSUMIDORES DO GRUPO A: ESTUDO DE CASO IFTO, CAMPUS  
PALMAS.**

**ALUNO: Felipe Tozzi Bittencourt**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**Presidente:**

**Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior (UFT)**

**Examinadores:**

**Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque (IFTO)**

**Profª. Drª. Yolanda Vieira de Abreu**

**Data da Defesa: 30/01/2018**

As sugestões da Comissão Examinadora e as Normas PGA para o formato da  
Dissertação foram contempladas:

**Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior (UFT)**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por iluminar o meu caminho nessa empreitada. Gostaria de agradecer também o meu orientador professor Dr. Joel Carlos Zukowski Junior e aos membros da banca, professora Dra. Yolanda Vieira Abreu e o professor Dr. Fábio Lima de Albuquerque.

Um agradecimento especial para a minha Família que me auxiliou nessa jornada e me deu todo suporte necessário para a realização das atividades acadêmicas, principalmente minha esposa Lívia Fogaça Rodrigues Bittencourt. Agradeço também a minha filha Nicole que nasceu durante o curso e me deu outro sentido para a vida.

*“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: **a vontade**”*

*Albert Einstein*

## RESUMO

BITTENCOURT, Felipe Tozzi. **Simulação Computacional de Viabilidade de Sistemas Híbridos de Minigeração Distribuída de Energia Elétrica Biodiesel/Diesel/Solar Conectados de Rede Elétrica para Consumidores do Grupo A: Estudo de caso IFTO Campus Palmas.** Palmas: UFT, 2018. 82p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, 2018

Com a escassez dos combustíveis fósseis e com o aquecimento global, a utilização de formas alternativas de se gerar energia como os biocombustíveis e a energia solar vem a cada dia ganhando força e mercado no ramo energético. Nesse trabalho se propôs a uma forma alternativa de se gerar energia elétrica, que é a geração distribuída de forma híbrida, onde utilizaria biocombustíveis no horário de ponta ao invés do diesel e solar fotovoltaica de dia conectada na rede de distribuição. Outros cenários também foram simulados e demonstrados na dissertação. Todas as simulações dos cenários utilizaram o software de viabilidade HOMER, que encontra o ponto ótimo para cada simulação. Os resultados demonstram que o menor custo da energia para um horizonte de 25 anos é o sistema híbrido Biodiesel/Solar/Rede com o valor do kWh de R\$ 0,525 contra R\$ 0,931 da rede de energia da tarifa verde. A melhor Taxa Interna de Retorno foi o da configuração Biodiesel/Rede para a tarifa verde com a taxa de 246,30%, pois, o investimento inicial é baixo e o custo no horário de ponta é elevado. Sistemas Híbridos de geração de energia já é uma realidade e os resultados demonstram todo o seu potencial de crescimento.

**Palavras Chave:** Sistemas Híbridos, Biodiesel, Diesel e Solar Fotovoltaico.

## ABSTRACT

BITTENCOURT, Felipe Tozzi. **Computational Simulation of Feasibility of Hybrid Systems of Distributed Minigeration of Electric Energy Biodiesel/Diesel/Solar Connected of Electric Grids for Group A Consumers: Case Study IFTO Campus Palmas.** Palmas: UFT, 2018. 82p. Dissertation (Masters in Agroenergy) - Federal University of Tocantins, 2018.

With the shortage of fossil fuels and global warming, the use of alternative ways to generate energy such as biofuels and solar energy is gaining momentum and market in the energy sector. In this work, we proposed a new way of generating electricity, which is the generation distributed in a hybrid way, where it would use biofuels at peak times instead of the diesel and photovoltaic solar of day connected in the distribution network, other scenarios were also simulated and demonstrated in the dissertation. All the simulations of the scenarios used the HOMER feasibility software, which finds the optimal point for each simulation. The results show that the lowest energy cost for a 25 year horizon is the hybrid Biodiesel / Solar / Grid system with kWh value of R \$ 0.525 versus R \$ 0.931 of the green tariff energy network. The Best Internal Rate of Return was the Biodiesel / Network configuration for the green tariff with the rate of 246.30%, since the initial investment is low and the cost at peak hours is high. Hybrid systems of energy generation is already a reality and the results demonstrate their full potential for growth.

**Keywords:** Hybrid Systems, Biodiesel, Diesel and Solar Photovoltaic.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de funcionamento de sistema híbrido.....	14
Figura 2 - Sistema híbrido proposto para o IFTO Campus Palmas.....	15
Figura 3 - Transesterificação de óleo vegetal com álcool, produzindo Biodiesel e glicerol....	17
Figura 4 - Diagrama Unifilar de Ligação do Grupo Moto-gerador Diesel/Biodiesel para conexão em Média Tensão .....	20
Figura 5 - Célula Fotovoltaico.....	21
Figura 6 - Célula, Módulo e Conjunto Fotovoltaico .....	22
Figura 7 - Sistema Fotovoltaico conectado à rede.....	22
Figura 8 - Sistema Interligado Nacional (SIN).....	23
Figura 9 - Geração Centralizada versus Geração Distribuída .....	24
Figura 10 - Modalidades tarifárias disponíveis para cada tipo de consumidor. ....	27
Figura 11 - Fluxograma básico de funcionamento do HOMER.....	29
Figura 12 - Curva de Carga do dia 03/08/2016 do IFTO Campus Palmas. kW x Horas .....	33
Figura 13 - Curva de Carga do ano de 2016 do IFTO Campus Palmas. kW x Horas.....	37
Figura 14 - Índice de Irradiação para a cidade de Palmas kWh/m <sup>2</sup> /dia.....	40
Figura 15 - Custos históricos de módulos de c-Si até mar/2012 .....	43
Figura 16 – Configurações de Inversores Grid-Tie.....	45
Figura 17 – Eficiência do Inversor em diferentes níveis de Tensão para Cargas e Temperaturas Diferentes.....	46
Figura 18 - Consumo de Combustível para Diferentes Cargas .....	47
Figura 19 – Perfil de Consumo de Diesel, Biodiesel e Misturas Diesel/Biodiesel .....	48
Figura 20 – Histórico da Taxa de Juros e Inflação .....	50
Figura 21 – Diagrama Concessionária Local .....	52
Figura 22 – Diagrama Concessionária/Diesel .....	53
Figura 23 – Diagrama Concessionária/Diesel/Solar.....	54
Figura 24 – Superfície de Resposta para o sistema híbrido Rede/Diesel/Solar da tarifa Azul. 55	
Figura 25 - Superfície de Resposta para o sistema híbrido Rede/Diesel/Solar da tarifa Verde55	
Figura 26 – Superfície de Resposta do sistema híbrido Rede/Biodiesel/Solar da tarifa Azul.. 58	
Figura 27 - Superfície de Resposta do sistema híbrido Rede/Biodiesel/Solar da tarifa Verde 58	
Figura 28 – Diagrama Concessionária/Solar .....	59
Figura 29 – Variação do preço da energia para o sistema Rede/Solar .....	60
Figura 30 – Variação do preço da energia para os sistemas Rede/Diesel e Rede/Biodiesel ....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Poder Calorífico Diesel X Biodiesel.....	18
Tabela 2 - Preço da Energia Horó sazonal Verde no Tocantins.....	27
Tabela 3 – Demanda e Consumo do IFTO – Campus Palmas .....	34
Tabela 4 - Preço da Energia Horó sazonal Verde no Tocantins com Impostos .....	38
Tabela 5 - Preço da Energia Horó sazonal Azul no Tocantins com Impostos .....	39
Tabela 6 - Temperatura média diurna na cidade de Palmas no ano de 2016 .....	41
Tabela 7 – Preço de Painéis Fotovoltaicos .....	42
Tabela 8 – Custos do Sistema Fotovoltaico sem o Inversor.....	43
Tabela 9 – Características Técnicas do Painel Fotovoltaico .....	44
Tabela 10 – Preço dos Inversores de Freqüência .....	45
Tabela 11 - Custo de O&M do Gerador Diesel.....	48
Tabela 12 - Preço do Biodiesel no Centro Oeste do Leilão nº 004/2017.....	49
Tabela 13 - Preço do Diesel no mês de Setembro de 2017 na região Central de Palmas .....	50
Tabela 14 – Resultados otimizados utilizando a Concessionária Local.....	52
Tabela 15 – Resultados otimizados utilizando Concessionária/Diesel .....	53
Tabela 16 – Resultados otimizados utilizando Concessionária/Diesel/Solar.....	54
Tabela 17 – Resultados otimizados utilizando Concessionária/Biodiesel.....	56
Tabela 18 – Resultados otimizados utilizando Concessionária/Biodiesel/Solar .....	57
Tabela 19 – Resultados otimizados utilizando Concessionária/Solar .....	59
Tabela 20 – Resultados Econômicos das Simulações .....	61
Tabela 21 – Consumo de Combustível.....	63

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

a-Si	Silício Amorfo
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
BEN	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telureto de Cádmio
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CIP	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública
CIS	Disseleneto de Cobre e Índio
COE	Custo de Energia
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
C total ann	Custo Total Anualizado
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
ETF – Palmas	Escola Técnica Federal de Palmas
E total	Energia Útil Consumida pela Carga no Ano
FRC	Fator de Recuperação de Capital
FV	Fotovoltaico
HOMER PRO	<i>Hybrid Optimization Model for Electric Renewables</i>
HYBRID2	<i>The Hybrid System Simulation Model</i>
ICMS	Imposto sobre a Circulação de Mercadoria e Serviços
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

IGP-M	Índice Geral de Preços do Mercado
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INSEL	<i>Integrated Simulation Environment Language</i>
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
MME	Ministério de Minas e Energia
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
m-Si	Monocristalino
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDU	Norma de Distribuição Unificada
NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
NTD	Norma Técnica de Distribuição
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
p-Si	Policristalino
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PIS	Programas de Integração Social
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PSID	Projeto Social de Inclusão Digital
RETScreen	<i>Clean Energy Management Software</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TRNSYS	<i>Transient System Simulation Tool</i>

UFT	Universidade Federal do Tocantins
Unitins	Universidade Estadual do Tocantins
V	Tensão Elétrica (Volts)
VPL	Valor Presente Liquido
W	Potência Elétrica Ativa (Watts)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Problema</b> .....	13
<b>1.2 Objetivo Geral</b> .....	13
<b>1.3 Objetivos Específicos</b> .....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	14
<b>2.1 Sistemas Híbridos de Energia</b> .....	14
2.1.1 BIODIESEL .....	16
2.1.2 DIESEL .....	18
2.1.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (FV) .....	21
<b>2.2 Geração Distribuída</b> .....	23
2.2.1 NORMAS E LEGISLAÇÕES DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA .....	25
<b>2.3 Simulação Computacional</b> .....	28
2.3.1 MODELO MATEMÁTICO .....	30
<b>2.4 IFTO - Campus Palmas</b> .....	32
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	35
<b>3.1 Coleta de Dados</b> .....	36
<b>4 PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO</b> .....	37
<b>4.1 Curva de Carga do IFTO – Campus Palmas</b> .....	37
4.1.1 TARIFA HORO SAZONAL VERDE .....	38
4.1.2 TARIFA HORO SAZONAL AZUL .....	39
<b>4.2 Sistema Solar Fotovoltaico</b> .....	40
4.2.1 ÍNDICE DE IRRADIAÇÃO E DE TEMPERATURA .....	40
4.2.2 PLACA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	42
4.2.3 INVERSOR DE FREQUÊNCIA .....	44
<b>4.3 Grupo Gerador Diesel/Biodiesel</b> .....	46
4.3.1 CARACTERÍSTICA DOS COMBUSTÍVEIS (DIESEL E BIODIESEL) .....	48
<b>4.4 Taxa de Juros</b> .....	50
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	52
<b>5.1 Concessionária local</b> .....	52
<b>5.2 Concessionária/Diesel</b> .....	53
<b>5.3 Concessionária/Diesel/Solar</b> .....	54
<b>5.4 Concessionária/Biodiesel</b> .....	56

<b>5.5 Concessionária/Biodiesel/Solar</b> .....	57
<b>5.6 Concessionária/Solar</b> .....	59
<b>5.7 Análise de Resultados</b> .....	60
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	64
<b>6.1 Sugestões de Trabalhos Futuros</b> .....	65
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	66
<b>ANEXO 1 – TABELA DE CUSTOS DO SISTEMA SOLAR DO IFTO</b> .....	73
<b>ANEXO 2 – ORÇAMENTO GRUPO MOTOGERADOR DA STEMAC</b> .....	74

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o advento da indústria da eletricidade no final do século XIX, esta vem trazendo diversos benefícios para a sociedade de uma forma em geral, como: possibilidade de conservação de alimentos com o uso de geladeiras, iluminação, uso de aparelhos domésticos, utilização de aparelhos eletrônicos, acesso a informação de uma forma mais rápida, entre outros. Porém, para a energia elétrica chegar ao consumidor é necessário gerar e transmiti-la, produzindo assim diversos impactos ambientais, como: enormes áreas alagadas de hidrelétricas, desmate das faixas de servidão das linhas de transmissão, utilização de combustíveis fósseis em algumas geradoras, etc.

A geração distribuída tem se apresentado como uma forma menos agressiva de se gerar energia elétrica, pois, seu impacto ambiental é atenuado por se gerar energia próxima ao local de consumo. Algumas dessas alternativas são: solar fotovoltaica, eólica e biomassa. A energia solar fotovoltaica já é uma tecnologia em plena expansão no Brasil, porém, não pode-se dizer o mesmo da utilização de biocombustíveis como o biodiesel para a geração de energia elétrica.

Em um país com extensas áreas agrícola como o Brasil, culturas agroenergéticas como: soja, cana-de-açúcar, dendê, dentre outros devem ser estudadas e implementadas de tal maneira para diversificar a matriz energética, que é predominantemente hidroelétrico para geração de eletricidade. Com a possibilidade dos consumidores de energia elétrica poder produzir sua própria energia conectada a rede, essas tecnologias devem se disseminar de uma forma mais rápida e eficiente no sistema elétrico, devendo aumentar assim a utilização de biocombustíveis.

Consumidores do grupo A de energia, que são alimentados em média tensão e pagam pela energia consumida e demanda contratada tem a possibilidade de gerar sua própria energia, em horário de ponta com geradores a diesel e fora de ponta com outras fontes. Então, sistemas híbridos de energia podem apresentar alternativas para os consumidores de energia elétrica.

Sistemas híbridos de energia com a utilização de biocombustíveis e energia solar fotovoltaica conectado à rede elétrica, propicia uma ideia de utilização de fontes renováveis de energia de tal maneira que, de dia se utilize a energia solar, no horário de ponta o biodiesel e nos demais horários a rede. Como é conectada na rede, em caso de não haver disponibilização de sol e biocombustíveis, a rede atuará como fornecedora energética. Caso

seja produzido a mais que a carga necessite, essa energia será compensada na forma de crédito.

Órgãos públicos como o IFTO, UFT e Unitins tem elevados custos com energia e a geração híbrida pode ser uma alternativa viável para esses consumidores, pois, procura-se viabilizar sistemas energéticos em horários distintos de tarifação. Assim, este trabalho tem por finalidade analisar sistemas híbridos em um estudo de caso no IFTO/Campus Palmas.

### **1.1 Problema**

No ano de 2012 teve a implementação da resolução normativa 482/2012 da ANEEL que permitiu que consumidores gerassem sua própria energia ligada à rede elétrica, instituindo assim a geração distribuída. Com o aumento constante na conta de energia, que utilizam fontes convencionais do SIN, os consumidores do grupo A de energia elétrica podem reduzir o valor das suas faturas de energia gerando sua própria energia. Sistemas híbridos de geração de energia podem apresentar possíveis soluções energéticas para a diminuição dos custos de Empresas e Órgãos Públicos.

### **1.2 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo estudar, simular e analisar sistemas híbridos de geração distribuída de energia elétrica utilizando biocombustíveis (Biodiesel), Solar Fotovoltaica e Diesel, operando em horário de ponta e fora de ponta de consumidores do grupo A, comparando diversos cenários.

### **1.3 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- Levantamento da carga requerida, demanda contratada e consumo do IFTO campus Palmas;
- Dimensionamento de sistemas de geração híbrida conectado à rede por simulação de otimização;
- Avaliação da viabilidade técnica das aplicações em relação à tecnologia e legislação vigente;
- Avaliação da viabilidade econômica das alternativas.

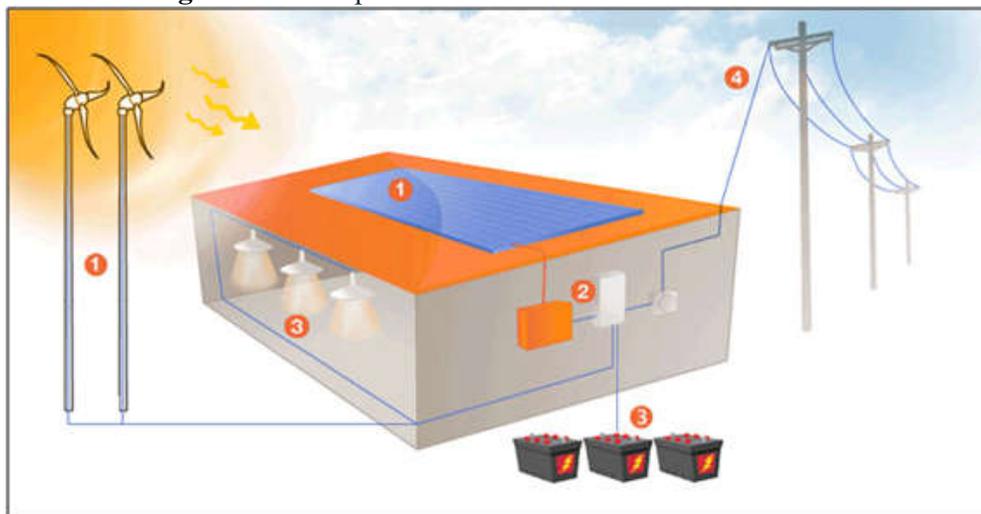
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Sistemas Híbridos de Energia

O Brasil está entrando em uma nova era no campo da geração de energia elétrica. Os avanços tecnológicos têm permitido que a implantação de usinas eólica, sistemas fotovoltaico, utilização de biocombustíveis e biomassa não sejam mais meras promessas para o futuro, mas alternativas energéticas limpas, renováveis e possivelmente economicamente atraentes em alguns casos (BRASIL, 2016).

Os sistemas de geração de energia híbrida, consiste de duas ou mais fontes de energia, renováveis ou não renováveis, utilizadas em conjunto para se obter uma melhor eficiência e maior equilíbrio energético. Também, com sua utilização, haverá uma maior diversificação na matriz elétrica. Na Figura 1 é demonstrado como funcionam esses tipos de sistema. Nesse caso de exemplo tem a rede de distribuição, energia solar fotovoltaica e a eólica.

**Figura 1** - Exemplo de funcionamento de sistema híbrido.



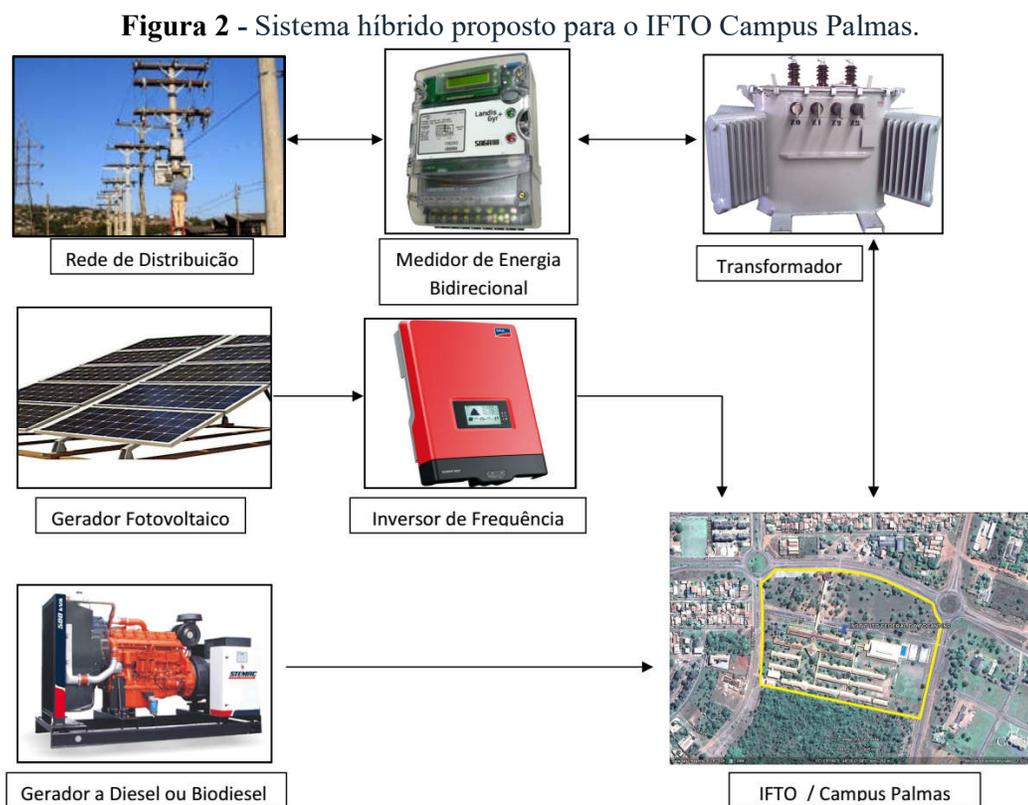
**Fonte:** Energia Híbrida, 2016

O funcionamento do modelo básico de geração híbrida da Figura 1 é da seguinte forma: 1 - a energia do sol e do vento é convertida em eletricidade, 2 - os inversores controlam toda a operação e faz o gerenciamento energético, 3 - as baterias armazenam energia para os momentos de queda no fornecimento (item não é comum em sistemas conectados na rede), 4 - a energia da concessionária é utilizada automaticamente durante

períodos sem vento e sol. É possível no Brasil realizar compensação energética na conta de energia segundo a resolução 482/2012 da ANEEL.

As classificações de sistemas híbridos segundo Pinho *et. al.* (2008 p. 179), são: interligação com a rede elétrica convencional, prioridade de uso das fontes de energia e configurações. As configurações de sistemas híbridos de energia que serão estudados neste trabalho são: Rede/Diesel/Solar e Rede/Biodiesel/Solar, e outras convencionais como: Rede/Solar, Rede/Diesel e Rede/Biodiesel.

Os dois modelos híbridos a serem estudados neste trabalho estão demonstrado na Figura 2, onde é possível visualizar as componentes e seus devidos direcionamentos de energia.



A ideia de funcionamento do diagrama da Figura 2 é que a rede da concessionária tem o fluxo bidirecional, ou seja, nos momentos em que não há geração solar e nem a geração diesel/biodiesel a rede entra como fonte supridora de energia. Também, em momentos em que o custo da energia é mais cara, entra em funcionamento o gerador diesel/biodiesel e de dia quando o custo é mais baixo entra o sistema solar, podendo este, fornecer energia para a rede. Quais devem ser as potências instaladas desses sistemas, essas são algumas das respostas que

esse trabalho se propõe a encontrar, de maneira a obter o máximo de eficiência energética e econômica.

Os conceitos dessas fontes de energia serão descritas nos próximos tópicos.

### 2.1.1 BIODIESEL

Rudolf Diesel, criador do motor que leva seu nome, disse em 1912: *“the use of vegetable oils for engine fuels may seem insignificant today, but such oils may become, in the course of time, as important as petroleum and the coal-tar products of the present time”* (ABREU, 2005, p.2). Com a escassez de combustíveis fósseis e sua alta emissão de GEE (gases de efeito estufa), o biodiesel tem sido cada vez mais aplicada para diversos fins.

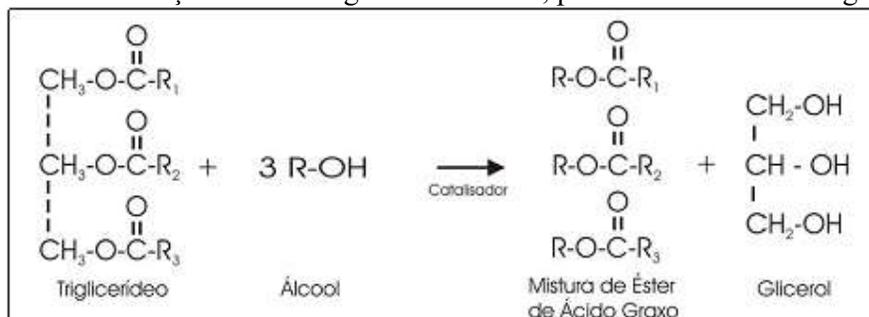
Segundo o Ministério de Minas e Energia (2016) o biodiesel é um combustível derivado de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais. Existem diferentes espécies de oleaginosas no Brasil que podem ser usadas para produzir o biodiesel. Entre elas estão a mamona, dendê, canola, girassol, amendoim, soja e algodão. Matérias-primas de origem animal, como o sebo bovino e gordura suína, também podem ser utilizadas na fabricação do biodiesel (MME, 2016).

Segundo Abreu (2005), os países em desenvolvimentos serão futuros fornecedores de biocombustíveis e precisam tomar a decisão agora de como, onde, porque e como produzir a matéria-prima de modo sustentável e permanente.

Existem diversas maneiras de se produzir o Biodiesel, entre elas pode-se citar o craqueamento, esterificação e a transesterificação (ENCARNAÇÃO, 2008). Segundo Amaral do Valle (2009, p.14) o processo mais amplamente empregado para produção de Biodiesel, comercialmente, em todo o mundo é o da transesterificação dos óleos vegetais, utilizando um álcool de cadeia curta de carbono, principalmente o metanol.

Conforme diz Taketa *et. al.* (2013), o biodiesel é um produto da transesterificação, que ocorre quando um álcool de cadeia curta reage com um triglicerídeo para formar glicerol (glicerina) e ésteres de cadeias longas de ácidos graxos, com características semelhantes ao diesel mineral conforme verifica-se na Figura 3. Biodiesel também pode ser produzido a partir de ácidos graxos de cadeia longa.

**Figura 3** - Transesterificação de óleo vegetal com álcool, produzindo Biodiesel e glicerol.



**Fonte:** Taketa *Et. Al.* 2013.

No ano de 2005 o governo federal instituiu o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), para a produção e o abastecimento interno com combustíveis menos poluentes em relação aos derivados de petróleo (MADUREIRA E GUERRA, 2014). Com a Lei 11.097/2005 ficou estipulado quantidades de percentual para a mistura no Diesel com o Biodiesel. Em março de 2016 foi realizada a última atualização destes percentuais conforme a lei 13.263/2016, que estabelece 8%, 9% e 10% com seus respectivos prazos de 12, 24 e 36 meses a partir de 23 de março de 2016. É importante observar que nesta mesma lei em seu artigo 1-C diz que é facultada a adição de biodiesel ao diesel em quantidade superior ao obrigatório e o uso voluntário da mistura no transporte público, no transporte ferroviário, na navegação interior, em equipamentos e veículos destinados à extração mineral e à geração de energia elétrica, entre outros. Isso demonstra que é possível a utilização legal para geração de energia elétrica com 100% de Biodiesel.

O Biodiesel tem um poder calorífico em sua composição B100 (100% de Biodiesel) inferior a do diesel puro D100. Conforme diz Tutak *et. al.* (2017) a do Biodiesel B100 é de 37,1 MJ/kg e a do Diesel é 42,5 MJ/kg. Essa característica demonstra que para gerar a mesma quantidade de energia é necessário um volume maior de Biodiesel. No Brasil é obrigatório a mistura Diesel/Biodiesel. Conforme Tan *et. al.* (2016) o poder calorífico do B20 é de 44,5 MJ/kg. É importante citar que neste artigo, os valores de B100 e D100 foram diferentes do trabalho de Tutak *et. al.* (2017), sendo 35 MJ/kg e 44,8 MJ/kg respectivamente, conforme Tabela 1.

**Tabela 1 – Poder Calorífico Diesel versus Biodiesel**

<b>Mistura</b>	<b>Tutak <i>et. al.</i> (2017)</b>	<b>Tan <i>et. al.</i> (2016)</b>
B100	37,1 MJ	35 MJ
B20	----	44,5 MJ
D100	42,5 MJ	44,8 MJ

O poder calorífico do B20 ficou próximo do D100, tendo uma perda de 0,6% do diesel puro, enquanto o B100 teve um decréscimo de 12,7% no trabalho de Tutak *et. al.* (2017) e 21,9% no trabalho de Tan *et. al.* (2016) em relação ao diesel puro. São valores elevados se comparados com misturas Diesel/Biodiesel.

Para as simulações realizadas neste trabalho, foram adotados o B8 e o B100, o qual é o diesel distribuído nos postos e o Biodiesel puro respectivamente.

### 2.1.2 DIESEL

Com a criação do motor diesel no ano de 1893, aos poucos ele foi substituindo as máquinas a vapor utilizadas no princípio da revolução industrial, por serem menores. Também foi, e é muito utilizado para transporte, como: caminhões, trens, ônibus entre outros. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2015 (2016), no Brasil, o diesel é responsável por 18,4% do consumo final de energia, sendo que no ramo de transporte corresponde a 44,4%. Porém para geração de energia elétrica, a utilização de derivados do petróleo correspondeu a 4,8% da matriz elétrica de 2015. Isso se deve ao elevado custo de geração de termelétrica movida a diesel, sendo outras fontes mais baratas como o bagaço de cana-de-açúcar, hidroelétricas entre outros.

No sistema elétrico, uma das principais utilizações de grupo de geradores a Diesel é para o atendimento energético em comunidades e regiões isoladas eletricamente do norte do país, onde pela densa floresta e rios largos, fazem com que o atendimento por rede convencional de energia fique em muitos casos, inviável. Atualmente não é só em sistemas isolados que buscam gerar sua própria energia. Outros segmentos que adotam essa forma de

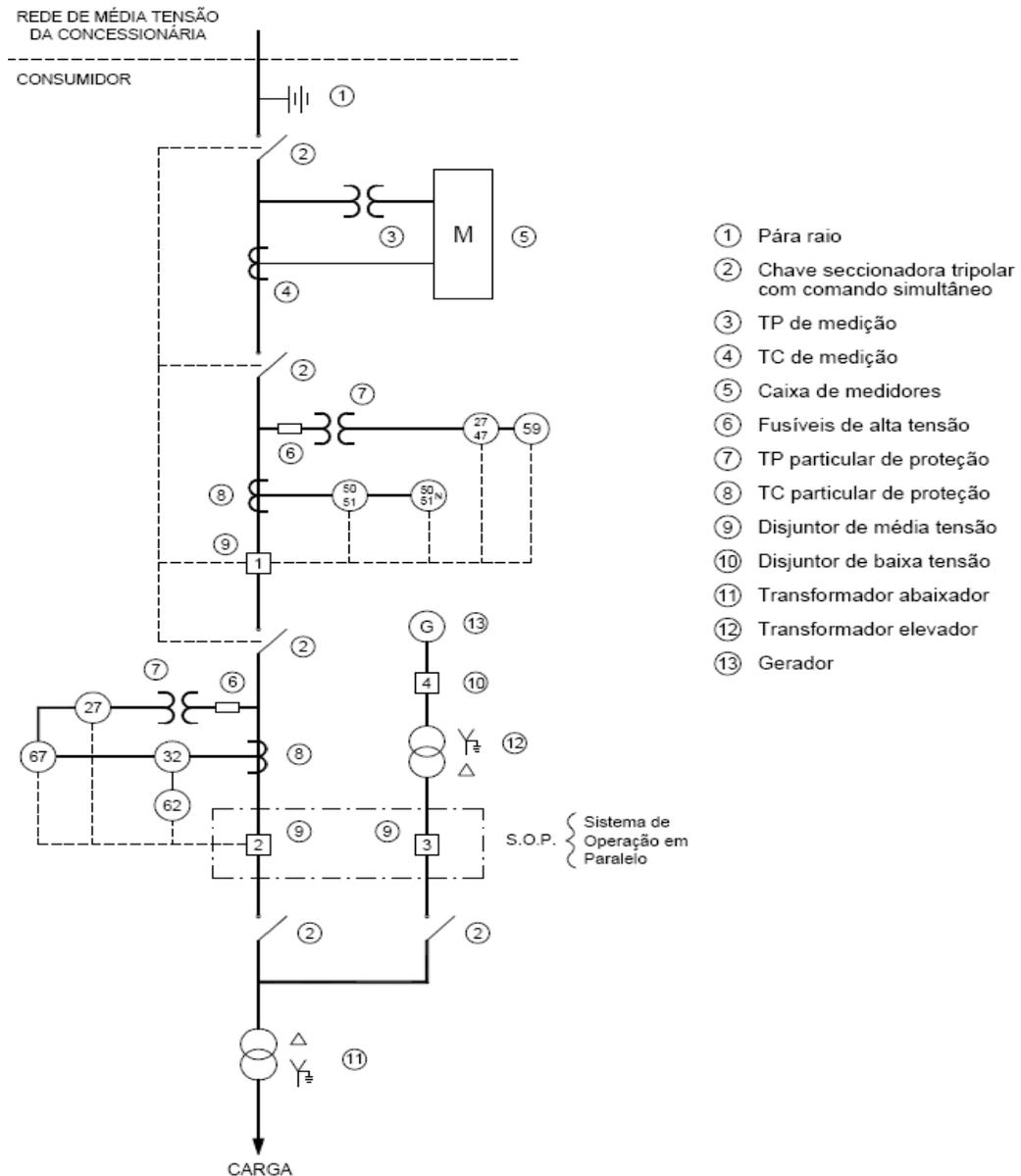
autogeração, são: hotéis, shopping *centers*, hospitais entre outros. Os principais objetivos desse tipo de geração são: substituir a energia da concessionária em caso de falta do suprimento pela concessionária, substituir a energia da concessionária na hora de ponta, utilização como serviço auxiliar em subestações e utilização em localidades que não são atendidas por rede elétrica. (Mamede Filho, 2007)

Os grandes consumidores de energia elétrica, classificados como grupo A, tem um tipo de tarifação diferente, onde é cobrado valor mais elevado em horário de ponta e mais barato fora de ponta. Alguns destes consumidores optam por colocar geradores a diesel para compensar esse custo elevado da energia na ponta. Na cidade de Palmas têm-se alguns exemplos de consumidores que utilizam grupos geradores a diesel tais como: Faculdade Católica, Palmas Shopping, Shopping Capim Dourado, Atacadão entre outros.

É importante observar que a concessionária Energisa Tocantins, não permite conectar geradores diesel em paralelo em sua rede. Na norma NDU - 02, item 17.9, diz que não é permitido o paralelismo entre o gerador e a rede, entretanto, na norma NTD 19, item 1, diz que é possível ter acesso a rede desde que utilize as seguintes fontes de energia: hidráulica, solar, eólica, biomassa ou co-geração qualificada, não estando o diesel como uma fonte possível de se conectar com a concessionária, sendo possível somente para consumo próprio.

Na Figura 4, é possível observar o diagrama unifilar do esquema de funcionamento do grupo gerador diesel e biodiesel, sendo a diferença entre eles, que o Biodiesel é possível ligar em paralelo com a rede, por se tratar de uma fonte oriunda de Biomassa e o Diesel não é possível sincronizar com a rede.

**Figura 4 - Diagrama Unifilar de Ligação do Grupo Moto-gerador Diesel/Biodiesel para conexão em Média Tensão**



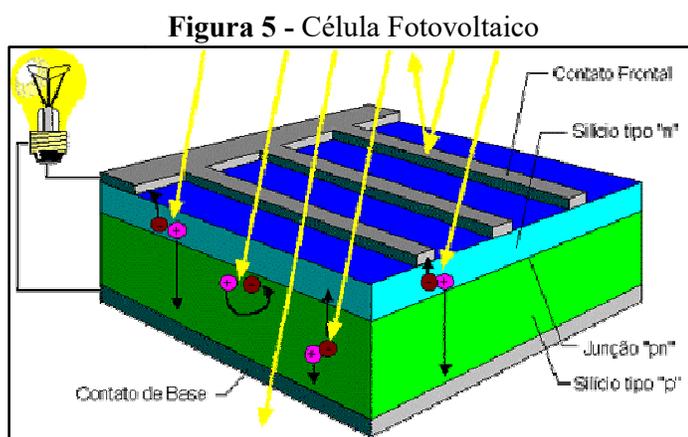
Fonte: Pereira, 2017

Outra característica importante é que o sistema de geração tem que ficar depois da medição da concessionária. E caso seja possível o sincronismo com a rede, terá que ser trocado o medidor, por um medidor de quatro quadrantes, que registra a entrada e saída de energia.

### 2.1.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (FV)

O efeito fotovoltaico, descoberto por Edmond Becquerel, em 1839, implica no aparecimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz. Em 1956, iniciou-se a produção industrial, seguindo o crescimento da área de eletrônica. O desenvolvimento desta tecnologia teve como agentes impulsionadores a “corrida espacial” e o setor de telecomunicações. As principais tecnologias utilizadas atualmente são: silício monocristalino e policristalino (m-Si e p-Si) que representa 85% do mercado e silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) e o telureto de cádmio (CdTe) que comercialmente são denominadas de filmes fino (PINHO E GALDINO, 2014).

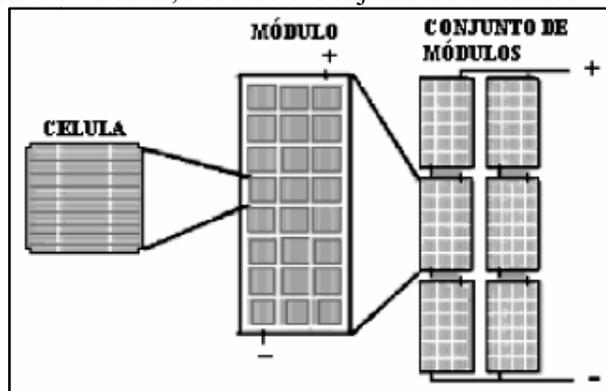
O funcionamento básico de uma célula fotovoltaica dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores, que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra onde totalmente "vazia" (banda de condução) conforme é mostrado da Figura 5. O semiconductor mais usado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. (CRESESB, 2017)



**Fonte:** CRESESB, CEPEL 2017

A partir da ligação em série de várias células fotovoltaicas, se tem o módulo fotovoltaico e a ligação em série ou paralelo de um grupo de módulos fotovoltaicos denomina-se conjunto fotovoltaico, conforme se observa na Figura 6.

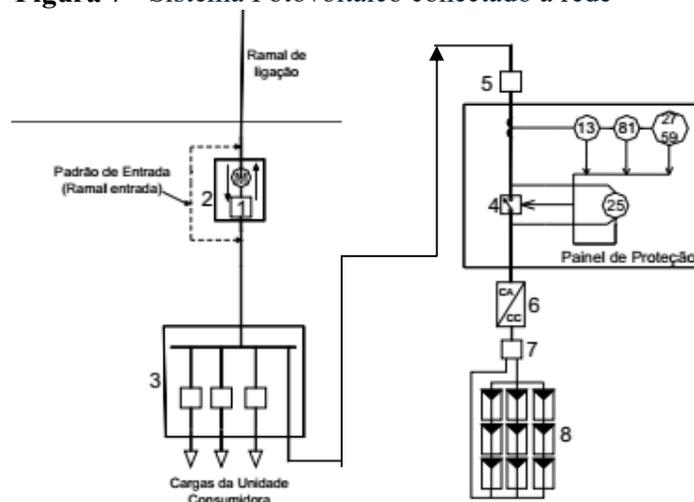
**Figura 6 - Célula, Módulo e Conjunto Fotovoltaico**



Fonte: Leva *et. al.*, 2004

A partir do conjunto fotovoltaico se tem o sistema fotovoltaico, que é o conjunto de elementos composto de gerador fotovoltaico, inversores, controladores de carga, dispositivos para controle, supervisão e proteção, armazenamento de energia elétrica (para sistemas autônomos), fiação, fundação e estrutura de suporte (NTD 19). Esses elementos é o que garante a entrega de energia de forma que se possa utilizar dentro de padrões estabelecidos. Para sistemas conectados à rede de distribuição de energia, os componentes usualmente utilizados são: conjunto fotovoltaico, inversor, supervisão e proteção (normalmente o inversor possui esses elementos), fiação, fundação e estrutura de suporte. Pode-se observar o diagrama básico na Figura 7.

**Figura 7 - Sistema Fotovoltaico conectado à rede**



Fonte: NTD 18

Conforme mostrado na Figura 7 tem-se a ligação básica de um sistema FV conectado à rede, onde os elementos são: M- Medidor Bidirecional, 1- Disjuntor CA, 2- Padrão de

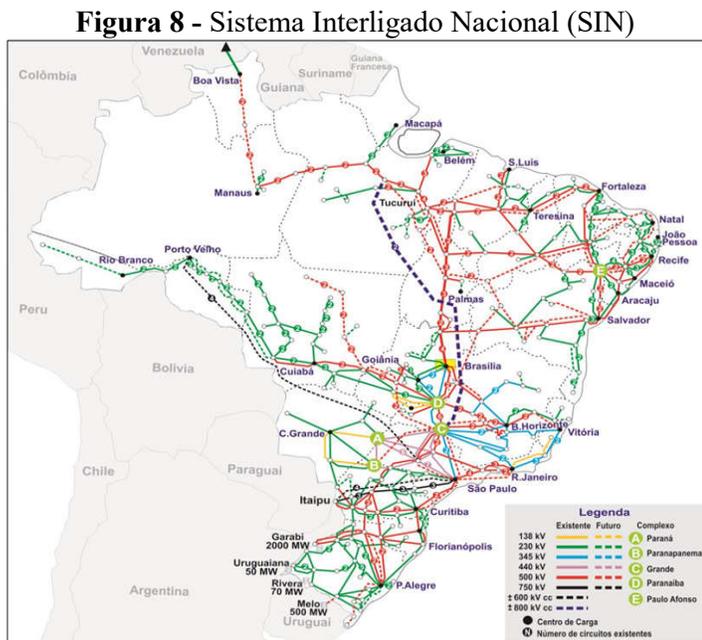
entrada de energia, 3- Quadro de carga, 4- Disjuntor CA da Geração, 5- Elemento de Interrupção, 6- Inversor CC/CA, 7- Disjuntor CC, 8- Conjunto FV. Normalmente os inversores já tem tecnologia que agrupam os itens 4 e 5 dentro dele.

Os sistemas de compensação na rede no Brasil foram permitidos pela ANEEL no ano de 2012. Desde então já se tem instalado 21.765 sistemas FV ligado na rede, segundo a agência reguladora, totalizando 186.069,77 kW de potência instalada (ANEEL, Janeiro/2018). As perspectivas de utilização dessa fonte energética é de até 2024 se tenha uma potência instalada de 7 GW equivalente a 3% da matriz elétrica (PDE, 2015).

A Geração Solar Fotovoltaica é uma tecnologia que está se disseminando e seus custos caindo e, conforme já descrito, o seu uso tende a aumentar, fazendo que sua integração com outras fontes no sistema elétrico seja imprescindível. Assim sendo, é de grande importância o estudo de sistemas híbridos com a utilização desta fonte.

## 2.2 Geração Distribuída

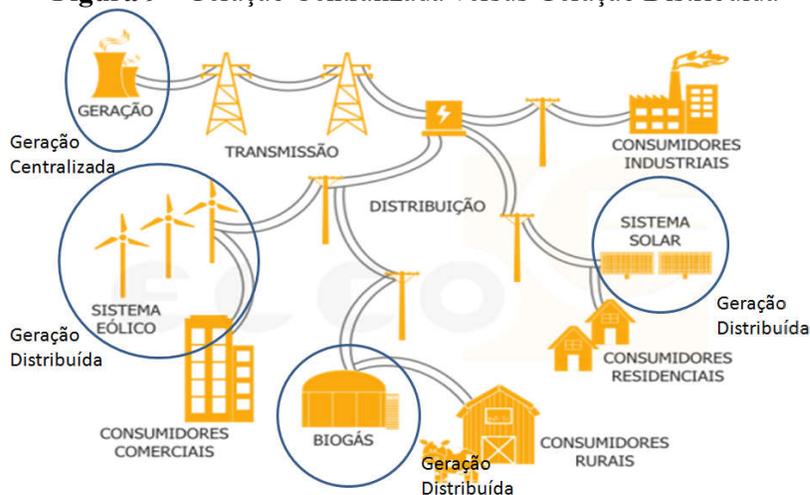
Em um sistema predominantemente hidrelétrico como o do Brasil, resulta, em geral, em centrais de grande ou médio porte, conhecido como geração centralizada, afastadas das cargas a serem alimentadas, às quais se conectam por meio de linhas de transmissão de alta tensão (REIS, 2011). No Brasil existe o Sistema Interligado Nacional (SIN) que é a interligação de geração e consumidores conforme é demonstrado na Figura 8.



Fonte: ONS, 2016

O SIN só não atende menos de 1% dos consumidores, os demais todos são atendidos pelo sistema (ONS, 2018). Já a expressão geração distribuída vem sendo utilizada para designar sobretudo os projetos de geração de pequeno e médio porte, próximos às cargas alimentadas, conectados de forma dispersa à rede elétrica de distribuição (REIS, 2011). A diferença entre a geração centralizada e a distribuída é possível de se ver na Figura 9.

**Figura 9 - Geração Centralizada versus Geração Distribuída**



**Fonte:** ELCO, 2016 adaptado pelo autor.

Observa-se na Figura 9, tem-se que a geração centralizada necessita de linhas de transmissão para conectar a sua energia aos blocos de carga. Já a geração distribuída é conectada normalmente no sistema de distribuição, próximo a carga.

A geração distribuída segundo Severino *et. al.* (2014) pode ser classificada se gerada pelo consumidor, como: isolada da rede (SIN) ou conectada na rede. Em locais afastados do SIN, onde o sistema interligado não chega, se utiliza geração distribuída isolada, comumente com geradores a diesel. Já na geração distribuída conectada na rede, há diversas formas de utilização, sendo elas: Solar fotovoltaica, Eólica, Diesel, Biodiesel, Cogeração do bagaço de cana e etc.

Em 2012 a ANEEL estabeleceu critérios para todos os consumidores que queiram ter geração em suas unidades consumidoras, criando assim a Resolução Normativa 482/2012, que será visto com mais profundidade no próximo tópico.

## 2.2.1 NORMAS E LEGISLAÇÕES DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Com o avanço tecnológico da eletrônica de potência e com a queda nos custos das fontes renováveis de energia, fez com que a geração distribuída conectada na rede de distribuição sai-se da teoria para a prática. Assim sendo, a ANEEL estabeleceu regras de conexão e compensação financeira para os consumidores que quiserem se tornar micro ou mini geradores de energia elétrica. Essas regras estão incluídas dentro da resolução normativa 482/2012.

A resolução 482/2012 sofreu algumas alterações no ano de 2015 com a resolução 687/2015. Em seu artigo 2 incisos I e II, observa-se que a diferença entre micro e minigeração é a potência instalada, sendo até 75 kW micro, e superior a 75 kW até 5 MW mini geração.

**“Art. 2º** Para efeitos desta Resolução, ficam adotadas as seguintes definições:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.”

Também há alguns fatores limitantes para instalação de geração distribuída, como está na resolução 482/2012 art. 4 parágrafo 1 e 2:

“§1º 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;

§2º Caso o consumidor deseje instalar central geradora com potência superior ao limite estabelecido no §1º, deve solicitar o aumento da potência disponibilizada, nos termos do art. 27 da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, sendo dispensado o aumento da carga instalada.”

A resolução 414/2010, que trata sobre condições gerais de fornecimento de energia elétrica, conforme citado no parágrafo anterior, em seu artigo 2, inciso LX diz:

“LX – 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); e

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).”

Ou seja, para todos os consumidores do Grupo A, poderá ser instalado sistemas de geração distribuída com potência máxima de sua demanda contratada em kW. Caso o consumidor deseje aumentar essa potência, é necessário que se aumente a demanda contratada conforme diz o art 27. da resolução 414/2010, que dá autonomia para a concessionária decidir.

Para efeitos de compensação de energia elétrica, está descrito no capítulo 3 da resolução 482/2012 artigo 6 e 6-A:

“**Art. 6º** Podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica os consumidores responsáveis por unidade consumidora:

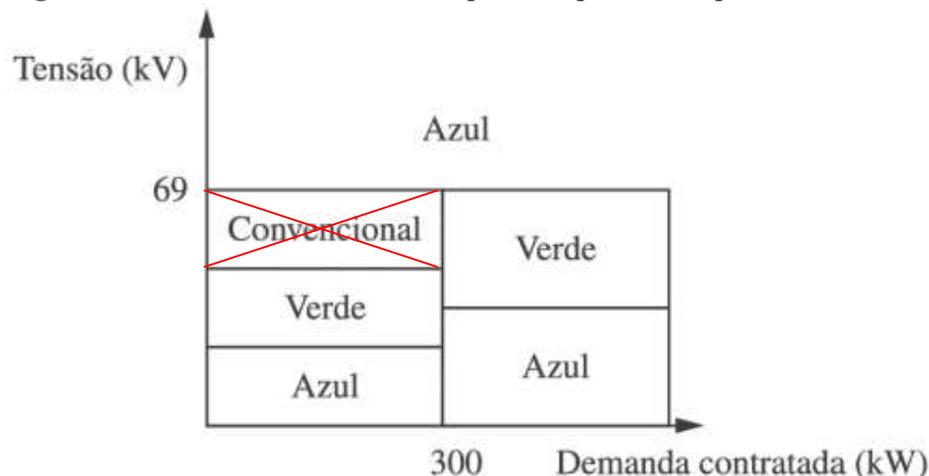
- I – com microgeração ou minigeração distribuída;
- II – integrante de empreendimento de múltiplas unidades consumidoras;
- III – caracterizada como geração compartilhada;
- IV – caracterizada como autoconsumo remoto.

§1º Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses.

§2º A adesão ao sistema de compensação de energia elétrica não se aplica aos consumidores livres ou especiais. “

Pode-se observar no parágrafo 1 do artigo 6, que todo excedente de energia creditado na rede no período de faturamento gerará um crédito de energia ativa a ser compensado em até 60 meses. Passado esse período o consumidor não poderá reaver esse valor de energia. A concessionária não pagará em valor monetário e sim em abatimento na conta de energia.

Os consumidores do grupo A são tarifados de maneira binômia, pois, pagam pela energia e pela demanda, e eram classificados em três classes: Convencional, Horo-sazonal verde e Horo-sazonal azul. Porém na resolução 414/2010 da ANEEL em seu artigo 57, inciso 6º determina a extinção da tarifa convencional a partir do terceiro ciclo de revisão tarifária, que ocorreu no meio do ano de 2017. A convencional, só podia ser utilizada para demanda contratada de até 300 kW. Já as demais classes podem ser utilizadas de acordo com a tensão de alimentação, conhecido como subgrupos conforme a Figura 10.

**Figura 10** - Modalidades tarifárias disponíveis para cada tipo de consumidor.

**Fonte:** Soler, *Et. Al.* 2014, Adaptado pelo autor.

As classes verde e azul têm como característica principal a cobrança diferenciada de tarifa no horário de ponta, que no estado do Tocantins esse horário é das 18 horas até as 21 horas. No caso em estudo a tarifa utilizada é a verde, onde se paga uma demanda e dois valores de energia, ponta e fora de ponta (PROCEL, 2011). Na Tabela 2, verifica-se os valores praticados pela Energisa - Tocantins para os consumidores da modalidade tarifária verde.

**Tabela 2** - Preço da Energia Horo sazonal Verde no Tocantins

MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA VERDE				
Subgrupo	Classes	Demanda (R\$/kW)	Consumo (R\$/kWh)	
			Ponta	Fora de Ponta
A4 (2,3 A 25 KV)	SERVIÇO PÚBLICO	R\$ 22,05	R\$ 1,82	R\$ 0,22
	RURAL	R\$ 23,35	R\$ 1,92	R\$ 0,24
	RURAL IRRIGAÇÃO	--	--	R\$ 0,05
	DEMAIS CLASSES	R\$ 25,94	R\$ 2,14	R\$ 0,26

**Fonte:** Energisa - Tocantins, Adaptado pelo autor.

Os tributos sobre a conta de energia são divididos em três esferas: Municipal, Estadual e Federal. Na Municipal tem a CIP (Contribuição para Custeio do serviço de Iluminação Pública), Estadual o ICMS (Imposto sobre a Circulação de Mercadoria e Serviços)

e Federal o PIS (Programas de Integração Social) e COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) (PROCEL, 2011). Para efeito de cálculo é feito como demonstrado na Equação (1).

$$\text{Valor a ser cobrado} = \frac{\text{Valor da Tarifa}}{1-(\text{PIS}+\text{COFINS}+\text{ICMS})} \quad (1)$$

É importante observar que a CIP é uma taxa, não interferindo no valor final a ser cobrado, e os demais impostos incidem no valor final da tarifa, ou seja, os valores da Tabela 2 é o valor da tarifa sem os impostos. Os percentuais cobrados atualmente na conta de energia do IFTO - Campus Palmas são: ICMS 25%, PIS 0,7775% e COFINS 3,5742%.

### 2.3 Simulação Computacional

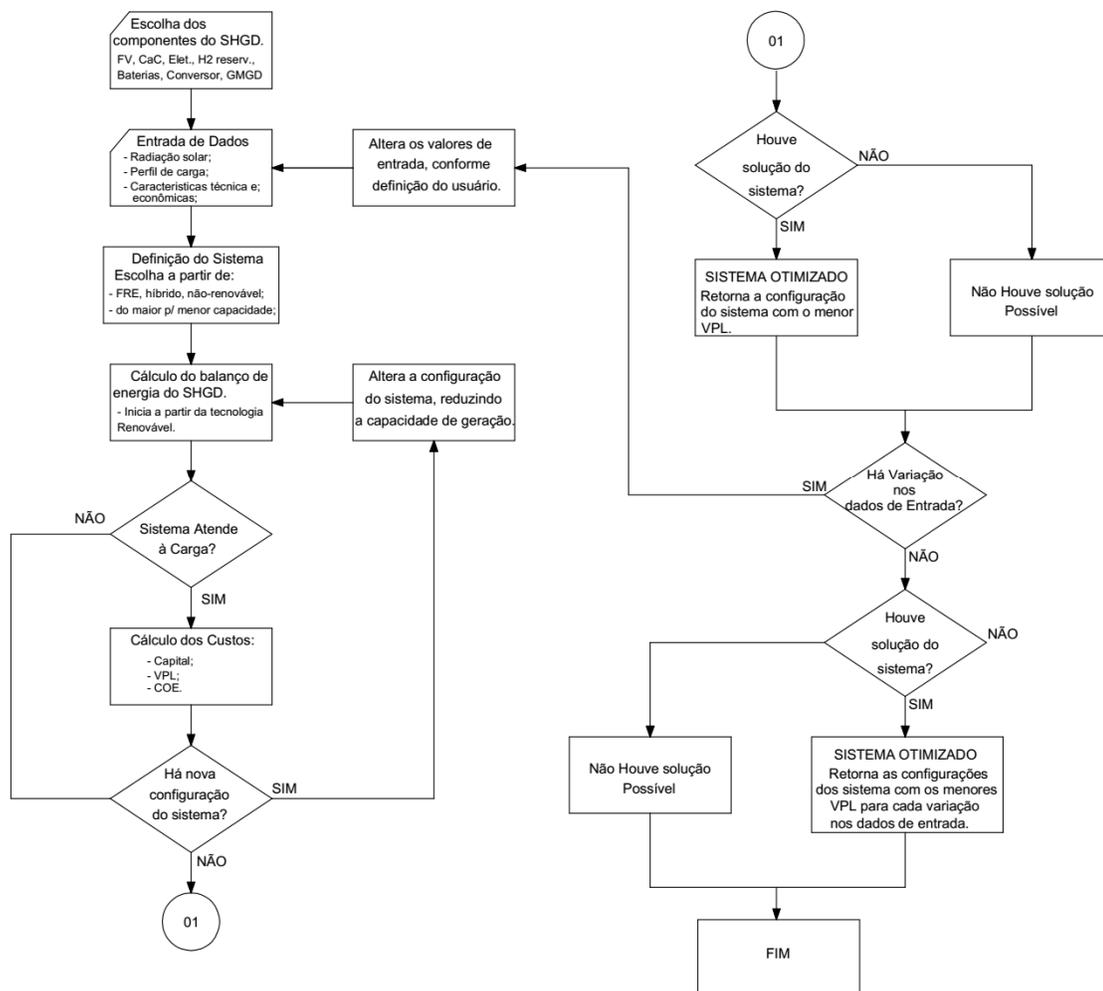
Com o desenvolvimento de sistemas de energia renovável e a implantação de geração conectada à rede de distribuição, diversos softwares de simulação foram desenvolvidos para atender esses sistemas ou sistema isolado da rede. Alguns exemplos de programas são: TRNSYS, INSEL, HYBRID2, RETScreen, HOMER PRO entre outros. O software a ser utilizado neste trabalho é o HOMER PRO.

O HOMER (do inglês *Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*), é um programa para otimização de micro ou mini sistemas de potência, buscando simplificar a tarefa de avaliação dos projetos de sistemas isolados ou conectados a rede elétrica para uma variedade de aplicações (HOMER, 2017).

O HOMER modela cada configuração de sistema de forma individual, realizando uma simulação de hora em hora da operação durante o período de um ano. A fonte energética disponível é calculada e comparada à carga elétrica requerida. Em seguida, são feitos os cálculos para o período de um ano, associados a quaisquer restrições impostas pelo usuário. O valor presente líquido (VPL em inglês NPC) representa o custo do ciclo de vida do sistema, indicado pelo usuário. Os cálculos do software avaliam todos os custos ocorrendo dentro do tempo de vida do projeto, incluindo custos iniciais de instalação, substituição de componentes, manutenção e combustíveis (Perillo, 2013).

O diagrama apresentado na Figura 11 mostra a lógica do funcionamento do HOMER.

**Figura 11** - Fluxograma básico de funcionamento do HOMER



Fonte: Silva, 2010

Segundo Silva (2010), para calcular o VPL, o HOMER calcula o custo de cada componente para o período de um ano, denominado custo anualizado ( $C_{ann}$ ). O custo anualizado de um componente é igual ao seu custo anual de operação, mais o custo do capital e custo de reposição anualizado sobre a vida útil do projeto. O HOMER soma o valor anualizado de cada componente para encontrar o custo total anualizado ( $C_{total\_ann}$ ) (Silva, 2010). A equação 2 é utilizada para o cálculo do valor presente líquido:

$$VPL = \frac{C_{totalann}}{FRC(t,i)} \quad (2)$$

Em que:

$C_{total_{ann}}$  = custo total anualizado

$FRC(t, i)$  = fator de recuperação de capital

$t$  = tempo estimado do projeto

$i$  = taxa de juro real

O HOMER define o custo de energia (COE) como a média do custo por kWh de energia elétrica útil produzida pelo sistema. Para o cálculo do COE, HOMER divide o custo total anualizado de produção de eletricidade pela energia útil consumida pela carga no ano ( $E_{total}$ ) conforme equação 3.

$$COE = \frac{C_{total_{ann}}}{E_{total}} \quad (3)$$

As simulações do HOMER na pesquisa feita por Zahboune *et. al.* 2016, mostrou que os resultados obtidos no software são similares ao MESCA/MatLab (*Modified Electric System Cascade Analysis*), sendo a variação entre os softwares relativamente baixa. Isso demonstra o quão preciso é o software que será utilizado.

### 2.3.1 MODELO MATEMÁTICO

Conforme já visto nas equações (2) e (3) e na Figura 11, o HOMER para encontrar a configuração mais viável economicamente necessita saber o custo total anualizado, como pode ser visto na equação 4.

$$C_{total_{ann}} = C_{Energia} + C_{Demanda} + C_{O\&M} \quad (4)$$

Em que:

$C_{Energia}$  = custo anual da energia

$C_{Demanda}$  = custo anual da demanda

$C_{O\&M}$  = custo anual de operação e manutenção

O custo total anualizado é somatório de outros três custos, relativos a Energia, Demanda e Operação e Manutenção do Sistema. Outro fator importante a ser observado, é que no ano que se tem troca de equipamento esse custo deverá ser contabilizado em O&M.

O custo anual da energia, como o modelo simulado é conectado à rede, leva em conta a energia que é consumida da rede e o que é fornecida para a rede nos horários distintos de tarifação, ponta e fora de ponta, conforme pode-se observar nas equações 5, 6 e 7.

$$C_{Energia} = C_{Energia_{Fora\ de\ Ponta}} + C_{Energia_{Ponta}} \quad (5)$$

$$C_{Energia_{Fora\ de\ Ponta}} = \sum_j^{12} (Energ. Cons._{FP} * T_{FP} - Energ. Ger._{FP} * T_{FP}) \quad (6)$$

$$C_{Energia_{Ponta}} = \sum_j^{12} (Energ. Cons._{P} * T_P - Energ. Ger._{P} * T_P) \quad (7)$$

Em que:

*Energ. Cons.\_{FP} = Energia Consumida Fora de Ponta*

*T\_{FP} = Tarifa fora de Ponta*

*Energ. Ger.\_{FP} = Energia Gerada Fora de Ponta*

*Energ. Cons.\_{P} = Energia Consumida na Ponta*

*T\_P = Tarifa na Ponta*

*Energ. Ger.\_{P} = Energia Gerada na Ponta*

É importante observar que se em algum mês tiver a energia gerada maior que a consumida na ponta ou fora de ponta, ela deverá primeiramente descontar no outro horário de tarifação, caso ainda tenha excedente energético, então irá descontar no mês seguinte. Se for utilizado o diesel como fonte energética, não poderá ser feita a compensação devido a legislação vigente conforme visto no capítulo 3.2.1.

O estudo de caso simulado é um consumidor do grupo A de energia, ou seja, paga também pela demanda disponibilizada, que é chamada de demanda contratada. O HOMER para encontrar o custo de demanda segue conforme a equação (8) para consumidores horo-sazonal verde e equação (9) e se horo-sazonal.

$$C_{Demanda_{Verde}} = \sum_j^{12} (P_{Pico} * T_{Demanda}) \quad (8)$$

$$C_{Demanda_{Azul}} = \sum_j^{12} (P_{Pico_{FP}} * T_{Demanda_{FP}} + P_{Pico_P} * T_{Demanda_P}) \quad (9)$$

Em que:

$P_{Pico}$  = Potência de Pico (kW)

$T_{Demanda}$  = Tarifa da Demanda

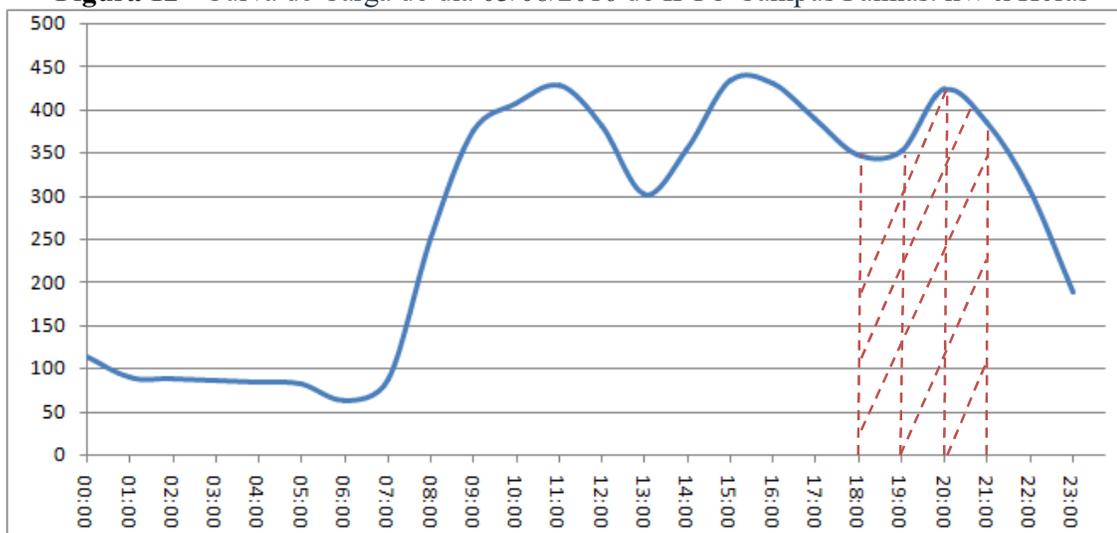
O custo de operação e manutenção engloba todos os demais custos como: combustível, limpeza dos geradores, troca de óleo do gerador, troca de algum equipamento etc.

## 2.4 IFTO - Campus Palmas

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas foi criado a partir da Lei 11.892, de 29 de dezembro de 2008, este nasceu da antiga Escola Técnica Federal de Palmas – ETF-PALMAS, autarquia instituída nos termos da Lei nº 8.670/93, de 30 de junho de 1993, regulamentada em conformidade com o Estatuto das Escolas Técnicas Federais, aprovado pelo Decreto nº 2.855, de 02 de dezembro de 1998, vinculada ao Ministério da Educação, com sede e foro na cidade de Palmas – TO.

Atualmente o IFTO - Campus Palmas é um consumidor de energia tarifado como grupo A, horo sazonal Verde e sua demanda contratada é de 640 kW. Como o campus tem aula nos períodos matutino, vespertino e noturno então os picos de consumo ficam distribuídos nesses três períodos. Sua curva de carga característica é representada na Figura 12.

**Figura 12** - Curva de Carga do dia 03/08/2016 do IFTO Campus Palmas. kW x Horas



É possível observar na Figura 12 que nos turnos em que há aula, têm-se os picos de consumo, devido a utilização dos condicionadores de ar e iluminação nas salas de aula. Já na madrugada o consumo cai, ficando somente uma parte da iluminação do campus ligado. Outro dado importante a ser observado é que no horário de ponta o custo é relativamente alto para consumidores da tarifa horo sazonal verde, que tem preço elevado neste horário. Nos finais de semana o consumo é baixo com exceção dos períodos que se tem: processo seletivo, ENEM, sábado letivo e o PSID (Projeto Social de Inclusão Digital), onde alguns condicionadores de ar, iluminação das salas de aula e laboratórios ficam ligados.

Na Tabela 3 é apresentado o histórico de consumo e de demanda das faturas do ano de 2016.

**Tabela 3 – Demanda e Consumo do IFTO – Campus Palmas**

Faturas do ano de 2016	Demanda (kW)			Consumo (kWh)	
	Contratada	Registrada Fora de Ponta	Registrada na Ponta	Fora de Ponta	Ponta
Janeiro	640,00	493,08	453,60	67.999,00	9.720,00
Fevereiro	640,00	510,72	440,16	88.668,00	15.508,00
Março	640,00	619,92	515,76	131.874,00	24.485,00
Abril	640,00	514,08	387,24	99.009,00	14.926,00
Mai	640,00	540,12	459,48	125.067,00	21.669,00
Junho	640,00	532,56	475,44	122.842,00	23.135,00
Julho	640,00	521,64	467,04	125.505,00	22.661,00
Agosto	640,00	507,36	459,48	90.454,00	13.326,00
Setembro	640,00	651,84	534,24	158.387,00	28.865,00
Outubro	640,00	651,00	509,04	136.624,00	22.369,00
Novembro	640,00	518,28	435,96	151.952,00	26.861,00
Dezembro	640,00	612,36	508,20	134.907,00	23.289,00
<b>Total de energia Consumida</b>				<b>1.433.288,00</b>	<b>246.814,00</b>

É possível observar na Tabela 3 que nos meses faturados de setembro e outubro houve ultrapassagem da demanda contratada do ano de 2016. Outro detalhe importante é que o consumo na ponta representa apenas 17,7% do consumo total. Porém, conforme visto na Tabela 2, o valor da tarifa na ponta é 8,28 vezes mais caro que fora de ponta, conforme diz Abreu, Guy-Guerra e Rizzi (2011, p. 18) “A legislação do setor elétrico que “obriga” a contratação, pelo consumo de horário de ponta ou de maior uso da energia, que normalmente engloba o horário noturno.”. Como o IFTO tem muitos cursos noturnos irá pagar pelo consumo mais caro neste horário. Todos esses fatores serão levados em consideração para as simulações.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia a ser adotada, consiste em simulações computacionais de otimização através do software HOMER de diversos cenários de geração distribuída, para o IFTO campus Palmas, conectada na rede de distribuição da concessionária Energisa do estado do Tocantins. Essas simulações levaram em consideração três fatores, que são: variáveis do consumidor, variáveis climáticas e de mercado. As variáveis do consumidor são:

- Tipo de tarifa (Verde ou Azul);
- Consumo no horário de ponta e fora de ponta;
- Demanda contratada e faturada;
- Curva de carga ao longo do dia e do ano.

Esses dados foram adquiridos do medidor de energia que é obtido através do sistema Hemera da concessionária Energisa Tocantins e também das contas de energia do estudo de caso. As variáveis climáticas são:

- Índice de Insolação ao longo do ano;
- Temperatura ao longo do ano.

As variáveis de mercado são:

- Custo do Diesel e Biodiesel;
- Custo do Gerador a Diesel;
- Custo da Energia Elétrica;
- Custo do Sistema Solar;
- Custo de Manutenção e Operação.

Esses dados foram adquiridos em artigos científicos, mercado, internet e etc. Para realizar as simulações, o software HOMER procura o ponto ótimo de sistemas híbridos de energia com as variáveis indicadas. As simulações devem levar em consideração as variáveis já citadas. Os cenários a serem simulados são:

- Concessionária local: esta simulação levará em consideração a utilização somente da energia da concessionária;
- Concessionária/Diesel: esta simulação levará em consideração a utilização de gerador diesel em substituição da rede da concessionária no horário de ponta;
- Concessionária/Diesel/Solar: esta simulação levará em consideração a utilização de gerador diesel em substituição da rede da concessionária no horário de ponta e o uso da energia solar em paralelo com a rede da concessionária no horário fora de ponta;

- Concessionária/Biodiesel: esta simulação levará em consideração a utilização de gerador biodiesel em substituição da rede da concessionária no horário de ponta;
- Concessionária/Biodiesel/Solar: esta simulação levará em consideração a utilização de gerador biodiesel em substituição da rede da concessionária no horário de ponta e o uso da energia solar em paralelo com a rede da concessionária no horário fora de ponta;
- Concessionária/Solar: esta simulação levará em consideração a utilização de gerador solar fotovoltaico em paralelo com a rede da concessionária.

Para os cenários descritos foram feitos de acordo com a análise estatística da curva de carga do caso, levando em consideração a sua variação.

As simulações procuraram o ponto ótimo de geração para cada cenário, sendo que o limitador de potência é a demanda contratada, que hoje é de 640 kW, e a energia excedente gerada poderá ser disponibilizada na rede da concessionária, podendo ser compensada em horários distintos de tarifação.

Com os resultados das simulações, foi feita análise econômica, através do fluxo de caixa, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *payback* descontado para cada um dos cenários simulados. Essa análise levou em consideração o custo de implantação, operação e manutenção. E com esses dados, foi feita uma análise estatística dos resultados e curvas de superfícies para cada cenário estudado.

### **3.1 Coleta de Dados**

A coleta de dados foi dividida em três etapas: A primeira é o levantamento da curva de carga, que foi obtido pelo medidor SAGA 1000 do fabricante LANDIS+GYR com classe de exatidão de 0,2%, com medições a cada 5 minutos e integralizadas em 15 minutos. Os dados utilizados foram do ano de 2016. A segunda, foi o levantamento dos dados climatológicos referente a temperatura e índice de radiação solar. Esses dados serão obtidos no site do NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) relacionados no banco de dados da cidade de Palmas-TO. A terceira e última coleta foi o levantamento de preço e custos de peças, equipamentos, combustíveis, operação e manutenção. Esses dados foram levantados no mercado e em consulta a trabalhos científicos.

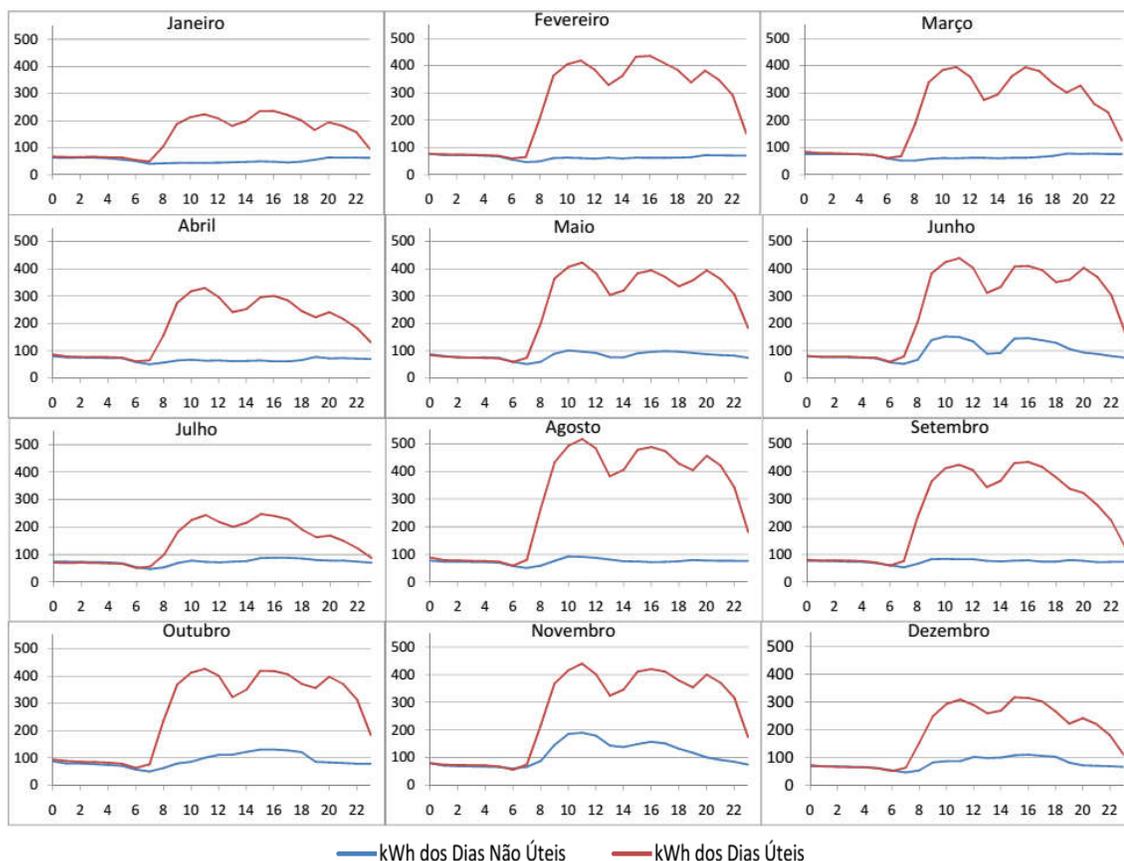
## 4 PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO

Os dimensionamentos de sistemas híbridos de energia levam em consideração diversos fatores como: índice de insolação local, rendimento do painel solar, curva de carga do estudo de caso, característica do combustível e etc. Todos os itens importantes para este estudo de caso são descritos e comentado neste capítulo.

### 4.1 Curva de Carga do IFTO – Campus Palmas

A curva de carga do IFTO mostrada na Figura 13, apresenta a curva de todos os meses do ano de 2016 considerando dias úteis e finais de semana. Os dias de semana estão representados nas linhas vermelhas e os dias não úteis na linha azul. A coleta de dados ocorreu em todos os dias do ano de 2016 conforme descrito na metodologia e foi realizada a média dos dias úteis e não úteis para cada mês.

**Figura 13** - Curva de Carga do ano de 2016 do IFTO Campus Palmas. kW x Horas



Na Figura 13, pode-se observar que nos meses em que há férias escolares ocorre uma diminuição da energia consumida, como janeiro e julho. Nos demais meses têm-se o período letivo normal, onde nos três períodos em que há aulas é onde ocorrem os picos de consumo, inclusive no horário de ponta. Nos dias não úteis e nas madrugadas é onde são registrados os menores valores de consumo, exceto em alguns meses, quando se realiza atividades de extensão do PSID, onde algumas cargas como condicionadores de ar e iluminação são ligadas nos finais de semana.

Nas simulações foram utilizados os dados demonstrados na Figura 13, para encontrar a melhor configuração de cada sistema leva-se em consideração toda a variação de carga anualizada conforme já mostrado.

#### 4.1.1 TARIFA HORO SAZONAL VERDE

No Brasil, as unidades consumidoras atendidas em média tensão são obrigadas a contratar demanda de potência e pagar também pelo consumo energético, podendo o consumidor optar por uma das modalidades do sistema Horo Sazonal: a modalidade Horo Sazonal Azul e a modalidade Horo Sazonal Verde (Braun, Zomer e Ruther, 2011).

Os valores incididos na tarifa Horo Sazonal Verde são: uma demanda para o dia todo e dois valores de energia, um para a ponta e outro fora de ponta. Os valores praticados pela concessionária Energisa - Tocantins para esta modalidade tarifária foi apresentado na Tabela 2. Na Tabela 4 mostra-se os valores praticados com a inclusão dos impostos conforme citado no Capítulo 2.2.1 NORMAS E LEGISLAÇÕES DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

**Tabela 4** - Preço da Energia Horo sazonal Verde no Tocantins com Impostos

MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA VERDE COM IMPOSTOS				
Subgrupo	Classes	Demanda (R\$/kW)	Consumo (R\$/kWh)	
			Ponta	Fora de Ponta
A4 (2,3 A 25 KV)	SERVIÇO PÚBLICO	R\$ 31,21	R\$ 2,57	R\$ 0,32
	RURAL	R\$ 33,05	R\$ 2,72	R\$ 0,34
	RURAL IRRIGAÇÃO	--	--	R\$ 0,07
	DEMAIS CLASSES	R\$ 36,72	R\$ 3,03	R\$ 0,37

É importante observar que houve uma adição de 41,55% nos valores devido à inclusão dos impostos. Esses valores apresentados na Tabela 4, são os valores que foram utilizados nas simulações para a tarifa verde.

#### 4.1.2 TARIFA HORO SAZONAL AZUL

A principal diferença entra a tarifa azul e a verde é a cobrança da demanda na hora de ponta, sendo assim a tarifa azul tem: duas demandas, para ponta e fora de ponta e dois valores de energia, um para a ponta e outro fora de ponta.

Porém uma das possíveis vantagens da tarifa azul em relação à verde, é que, o custo da energia na ponta é menor que a verde. Sendo assim é sempre de fundamental importância um estudo, antes da contratação de qual tipo de tarifa escolher. Na Tabela 5 mostram-se os valores praticados com a inclusão dos impostos.

**Tabela 5 - Preço da Energia Horo sazonal Azul no Tocantins com Impostos**

MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA AZUL COM IMPOSTOS					
Subgrupo	Classes	Demanda (R\$/kW)		Consumo (R\$/kWh)	
		Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta
A4 (2,3 A 25 KV)	SERVIÇO PÚBLICO	R\$ 85,96	R\$ 31,21	R\$ 0,48	R\$ 0,32
	RURAL	R\$ 91,03	R\$ 33,05	R\$ 0,51	R\$ 0,34
	RURAL IRRIGAÇÃO	--		--	R\$ 0,07
	DEMAIS CLASSES	R\$ 101,14	36,72	R\$ 0,57	R\$ 0,37

Conforme já comentado anteriormente o valor do consumo na ponta é inferior na tarifa azul em relação a verde, caindo de R\$ 3,03 para R\$ 0,57, porém tem a inclusão do custo de demanda na ponta, onde não havia na tarifa verde. Esses valores apresentados na Tabela 5, são os valores que foram utilizados nas simulações para a tarifa azul.

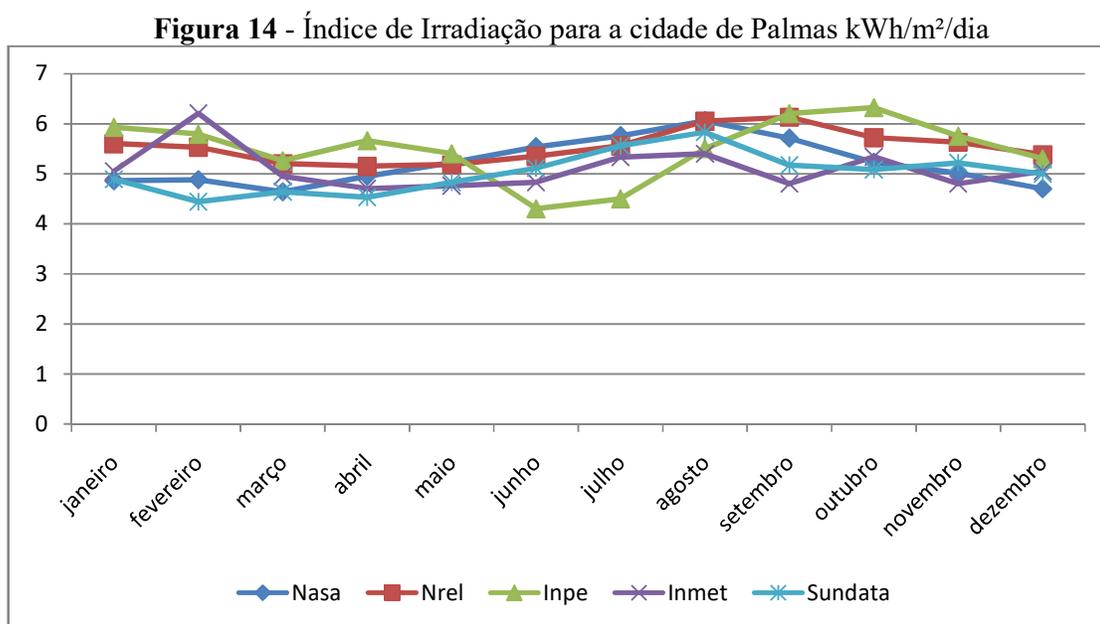
## 4.2 Sistema Solar Fotovoltaico

Os sistemas solares fotovoltaico necessitam de diversos parâmetros para o seu correto dimensionamento. Nesse capítulo serão descritos alguns dos parâmetros importantes para as simulações de viabilidade como: índice de insolação, temperatura, características das placas, rendimento do inversor entre outros.

### 4.2.1 ÍNDICE DE IRRADIAÇÃO E DE TEMPERATURA

Atualmente, encontra-se em pleno desenvolvimento tecnológico as fontes renováveis de energia, como sistema solar fotovoltaico, biomassa e biodiesel, entre outras. Por consequência, existe uma crescente demanda por informações sobre a disponibilidade da radiação solar e a sua sazonalidade. (SOUZA *et. al.* 2010)

Para o levantamento do índice de irradiação existem diversas maneiras de se obter. Alguns exemplos de plataformas de se conseguir a irradiação são: Sundata, NASA, INMET, Inmetro, entre outros. Na Figura 14 são apresentados alguns índices para aplicação do local do estudo de caso.



Os índices apresentados na Figura 14 são relativos ao plano horizontal, ou seja, sem inclinação. É possível observar que os dados pesquisados em diversas fontes têm seus valores próximos. Os dados do INMET foram coletados no ano de 2016 e os dados do Sundata são do

senso solar de 1993 da cidade de Porto Nacional, pois, não havia medições na cidade de Palmas na época. Utilizou-se assim a da cidade mais próxima. Já os dados da Nasa, NREL e INPE utilizam como fonte informações de obtidas de satélites.

Os dados utilizados para as simulações foram os do NREL, pois é o que o HOMER utiliza em suas simulações e também é do mesmo órgão que desenvolveu o software.

As células fotovoltaicas são equipamentos que sofrem interferência do calor, pois, quanto mais quente pior o rendimento. Como o estado do Tocantins esta situado em uma zona tropical, as temperaturas tendem a ser mais elevadas do que em regiões temperadas. As temperaturas utilizadas para as simulações foram extraídas do INMET e excluídas as temperaturas noturnas. Estas são apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6** - Temperatura média diurna na cidade de Palmas no ano de 2016

Temperatura média diurna (°C)	
Janeiro	27,17
Fevereiro	31,91
Março	29,01
Abril	30,43
Maiο	31,71
Junho	30,78
Julho	31,76
Agosto	33,45
Setembro	32,09
Outubro	31,50
Novembro	29,79
Dezembro	28,59
<b>Média</b>	<b>30,68</b>

**Fonte:** INMET, 2016, adaptado pelo autor.

É importante observar na Tabela 6 e na Figura 14 que os dados obtidos no INMET para o mês de fevereiro estão elevados. Isso se deve a um período atípico para o mês, que teve níveis baixos de chuva, acarretando assim em índices de irradiação e de temperatura altos. Já no período seco, que vai de junho a outubro as temperaturas e a irradiação é naturalmente mais elevada, devido à estiagem.

#### 4.2.2 PLACA SOLAR FOTOVOLTAICA

A geração solar conectada à rede elétrica está em plena expansão no Brasil, e o seu correto dimensionamento é um dos fatores determinantes para a sua implantação. Alguns fatores como: preço, características do painel, custo de O&M e custo de implantação serão apresentados neste capítulo, pois são os principais parâmetros para a simulação do HOMER.

Existem diversos fabricantes e vendedores de placas solares no mercado. Na Tabela 7 são apresentados os preços de quatro modelos de placas de cinco fornecedores diferentes.

**Tabela 7 – Preço de Painéis Fotovoltaicos**

Fornecedor	Painel Solar 270W Canadian Solar (Poilicristalino)	Painel Solar 320W Canadian Solar (Poilicristalino)	Painel Solar 260W We Brazil Energy (Poilicristalino)	Painel Solar 310W We Brazil Energy (Poilicristalino)
Minha Casa Solar	R\$ 599,00	R\$ 715,00	----	----
NeoSolar	R\$ 599,00	----	----	----
Energy Shop	R\$ 729,99	R\$ 899,96	----	----
Americanas	----	----	R\$ 499,00	R\$ 609,00
We Brazil Energy	----	----	R\$ 519,00	R\$ 669,00

Conforme apresentado os preços de mercado na Tabela 7, é possível verificar que os fornecedores trabalham com marcas específicas de painel, sendo muito importante a pesquisa de mercado antes da implantação de um sistema solar. A pesquisa foi realizada no dia 16 de agosto de 2017, sendo que podem ocorrer variações de preço ao longo do tempo. Os equipamentos pesquisados são todos da tecnologia Policristalino, por ter um custo menor que o Mono Cristalino. O Custo médio do Wp da Tabela 7 é de R\$ 2,25/Wp sendo esse o valor utilizado nas simulações.

O custo de operação e manutenção dos painéis é baixo, comparado ao de geração a diesel, pois são fixos e não contém componentes móveis, evitando assim o desgaste mecânico. Porém, como a região de Palmas tem épocas do ano em que há incidência de ventos ocorre a sujeira dos painéis por poeira. É recomendado à limpeza ao menos uma vez por ano, por causa do baixo índice de inclinação. Esse custo foi estimado em R\$ 10,00 por painel por ano.

A implantação dos painéis tem o custo de mão de obra e de outros materiais e serviços como: cabos, string Box, disjuntor CC, suporte para fixação dos painéis, projeto, entre outros. Para a mão de obra foi realizada uma pesquisa de preço na região de Palmas e o custo médio é de R\$ 150,00 por painel instalado, tendo um custo de R\$ 0,50 por Wp. Os

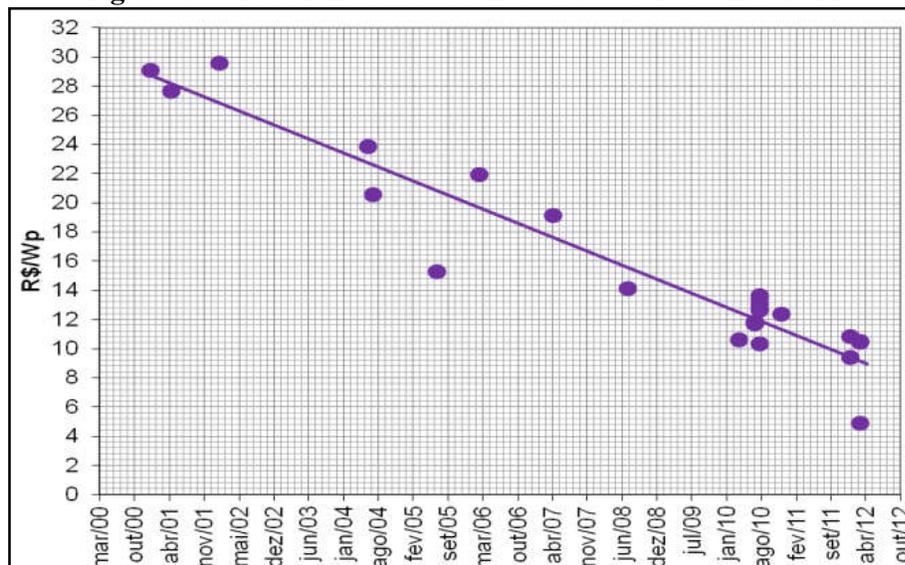
demais itens, como variam muito de acordo com o mercado, foi utilizado a planilha de custos da micro-usina implantada no IFTO conforme consta nos anexos da dissertação. Na planilha de custos os serviços e materiais relativos a String Box, Estrutura metálica, Quadro de Distribuição e Projeto tem os seus percentuais respectivamente de 3,48%, 7,95%, 2,69% e 18,4% totalizando 32,52% do custo total. É importante observar que nessa planilha tem o inversor de frequência. A Tabela 8 apresenta o total dos custos para o sistema fotovoltaico utilizado para as simulações.

**Tabela 8** – Custos do Sistema Fotovoltaico sem o Inversor

Custos dos Equipamentos e Mão de Obra por Wp	%	R\$/Wp
Painel Solar (sem frete)	67,48%	R\$ 2,75
String Box	3,48%	R\$ 0,14
Estrutura Metálica	7,95%	R\$ 0,32
Quadro de Distribuição	2,69%	R\$ 0,11
Projeto	18,40%	R\$ 0,75
<b>Total</b>		<b>R\$ 4,08</b>

Os custos dos módulos vêm caindo ao longo dos anos, conforme diz Galdino (2012) a queda no preço é de R\$ 1,70 Wp/ano até o ano de 2012, conforme se verifica na Figura 15. Atualmente os preços dos módulos estão em R\$ 2,75 Wp conforme Tabela 8. Fazendo assim, com que a cada ano que se passa essa tecnologia se torne mais competitiva.

**Figura 15** - Custos históricos de módulos de c-Si até mar/2012



As características técnicas do painel utilizadas para a simulação foram as da Canadian CS6K 270W, e essas características são apresentadas na Tabela 9. Os principais índices para a realização das simulações são mostradas na Tabela 9.

**Tabela 9** – Características Técnicas do Painel Fotovoltaico

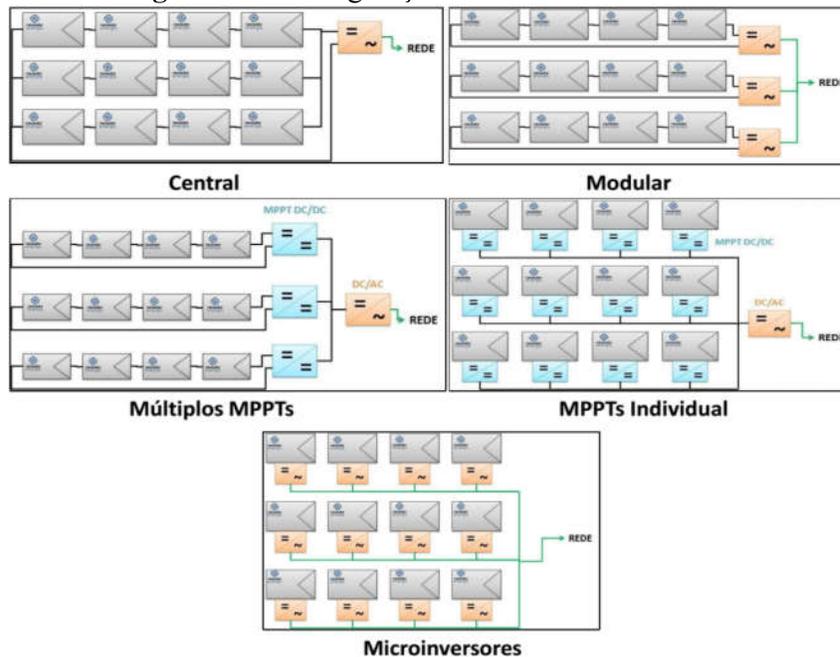
Características	Painel Solar 270W Canadian Solar (Poilicristalino)
Vida Útil (anos)	25
Fator de Redução (%)	20
Coefficiente de Temperatura (%/°C)	- 0,41
NOCT	45
Inclinação	10°N

A vida útil do painel é de 25 anos e seu fator de redução é de 20% até o final da sua vida útil, é importante observar que a partir desse tempo o painel ainda gera energia, porém, com uma produção menor que 80% da original no início de sua utilização. O Coeficiente de temperatura é de -0,41%/°C, e o NOCT de 45°C, o rendimento começa a cair 0,41% a cada grau acima da nominal, esse índice é aplicado para locais onde a temperatura ambiente é alta, como no estudo em questão. Já a inclinação, foi adotado 10° para o norte, pois é o ângulo de inclinação dos telhados e também o mesmo valor da latitude Sul.

#### 4.2.3 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Os inversores de frequência são um dos principais equipamentos dos sistemas solares, pois eles que proporcionam a conexão do sistema de corrente contínua em um de corrente alternada. Os inversores Grid-tie são os que conectam com a rede de distribuição e tem a função de sincronizar a geração solar com a rede.

Existem diversos tipos de configuração de inversores Grid-tie, onde as principais que se pode citar são: Central, Modular, múltiplos MPPTs, MPPTs individuais e Microinversores (NEOSOLAR, 2017). Na Figura 166 é possível observar as diferenças entre os tipos de configuração.

**Figura 16** – Configurações de Inversores Grid-Tie

Fonte: Neosolar, 2017 adaptado pelo autor.

As configurações mais utilizadas das apresentadas na Figura 16 é a de múltiplos MPPTs e Modular, assim permitindo diferentes ângulos de inclinação dos painéis solares.

Para as simulações foram realizadas pesquisa de mercado de inversores de potência superior a 12,5kW, pois, a proposta é a geração em consumidores do grupo A. Na Tabela 10 são apresentados os preços pesquisados.

**Tabela 10** – Preço dos Inversores de Frequência

Fornecedor	Inversor Fronius Symo 12.5-3-M (12,5kW)	Inversor Fronius Symo 17.5-3-M (17,5kW)	Inversor Grid Tie PHB DT (20kW)
NeoSolar	R\$ 18.590,00	R\$ 21.890,00	----
Energy Shop	R\$ 22.199,00	----	R\$ 28.500,00
Americanas	R\$ 17.609,00	R\$ 19.226,22	

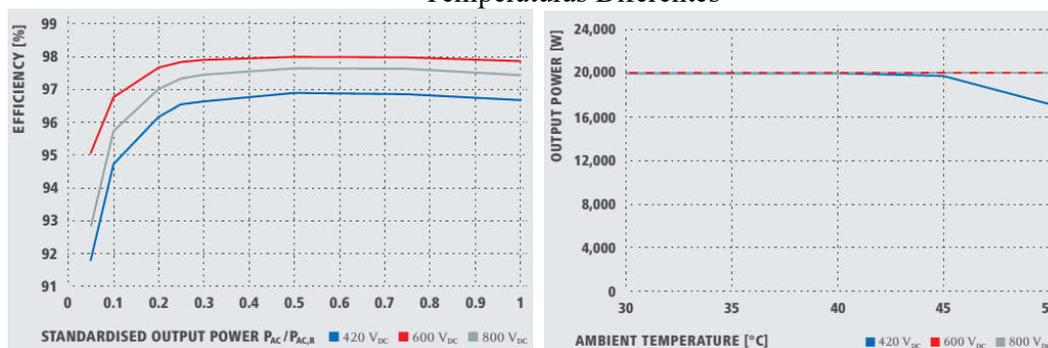
Conforme apresentado os preços de mercado na Tabela 10, é possível verificar que os preços variam entre os fornecedores, sendo muito importante a pesquisa de mercado antes da instalação de um inversor. A pesquisa foi realizada no dia 22 de agosto de 2017, sendo que podem ocorrer variações de preço ao longo do tempo. Os equipamentos pesquisados são todos de MPPT múltiplo podendo trabalhar como Central. O Custo médio do kW da Tabela 10 é de

R\$ 1.407,72/kW sendo esse o valor utilizado nas simulações. E a mão de obra é cobrada na instalação das placas.

Os fabricantes normalmente dão garantia de 5 anos, porém eles estimam uma vida útil de 15 anos, que foi o tempo utilizado na simulação. Para a manutenção destes equipamentos, foi estipulado um custo de R\$ 50,00 por ano por equipamento, pois, só é necessária a limpeza dos mesmos.

Na Figura 177 é apresentada a eficiência do inversor da Fronius em função da Temperatura e Carga.

**Figura 17** – Eficiência do Inversor em diferentes níveis de Tensão para Cargas e Temperaturas Diferentes



Fonte: Manual Fronius, 2017

Pode-se observar na Figura 177 que quanto maior os valores de tensão e de carga, mais eficiente o inversor será, porém, acima da potência nominal seu rendimento começa a cair e sua vida útil também. Em temperaturas acima de 45°C e tensão de 420Vcc o rendimento do inversor começa a cair, o que não ocorre com tensão mais elevadas. Para as simulações foram utilizadas um rendimento médio do inversor de 97%.

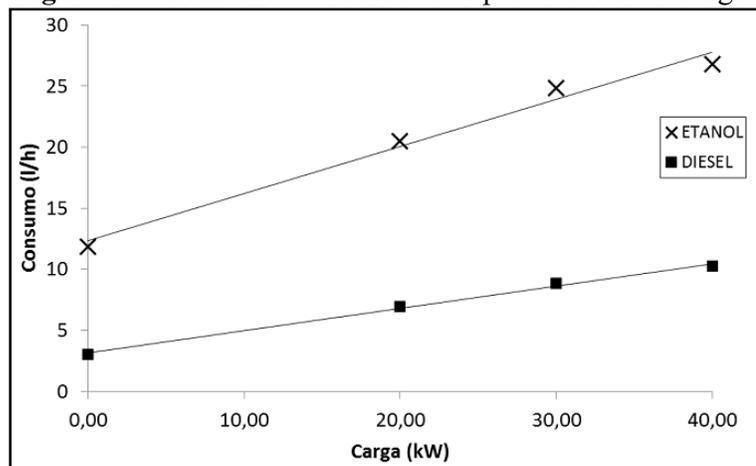
### 4.3 Grupo Gerador Diesel/Biodiesel

A energia elétrica é transmitida e controlada com confiabilidade, simplicidade e eficiência, sendo outras formas de energia, frequentemente convertidas para da forma elétrica. Para todos os dispositivos deve-se considerar como conversores de energia e dentre eles encontram-se aqueles que convergem energia mecânica em elétrica, os geradores de energia. (SILVA, 2014)

O grupo gerador diesel é amplamente utilizado no horário de ponta pelos consumidores do Grupo A, conforme descrito no capítulo 3.1.2. É importante observar que o

consumo do diesel varia de acordo com a carga requerida. No estudo realizado por Roso *et. al.* (2016) os autores realizaram experimentos comparando Diesel e Etanol. É possível observar na Figura 188 o consumo variando a carga.

**Figura 18 - Consumo de Combustível para Diferentes Cargas**



Fonte: Roso *et. al.* (2016)

Para verificar o consumo de combustível utilizado para atender à determinada demanda de carga, pode-se utilizar a relação de Skarstein e Uhlen (1989) definida pela equação (9).

$$F = 0,246PCi + 0,0842Pgm g \quad (4)$$

Onde:

- F é o consumo de combustível (l/h);
- Pgm g é a potência nominal do grupo gerador em kW;
- PCi é a potência demandada pela carga em kW.

Esses parâmetros apresentados na equação 9 e na Figura 188 são utilizados no software, eles são importantes, pois, definem o consumo de combustível dos geradores e consequentemente os custos com Diesel e Biodiesel.

Foi realizada uma pesquisa de mercado em diversas empresas para a definição do custo do gerador. A única empresa que retornou com orçamento foi a Stemac apresentado nos anexos da dissertação. O grupo gerador apresentado foi dois geradores de 460 kVA da Volvo, com um custo inicial de R\$ 460.420,00.

O custo de operação e manutenção foi levantado na bibliografia, e pode ser vista na

Tabela 11.

**Tabela 11 - Custo de O&M do Gerador Diesel**

Potência do Gerador kVA	Motor Cv	Custos Médios de O&M	
		US\$/MWh	R\$/MWh
340	395	US\$ 6,31	R\$ 19,88
450	542	US\$ 6,25	R\$ 19,69
557	672	US\$ 6,42	R\$ 20,22
631	759	US\$ 6,42	R\$ 20,22
750	883	US\$ 7,35	R\$ 23,15

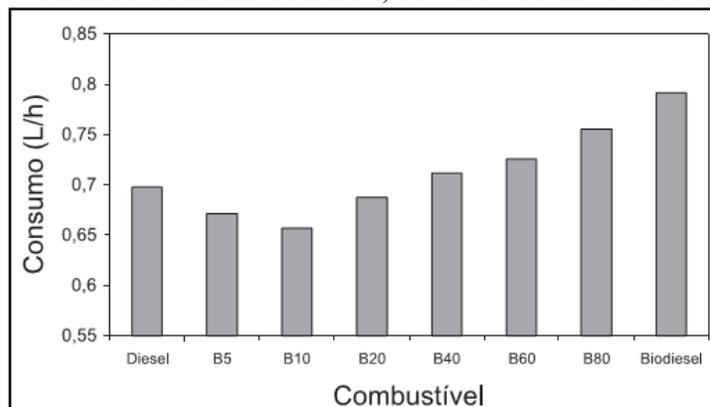
Fonte: Mamede Filho, 2007. Adaptado pelo autor.

É possível observar na

Tabela 11 que os custos de O&M são próximos, porém vai encarecendo quanto mais potente fica o gerador. O valor médio foi de R\$ 20,63 para cada MWh de energia gerada, esses foi o valor utilizado na simulação.

#### 4.3.1 CARACTERÍSTICA DOS COMBUSTÍVEIS (DIESEL E BIODIESEL)

As características do Diesel e do Biodiesel foram apresentadas na Tabela 1, e no estudo de Ferrari, Oliveira e Scabio (2005) apresenta o consumo do Diesel e Biodiesel para diferentes misturas, conforme se pode observar na Figura 199.

**Figura 19 – Perfil de Consumo de Diesel, Biodiesel e Misturas Diesel/Biodiesel**

Fonte: Ferrari, Oliveira e Scabio (2005)

Observa-se na Figura 199 que a mistura B5 e B10 são os menores consumo, já o Biodiesel puro é onde há o maior consumo, por ter um poder calorífico menor. O software possui em seu banco de dados a característica dos dois combustíveis.

O Biodiesel no Brasil é comercializado na forma de leilão, realizado pela ANP. O combustível é misturado com o diesel nas distribuidoras da Petrobras. Na Tabela 12 é apresentado o preço do Biodiesel das usinas do Centro Oeste no Leilão n.º 004/2017-ANP do mês de setembro de 2017.

**Tabela 12** - Preço do Biodiesel no Centro Oeste do Leilão n.º 004/2017

<b>Fornecedor</b>	<b>Preço Médio de Compra (R\$/m³)</b>	<b>Preço Médio de Compra (R\$/litro)</b>
ADM - RONDONOPOLIS	R\$ 2.244,53	R\$ 2,24
BINATURAL - FORMOSA	R\$ 2.392,31	R\$ 2,39
BIO OLEO – CUIABA	R\$ 2.307,47	R\$ 2,31
BIOCAMP - CAMPO VERDE	R\$ 2.281,47	R\$ 2,28
BIOPAR - NOVA MARILANDIA	R\$ 2.400,00	R\$ 2,40
BUNGE - NOVA MUTUM	R\$ 2.290,33	R\$ 2,29
CARAMURU - IPAMERI	R\$ 2.463,48	R\$ 2,46
CARAMURU - SAO SIMAO	R\$ 2.432,29	R\$ 2,43
CARGILL - TRES LAGOAS	R\$ 2.336,10	R\$ 2,34
COFCO - RONDONOPOLIS	R\$ 2.285,54	R\$ 2,29
COOPERFELIZ - FELIZ NATAL	R\$ 2.350,00	R\$ 2,35
DELTA - RIO BRILHANTE	R\$ 2.302,07	R\$ 2,30
FIAGRIL - LUCAS DO RIO VERDE	R\$ 2.313,01	R\$ 2,31
GRANOL - ANAPOLIS	R\$ 2.392,46	R\$ 2,39
MINERVA - PALMEIRAS DE GOIAS	R\$ 2.331,10	R\$ 2,33
<b>Média dos Preços no Centro - Oeste</b>	<b>R\$ 2.341,48</b>	<b>R\$ 2,34</b>

**Fonte:** ANP, 2017

Na Tabela 12 é possível verificar o custo médio do biodiesel de R\$ 2,34. Porém não está incluído o valor de logística do combustível. Considerando um caminhão tanque de 30.000 litros de capacidade e um custo médio do frete de Goiânia até Palmas de R\$ 5073,00 tem-se o custo de R\$ 0,17 por litro no transporte, sendo considerado na simulação o valor do biodiesel de R\$ 2,51.

O custo do diesel foi levantado nos postos situados na região central de Palmas, pois são os próximos do estudo de caso, conforme a Tabela 13.

**Tabela 13** - Preço do Diesel no mês de Setembro de 2017 na região Central de Palmas

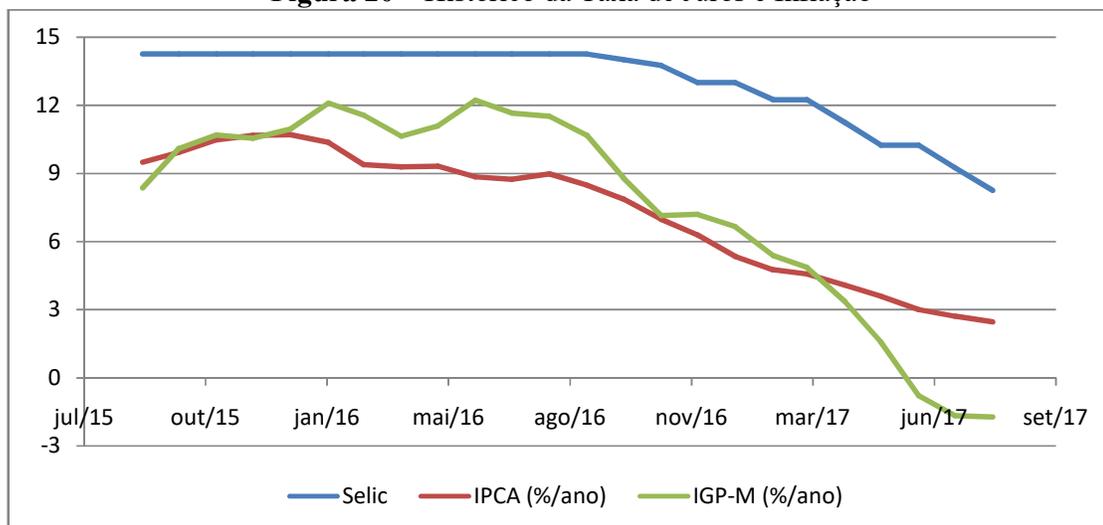
Fornecedor	Preço de Compra do Diesel (R\$/litro)
Posto Farol	R\$ 3,17
Auto Posto Eldorado	R\$ 3,20
San Marino II	R\$ 3,17
Petro (RTW)	R\$ 3,21
Auto Posto Cristal	R\$ 3,15
Auto Posto Triangulo	R\$ 3,14
Posto Tucunaré	R\$ 3,09
Petrolíder (Posto Palmas)	R\$ 2,98
<b>Média</b>	<b>R\$ 3,14</b>

Fonte: PROCON, 2017

É importante comentar que no preço do diesel já está embutido o frete, pois, os fornecedores são da região central de Palmas. O preço considerado para a simulação foi de R\$ 3,14, que é o preço médio pesquisado.

#### 4.4 Taxa de Juros

A taxa de juros é um dos principais fatores de viabilidade de um projeto. O HOMER utiliza em suas simulações a taxa de juros real, que é a taxa de juros nominal menos a inflação. Na Figura 20, é apresentado a taxa Selic, IPCA e o IGP-M do período de junho de 2015 até agosto de 2017.

**Figura 20** – Histórico da Taxa de Juros e Inflação

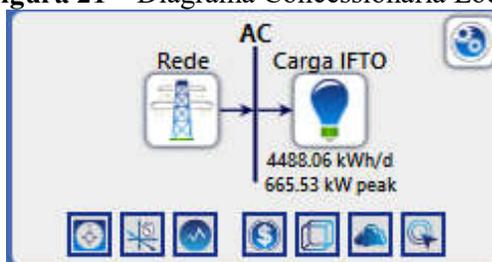
É possível observar na Figura 20 que a inflação nos dois índices e taxa Selic estão caindo. A taxa de juros real utilizada nas simulações foi a taxa Selic menos o IPCA com o valor de 5,8%, sendo esta a TMA considerada nas simulações.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Concessionária local

As ligações dos consumidores do grupo A de energia elétrica foram descritos nos capítulos 4.1.1 e 4.1.2, e como parâmetro de comparação para os demais cenários será utilizada a concessionária local, pois, é amplamente utilizado para o suprimento de energia elétrica. Na Figura 211 é apresentado o diagrama básico de ligação do consumidor direto com a concessionária.

**Figura 21** – Diagrama Concessionária Local



Os resultados para esta simulação estão demonstrados na Tabela 14.

**Tabela 14** – Resultados otimizados utilizando a Concessionária Local

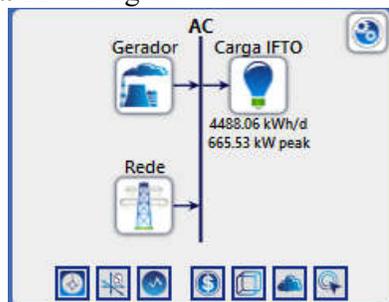
<b>Concessionária Local</b>	<b>Verde</b>	<b>Azul</b>
Custo Inicial (R\$)	R\$ 0,00	R\$ 0,00
COE (R\$/kWh)	R\$ 0,931	R\$ 0,921
Custo médio com a Concessionária (R\$/mês)	R\$ 127.060,00	R\$ 125.784,23

É possível observar na Tabela 14 que o custo inicial para os dois tipos de tarifa são de R\$ 0,00. Isso se deve ao fato da unidade consumidora já estar ligada, e para haver mudança de um tipo de tarifa para a outra, apenas é necessário alterar o contrato, não tendo outros custos. O custo médio do kWh entre os dois tipos de tarifa é muito próximo, ficando a tarifa azul um centavo mais barato do que a verde. Isso se deve ao alto consumo do IFTO no horário de ponta.

## 5.2 Concessionária/Diesel

A configuração Rede/Diesel, conforme mostrado na Figura 22, é amplamente utilizado por unidades consumidores do grupo A que optam pela tarifa verde, pois, o custo da energia no horário de ponta para essa tarifa é elevado.

**Figura 22** – Diagrama Concessionária/Diesel



Os resultados para esta simulação estão demonstrados na Tabela 15.

**Tabela 15** – Resultados otimizados utilizando Concessionária/Diesel

Concessionária/Diesel	Verde	Azul
Custo Inicial (R\$)	R\$ 190.173,48	R\$ 10.009,13
COE (R\$/kWh)	R\$ 0,673	R\$ 0,922
Custo médio com a Concessionária (R\$/mês)	R\$ 66.004,00	R\$ 124.954,30
O&M	R\$ 383.088,55	R\$ 20.162,57
Potência do Gerador Diesel (kW)	380	20

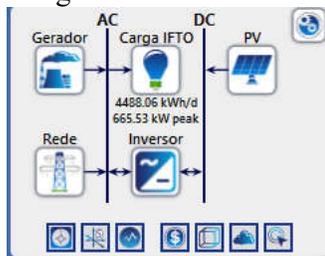
Conforme mostrado na Tabela 15 observa-se que o melhor resultado para a tarifa azul é a menor possível na simulação. Isso se deve ao baixo custo da energia na ponta para essa modalidade tarifária, fazendo com que não seja viável a instalação de gerador a diesel no horário de ponta.

É possível observar também que para os consumidores da tarifa verde é vantajosa financeiramente a utilização de gerador a diesel no horário de ponta, pelo alto custo da energia na ponta para esse grupo tarifário. O custo médio do kWh era de R\$ 0,931 e com a utilização do gerador a diesel cai para R\$ 0,673. A fatura média de energia passa a ser R\$ 66.004,00 e não mais R\$ 127.060,00.

### 5.3 Concessionária/Diesel/Solar

A configuração híbrida não é comumente utilizada pelas unidades consumidoras. O diagrama do modelo proposto é apresentado na Figura 23 e utiliza geração diesel, energia solar e a rede da concessionária.

**Figura 23** – Diagrama Concessionária/Diesel/Solar



Os resultados para esta simulação estão demonstrados na Tabela 16.

**Tabela 16** – Resultados otimizados utilizando Concessionária/Diesel/Solar

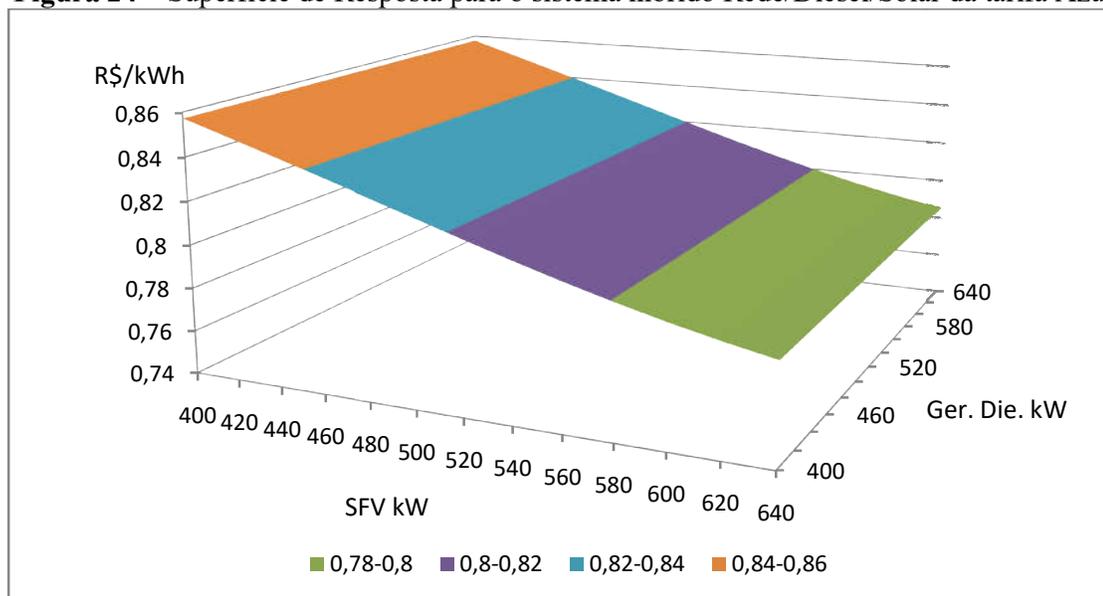
Concessionária/Diesel/Solar	Verde	Azul
Custo Inicial (R\$)	R\$ 3.364.461,48	R\$ 3.314.093,74
COE (R\$/kWh)	R\$ 0,553	R\$ 0,785
Custo médio com a Concessionária (R\$/mês)	R\$ 35.700,10	R\$ 78.616,43
O&M	R\$ 747.555,58	R\$ 700.612,65
Potência do Gerador Diesel (kW)	380	420
Potência do Sistema Solar (kW)	640	640

É possível observar na Tabela 16 que para a tarifa azul tem-se o maior sistema solar possível de se instalar que é de 640 kW, pois é o valor da demanda contratada. O gerador diesel dessa simulação foi de 420 kW para suprir a carga no horário de ponta, sendo o custo médio do kWh de R\$ 0,785 e fatura média de R\$ 78.616,43 para a tarifa azul. O custo inicial de R\$ 3.314.093,74 se deve principalmente pelo investimento da instalação do sistema solar.

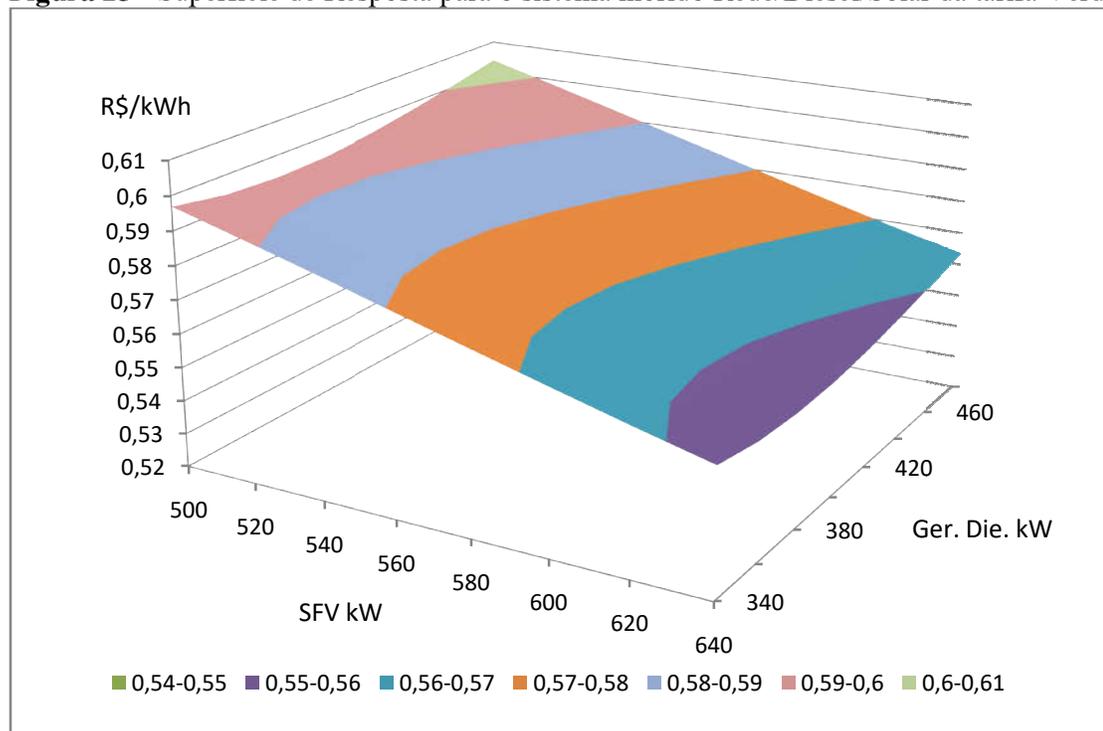
Para a tarifa verde o custo inicial e as potências da geração distribuída são similares, exceto para o custo médio do kWh e da fatura de energia. Isso se deve pela característica da tarifa, que tem um custo elevado na ponta em relação a azul. E como no horário de ponta vai estar funcionando o gerador e de dia o sistema solar, o custo do kWh médio ficou em R\$ 0,553 e a fatura média em R\$ 35.700,10.

Como as simulações procuram o ponto de melhor aproveitamento energético com o menor custo, os resultados apresentados são só os valores otimizados. Porém nas Figura 24 e 25 são apresentados os valores médios do kWh para a variação dos sistemas a diesel e solar.

**Figura 24** – Superfície de Resposta para o sistema híbrido Rede/Diesel/Solar da tarifa Azul



**Figura 25** - Superfície de Resposta para o sistema híbrido Rede/Diesel/Solar da tarifa Verde



É possível observar na Figura 24 que há uma interferência no valor da energia com o aumento do sistema solar fotovoltaico, o que não ocorre com a variação do gerador a diesel, isso se deve pela característica da tarifa azul que tem um custo na ponta menor em relação a tarifa verde.

Já na Figura 25 há a variação para o sistema solar e para o gerador diesel, devido ser da tarifa verde. Se o gerador diesel for menor que 380 kW a tarifa sobe e se for maior também sobe, sendo esse o ponto otimizado.

#### 5.4 Concessionária/Biodiesel

A configuração Rede/Biodiesel, conforme mostrado na Figura 22, só que agora utilizando o Biodiesel como combustível, é pouco utilizado nas unidades consumidores do grupo A que optam normalmente pelo diesel para geração no horário de ponta.

Os resultados para esta simulação estão demonstrados na Tabela 17.

**Tabela 17** – Resultados otimizados utilizando Concessionária/Biodiesel

Concessionária/Biodiesel	Verde	Azul
Custo Inicial (R\$)	R\$ 200.182,61	R\$ 320.292,17
COE (R\$/kWh)	R\$ 0,641	R\$ 0,893
Custo médio com a Concessionária (R\$/mês)	R\$ 65.378,79	R\$ 99.261,90
O&M	R\$ 403.251,07	R\$ 645.410,75
Potência do Gerador Diesel (kW)	400	640

Conforme mostrado na Tabela 17, observa-se que o melhor resultado para a tarifa azul é o gerador de 640 kW. Porém a variação do custo em relação a potência é muito pequena, devido ao baixo custo da energia na ponta para essa modalidade tarifária, fazendo com que não seja viável a instalação de gerador a biodiesel no horário de ponta para consumidores da tarifa azul em comparação com a verde.

É possível observar também que para os consumidores da tarifa verde é vantajosa financeiramente a utilização de gerador a biodiesel no horário de ponta, pelo alto custo da energia na ponta para esse grupo tarifário. O custo médio do kWh era de R\$ 0,931 e com a utilização do gerador a biodiesel cai para R\$ 0,641, mais barato que com a utilização do diesel

que foi de R\$ 0,673. A fatura média de energia passa a ser R\$ 65.378,79 e não mais R\$ 127.060,00.

### 5.5 Concessionária/Biodiesel/Solar

A configuração híbrida Rede/Biodiesel/Solar, conforme mostrado na Figura 23, só que agora utilizando o Biodiesel como combustível, é um dos modelos propostos, tendo como vantagem a utilização do biodiesel em substituição do diesel, que polui menos.

Os resultados para esta simulação estão demonstrados na Tabela 18.

**Tabela 18** – Resultados otimizados utilizando Concessionária/Biodiesel/Solar

Concessionária/Biodiesel/Solar	Verde	Azul
Custo Inicial (R\$)	R\$ 3.339.277,61	R\$ 3.494.580,17
COE (R\$/kWh)	R\$ 0,525	R\$ 0,748
Custo médio com a Concessionária (R\$/mês)	R\$ 35.300,78	R\$ 68.898,69
O&M	R\$ 766.067,44	R\$ 1.009.668,78
Potência do Gerador Diesel (kW)	400	640
Potência do Sistema Solar (kW)	640	640

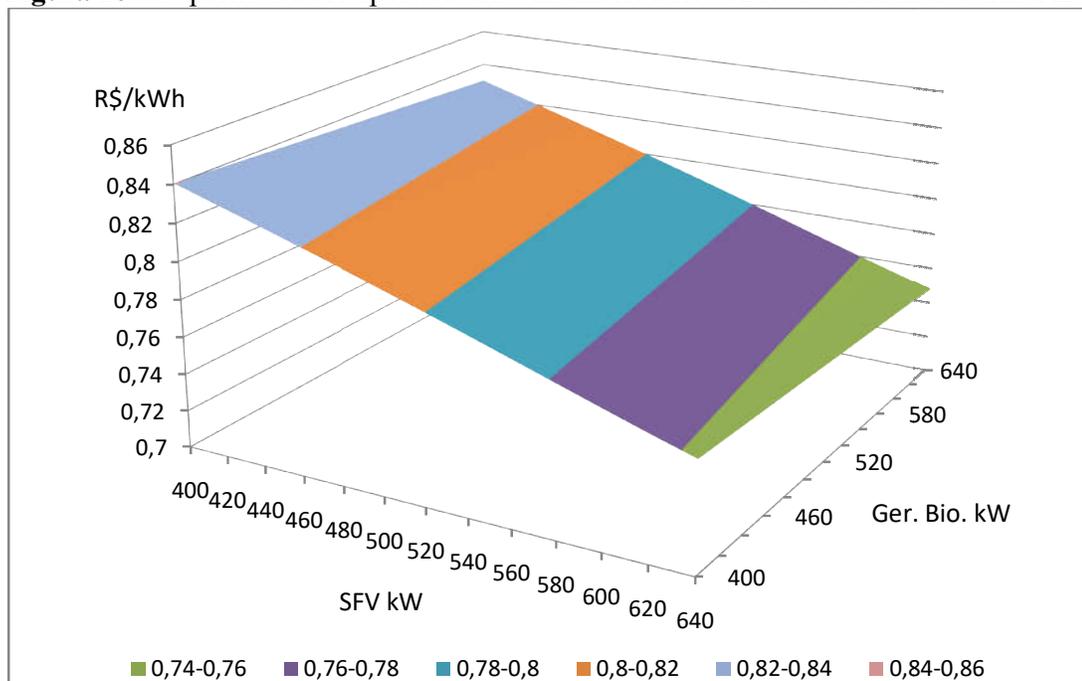
É possível observar na Tabela 18 que para a tarifa azul tem-se o maior sistema solar possível de se instalar que é de 640 kW. O gerador a Biodiesel dessa simulação foi de 640 kW para suprir a carga no horário de ponta, sendo o custo médio do kWh de R\$ 0,748 e fatura média de R\$ 68.898,69 para a tarifa azul. O custo inicial de R\$ 3.494.580,17 se deve principalmente pelo investimento da instalação do sistema solar.

Para a tarifa verde a potência do gerador a Biodiesel foi de 400 kW e do sistema Solar de 640 kW. O custo médio do kWh foi menor do que a azul ficando em R\$ 0,525 e o da fatura de energia em R\$ 35.300,78. Isso se deve pela característica da tarifa, que tem um custo elevado na ponta em relação a azul. Como no horário de ponta vai estar funcionando o gerador e de dia o sistema solar.

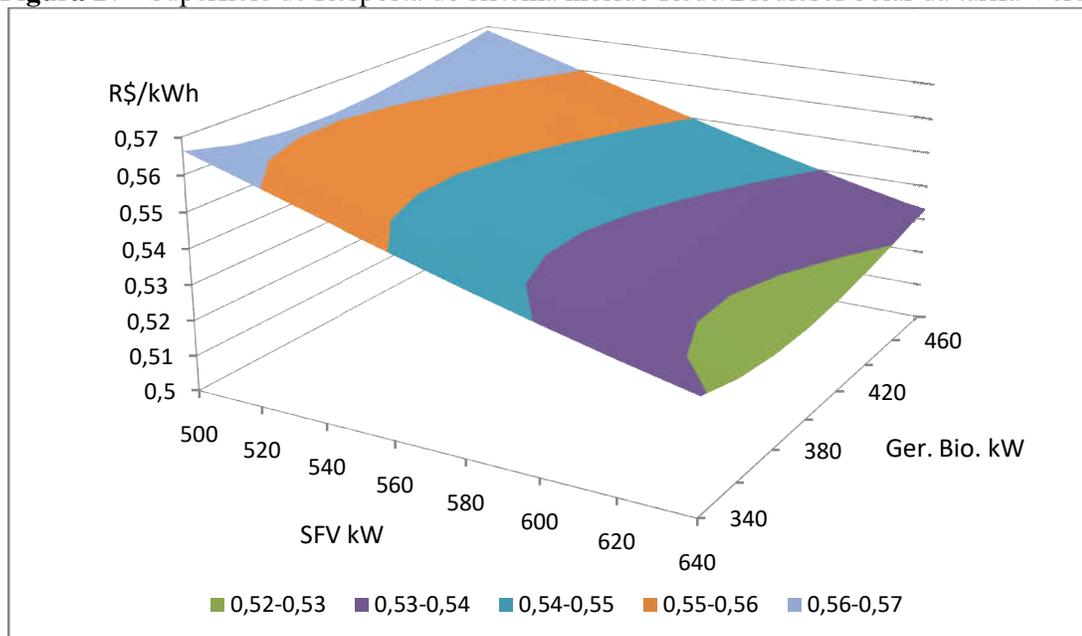
Como as simulações procuram o ponto de melhor aproveitamento energético com o menor custo, os resultados apresentados são só os valores otimizados. Porém nas Figura 26 e

27 são apresentados os valores médios do kWh para a variação dos sistemas a biodiesel e solar.

**Figura 26** – Superfície de Resposta do sistema híbrido Rede/Biodiesel/Solar da tarifa Azul



**Figura 27** - Superfície de Resposta do sistema híbrido Rede/Biodiesel/Solar da tarifa Verde



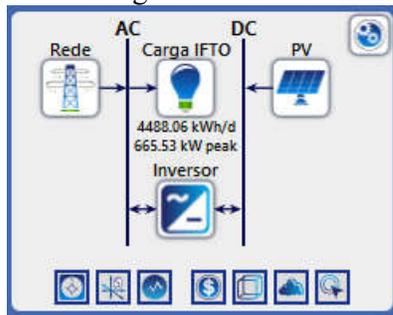
É possível observar na Figura 26 que há uma interferência no valor da energia com o aumento do sistema solar fotovoltaico e uma leve queda com o aumento do gerador a biodiesel. Isso se deve pela característica da tarifa azul que tem um custo na ponta menor em relação a tarifa verde onde há uma queda mais acentuada.

Já na Figura 27 há a variação para o sistema solar e para o gerador biodiesel de forma mais acentuada, devido ser da tarifa verde. Se o gerador a biodiesel for menor que 400 kW a tarifa sobe e se for maior também sobe, sendo esse o ponto otimizado.

## 5.6 Concessionária/Solar

A configuração Solar/Rede está tendo um bom crescimento e desenvolvimento a partir da publicação da resolução normativa 482/2012 da ANEEL. Diversas instituições, empresas e até residências vem adotando essa forma de energia para a diminuição de gastos com a conta de energia. Na Figura 28 é apresentado o diagrama deste sistema.

**Figura 28 – Diagrama Concessionária/Solar**



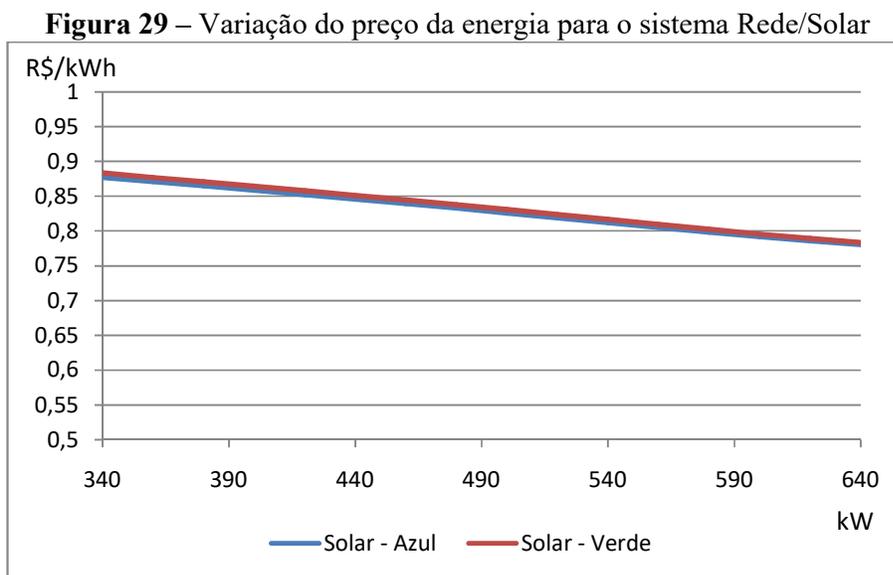
Os resultados para esta simulação estão demonstrados na Tabela 19.

**Tabela 19 – Resultados otimizados utilizando Concessionária/Solar**

Concessionária/Solar	Verde	Azul
Custo Inicial (R\$)	R\$ 3.139.095,00	R\$ 3.139.095,00
COE (R\$/kWh)	R\$ 0,783	R\$ 0,775
Custo médio com a Concessionária (R\$/mês)	R\$ 96.902,66	R\$ 95.643,77
O&M	R\$ 362.816,37	R\$ 362.825,37
Potência do Sistema Solar (kW)	640	640

Na Tabela 19 é possível observar que o custo com o sistema solar para os dois tipos de tarifa são iguais. Isso se deve, pois na simulação deram os mesmos valores de potência, 640 kW. Conseqüentemente os custos de Investimento e O&M também são iguais, porém o custo médio da energia é menor na tarifa azul.

Pode-se observar na Figura 29 o custo da energia de acordo com a variação do sistema solar.



É possível observar na Figura 29 que o custo da energia vai caindo até a potência de 640 kW, que é o valor máximo permitido de instalação para o sistema, atingindo assim o ponto ótimo para essa configuração.

## 5.7 Análise de Resultados

Com os resultados apresentados anteriormente, fez-se a Tabela 20 para a apresentação de alguns resultados econômicos das simulações. A taxa interna de retorno (TIR) apresentada na Tabela 20 demonstra a viabilidade de um projeto. Porém para ser viável, o valor da TIR tem que ser superior ao valor da TMA apresentado no Capítulo 4.4, que é de 5,8% ao ano. Outro fator importante que altera os resultados é o valor do investimento inicial. Se o valor for elevado a TIR é mais baixo, se for baixo a TIR tende a ser mais elevada.

**Tabela 20 – Resultados Econômicos das Simulações**

Configuração	COE (R\$/kWh)		Payback Descontado (anos)		TIR % (25 anos)	
	Tar. Verde	Tar. Azul	Tar. Verde	Tar. Azul	Tar. Verde	Tar. Azul
Rede	R\$ 0,931	R\$ 0,921	-----	-----	-----	-----
Rede - Diesel	R\$ 0,673	R\$ 0,922	0,46	n/a	230,70%	4,70%
Rede - Diesel - Solar	R\$ 0,553	R\$ 0,785	5,12	15,62	22,70%	8,40%
Rede - Biodiesel	R\$ 0,641	R\$ 0,893	0,43	5,07	246,30%	22,80%
Rede - Biodiesel - Solar	R\$ 0,525	R\$ 0,748	4,72	11,92	24,50%	10,40%
Rede -Solar	R\$ 0,783	R\$ 0,775	13,77	13,78	9,10%	9,10%
Configuração	Custo Inicial (R\$)		VPL (25 anos)		Custo com a Concessionária de Energia por mês	
	Tar. Verde	Tar. Azul	Tar. Verde	Tar. Azul	Tar. Verde	Tar. Azul
Rede	-----	-----	R\$ 20.134.429,47	R\$ 19.932.264,4	R\$ 127.060,00	R\$ 125.784,23
Rede - Diesel	R\$ 190.173,48	R\$ 10.009,13	R\$ 14.564.209,72	R\$ 19.933.295,56	R\$ 66.004,00	R\$ 124.954,30
Rede - Diesel - Solar	R\$ 3.364.461,48	R\$ 3.314.093,74	R\$ 13.496.865,47	R\$ 16.966.018,08	R\$ 35.700,10	R\$ 78.616,43
Rede -Biodiesel	R\$ 200.182,61	R\$ 320.292,17	R\$ 13.324.811,80	R\$ 19.324.811,80	R\$ 65.378,79	R\$ 99.261,90
Rede - Biodiesel - Solar	R\$ 3.339.277,61	R\$ 3.494.580,17	R\$ 12.776.881,47	R\$ 18.251.229,06	R\$ 35.300,78	R\$ 68.898,69
Rede -Solar	R\$ 3.139.095,00	R\$ 3.139.095,00	R\$ 19.044.177,08	R\$ 18.844.689,18	R\$ 96.902,66	R\$ 95.643,77

Observa-se na Tabela 20 que as simulações que tiveram as melhores TIR foram Rede/Diesel e Rede/Biodiesel para a tarifa verde. Isso se deve ao fato de requerer pouco investimento inicial e pelo fato do valor da tarifa na ponta ser elevada para a tarifa verde. O *payback* descontado para essas duas simulações foram de 0,46 e 0,43 anos, ou seja, em menos de um ano se paga o investimento inicial. Porém tem-se que ponderar que as simulações encontram o ponto ótimo, e nem sempre encontrará esse equipamento a esse custo para a instalação.

A única simulação que teve a TIR menor que a TMA foi a Rede/Diesel para a tarifa azul. Assim sendo, é única configuração que não é viável economicamente. Todas as demais simulações tiveram a TIR maior que a TMA.

As configurações híbridas para a tarifa verde foram as que apresentaram o menor custo da energia e VPL em um horizonte de 25 anos. Isso se deve ao fato que de dia utiliza o máximo possível da energia solar e no horário de ponta utiliza o gerador. O menor custo foi o da configuração Rede/Biodiesel/Solar, pois, o custo do biodiesel nos leilões de Biodiesel é menor que o do Diesel, até mesmo tendo um poder calorífico menor conforme visto na Tabela 1, obtendo um resultado de R\$ 0,525 por kWh inferior o do Rede/Diesel/Solar que foi de R\$

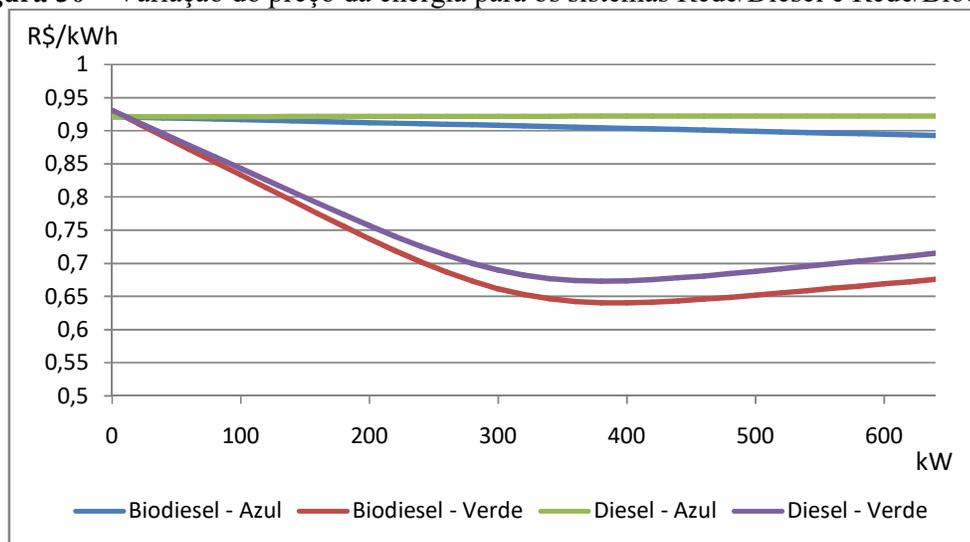
0,553 por kWh, e os *payback's* descontados foram de 4,72 e 5,12 anos respectivamente. É importante observar que essas duas configurações não obtiveram as melhores TIR, pois, o custo inicial delas é elevado por causa da instalação do sistema solar.

O sistema Rede/Solar obteve seus *payback's* descontados de 13,78 e 13,77 anos demonstrando que não apresentaram resultados satisfatórios se comparar com as demais configurações. Isso se deve ao fato das duas tarifas terem um custo de energia fora de ponta baixo. Para consumidores do grupo A, talvez melhore os resultados, se gerar o suficiente para suprir energia no horário de ponta, onde o custo da energia é elevado. Porém, como a legislação vigente só permite a instalação de sistemas em até a demanda contratada, fica limitado para o IFTO campus Palmas a instalação de geração distribuída conectada a rede em 640 kW, assim não gerando o suficiente para suprir energia na ponta.

O custo da energia solar vem caindo a cada ano conforme visto na Figura 15, sendo assim, para investimentos elevados que os consumidores do grupo A teriam que realizar, seria mais prudente esperar os preços se estabilizarem em patamares inferiores ao atual.

Na Figura 30 é apresentado o custo médio da energia para as configurações Rede/Diesel e Rede/Biodiesel variando as potências do grupo gerador.

**Figura 30** – Variação do preço da energia para os sistemas Rede/Diesel e Rede/Biodiesel



É possível observar na Figura 30 que para a tarifa verde há uma variação significativa no custo da energia, seja utilizando Diesel ou Biodiesel, o que não ocorre com a tarifa azul, tendo o seu custo praticamente estável com a variação de potência. Verifica-se também que o melhor resultado para essas quatro simulações foi o do Biodiesel rede, tendo

um custo médio de R\$ 0,641 por kWh e TIR de 246,3%, sendo a TIR elevada pelo baixo investimento inicial.

O Consumo de combustível das configurações simuladas é apresentado na Tabela 21.

**Tabela 21** – Consumo de Combustível

Configuração	Consumo (litros/ano)	
	Tar. Verde	Tar. Azul
Diesel - Rede	84.381	2.427
Diesel - Solar - Rede	84.304	50.973
Biodiesel - Rede	86.255	77.674
Biodiesel - Solar - Rede	86.176	77.674

O consumo de combustível na tarifa verde é mais alto do que na tarifa azul conforme visto na Tabela 21, pelo fato da utilização maior do gerador no horário de ponta para essa tarifa. É importante ressaltar novamente, que na simulação Rede/Diesel da tarifa azul o valor da simulação deu o menor possível e sendo a única simulação não viável. Assim sendo deu baixo o consumo de combustível.

## 6 CONCLUSÃO

A matriz elétrica do Brasil ainda é muito dependente da energia das hidroelétricas, fazendo com que em períodos de estiagem ocorra a ligação das termoelétricas e em casos extremos até o risco de falta de energia. A diversificação na matriz elétrica é importante por questões de suprimento energético. Essa diversificação passa por utilização da geração distribuída gerada pelos consumidores, que teve seu marco inicial no ano de 2012.

Os consumidores de energia do grupo A como pagam dois valores de energia, um na ponta e outro fora de ponta, os resultados demonstram que tem um potencial grande para a utilização de sistemas híbridos de energia e também para a geração de energia a Biodiesel e Diesel. Os melhores resultados foram para a tarifa verde, justamente por ter um custo na ponta elevado.

Sistemas Híbridos de geração distribuída utilizando energia solar e biodiesel é uma alternativa para consumidores de energia elétrica do grupo A. No IFTO campus Palmas o resultado da simulação demonstrou que para a tarifa verde tem-se a TIR de 24,5% e um custo médio da energia de R\$ 0,525 kWh, sendo esse o menor custo médio da energia em todos os cenários simulados. Isso demonstra todo o potencial que essas duas fontes de energia renovável têm para a utilização na geração distribuída, porém os custos dos sistemas solares vem caindo a cada ano, fazendo com que em um futuro próximo sistemas híbridos sejam mais vantajosos ainda.

Para os sistemas de geração a Biodiesel e Diesel apresentaram os melhores *payback's* e TIR, respectivamente 0,43 e 0,46 anos e 246,3% e 230,7%. Esses resultados se devem ao fato do investimento inicial ser relativamente baixo e toda a energia gerada ser ligada no horário de ponta, onde o custo da energia para a tarifa verde é de R\$ 3,03 o kWh. Porém quando estendemos a uma análise em longo prazo, o custo médio da energia de sistemas híbridos apresentam um valor menor, justamente por gerar energia também de dia com a energia solar.

A curva de carga é importante para o correto dimensionamento de qualquer sistema de geração distribuída, seja híbrida ou não, principalmente para os consumidores do grupo A, pois tem valores diferentes na tarifa ao longo do dia. A disseminação de sistemas de geração distribuída passa pelo conhecimento técnico e legal dos profissionais que atuam e irão atuar nessa área, pois, eles serão os disseminadores desse conhecimento para o mercado.

O Sistema Híbrido Biodiesel/Solar/Rede foi o que apresentou o melhor resultado no custo médio da energia, assim mostrando a importância de fontes renováveis de energia como

o Biodiesel e Solar no mercado atual, não sendo mais tecnologias só promissoras, e sim tecnologias viáveis economicamente e tecnicamente no cenário atual do mercado. Para a sua expansão é necessário uma maior divulgação dessas tecnologias perante os consumidores do grupo A de energia.

### **6.1 Sugestões de Trabalhos Futuros**

Para uma implantação real deste projeto primeiramente é necessário fazer a aplicação de eficiência energética no IFTO, pois, assim otimizaria o investimento em relação a carga, ficando assim uma proposta de um trabalho.

Como praticamente não existe sistemas híbridos de energia no Brasil, uma sugestão seria uma pesquisa mais aprofundada apontando aspectos legais da geração distribuída e suas limitações para implementação no Brasil.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, Yolanda Vieira de. **Biodiesel: vantagens, desvantagens e limites a serem superados**. Universidade Federal do Tocantins, 2005. Disponível em <http://jornalggn.com.br/documento/biodiesel-vantagens-desvantagens-e-limites-a-serem-superados> Acessado em 17/01/2017.
- ABREU, Yolanda Vieira de; RIZZI, João Vitor; GUY GUERRA, Sinclair Mallet. **Construção de Indicadores de Energia para Universidades**. Universidade Federal do Tocantins, 2011.
- AMARAL DO VALLE, Pedro Wallace de Paula. **Produção de Biodiesel via Transesterificação do Óleo de Nabo Forrageiro**. Universidade Federal de Minas Gerais Belo Horizonte - UFMG Departamento de Química, 2009.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 8 de maio de 2012.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N° 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Diário Oficial da União, Brasília. 15 de setembro de 2010.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N° 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Diário Oficial da União, Brasília, 2 de dezembro de 2015.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifas dos consumidores**. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/> acessado em 30/01/2018

ANP, Agência Nacional do Petróleo. **Leilão n.º 004/2017-ANP**. disponível em [http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/DISTRIBUICAO\\_E\\_REVENDA/LEILOES\\_DE\\_BIODIESEL/56/Homologacao\\_L56\\_004-2017.pdf](http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/DISTRIBUICAO_E_REVENDA/LEILOES_DE_BIODIESEL/56/Homologacao_L56_004-2017.pdf) acessado em 29/09/2017.

BIG, Banco de Informação de Geração. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> Acessado em 17/02/2017.

BRASIL, Infraestrutura. Disponível em <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/03/brasil-avanca-nas-propostas-de-geracao-hibrida-de-energia-eletrica> acessado em 21/02/2017.

BRASIL, **Ministério de Minas e Energia (MME)**. Disponível em [http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/o\\_biodiesel.html](http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/o_biodiesel.html) acessado em 17/01/2017.

BRASIL, **Lei Nº 13.263, de 23 de março de 2016**. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, 24 de março de 2016.

BRASIL, **Lei Nº 11.097, de 13 de Janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 14 de janeiro de 2005.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (PDE)**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2015.

BRAUN, Priscila; ZOMER, Clarissa Debiazi; RÜTHER, Ricardo. **Análise da Contribuição Energética Associada à Integração de Sistemas Fotovoltaicos em Edificações Comerciais**. Revista Brasileira de Energia Solar, Ano 2, Volume II, Número 1, p. 49-59, 2011.

CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em

[http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=321](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=321) acessado em 25/12/2016.

ELCO. Empresa ELCO. Disponível em <http://www.elco.eng.br> acessado em 17/04/2016.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balço Energético Nacional (BEN) 2016: Ano base 2015** / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2016.

ENCARNAÇÃO, Ana Paula Gama. **Geração de Biodiesel pelos Processos de Transesterificação e Hidroesterificação, Uma avaliação Econômica**. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Escola de Química - EQ, 2007.

ENERGIA HÍBRIDA, **Sistemas Híbridos de Produção de Energia Elétrica**. Disponível em <http://energiahibrida.blogspot.com.br/> acessado em 16/01/2017.

ENERGISA - Tocantins. **TIPOS DE TARIFAS, Modalidade Tarifária Horária Verde**. Disponível em <http://www.energisa.com.br/empresa/Paginas/pequenas-e-medias-empresas/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx> acessado em 06/07/2017.

FERRARI, Roseli Aparecida; OLIVEIRA, Vanessa da Silva; SCABIO, Ardalla. **Biodiesel de Soja – Taxa de Conversão em Ésteres Etilicos, Caracterização Físicoquímica e Consumo em Gerador de Energia**. Rev. Quim. Nova, Vol. 28, No. 1, 19-23, 2005

GALDINO, Marco Antonio. **Análise de Custos Históricos de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil**. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES – São Paulo, 18 a 21 de setembro de 2012.

HOMER. **HOMER Energy LLC**. Disponível em <http://www.homerenergy.com/> acessado em 27/03/2017.

INMET, **Instituto Nacional de Meteorologia**, disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/> acessado em 07/07/2017.

LEVA, Flávia Fernandes de; SALERNO, Carlos Henrique; CAMACHO, José Roberto *et al.*. **Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico..** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. disponível em:

<[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022004000200020&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000200020&lng=en&nrm=abn)>. Acessado em: 07 fevereiro de 2017.

MADUREIRA, Jane Marchi ; GUERRA, Sinclair Mallet Guy. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel: Divergências sobre os resultados sociais da política de biocombustíveis.** Revista Pol. Públ., São Luís, v. 18, n. 2, p. 659-670, jul./dez. 2014.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais.** 7ª Ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2007.

Manual do Homer, Manual do Software Homer Pro, disponível em

<https://www.homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf> acessado em 25/07/2017.

Manual Fronius, Manual do Inversor de Frequência Fronius Symo dos modelos (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M), disponível em

[https://www.fronius.com/~downloads/Solar%20Energy/.../42%2C0410%2C2028.pdf](https://www.fronius.com/~/downloads/Solar%20Energy/.../42%2C0410%2C2028.pdf)

acessado em 20/07/2017.

NDU 02, Norma de Distribuição Unificada N° 2. **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária.** Versão 4.0, Palmas, Setembro de 2014.

NEOSOLAR, **Empresa Neosolar**, disponível em

<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/inversor-grid-tie/> acessado em 07/08/2017.

NREL, *National Renewable Energy Laboratory*, disponível em <http://www.nrel.gov/>

acessado em 10/07/2017.

NTD 19, Norma Técnica de Distribuição N° 19 da Energisa - TO. **Requisitos para Acesso e Conexão de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição da Celtins. Rede de distribuição aérea – Conexão em média tensão.** 1ª Edição, Palmas, 12 de dezembro de 2012.

NTD 18, Norma Técnica de Distribuição N° 18 da Energisa - TO. **Requisitos para Acesso e Conexão de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição da Celtins. Rede de distribuição aérea – Conexão de microgeração na rede de Baixa Tensão.** 1ª Edição, Palmas, 12 de dezembro de 2012.

ONS, **Operador Nacional do Sistema Elétrico.** Disponível em <http://ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados> acessado em 31/01/2018.

PEREIRA, José Cláudio. **TARIFA HORO-SAZONAL.** Disponível em [http://www.joseclaudio.eng.br/energia/tarifa\\_horo.html](http://www.joseclaudio.eng.br/energia/tarifa_horo.html) acessado em 17/02/2017.

PERILLO, Paulo Sérgio Cardoso. **Avaliação de Software de Modelagem de Aproveitamento de Energia Solar para Geração de Energia Elétrica nas condições climáticas do DF.** Projeto de Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

PINHO, João Tavares; BARBOSA, Claudomiro Fábio Oliveira; PEREIRA, Edinaldo José da Silva; SOUZA, Hallan Max Silva; BLASQUES, Luis Carlos Macedo; GALHARDO, Marcos André Barros; MACÊDO, Wilson Negrão. **Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para a Amazônia.** 1ª Edição, Brasília, Ministério de Minas e Energia, 2008.

PINHO, João Tavares (org.); GALDINO, Marco Antônio (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** CEPEL - CRESESB, Edição Revisada e Atualizada, Rio de Janeiro, Março de 2014.

PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Manual de Tarificação de Energia Elétrica.** Rio de Janeiro, agosto de 2011.

PROCON, **Pesquisa Preço Combustível - Palmas - Data: 25/09/2017** disponível em [procon.to.gov.br/servicos/pesquisa-de-precos/pesquisas.../combustivel-palmas-2017/](http://procon.to.gov.br/servicos/pesquisa-de-precos/pesquisas.../combustivel-palmas-2017/) acessado em 29/09/2017.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de Energia Elétrica**. 2ª ed. rev. e atual. Barueri, SP: Manole, 2011.

ROSO, Vinícius Rückert; NORA, Macklini Dalla; MARTINS, Mario Eduardo Santos; MACHADO, Paulo Romeu Moreira. **Consumo de combustível e emissões de poluentes em um motor Diesel convertido a etanol para geração térmica de energia elétrica**. Rev. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 37, n. 1, p. 131-142, jan./jun. 2016.

SEVERINO, Mauro Moura; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de. **Geração distribuída: discussão conceitual e nova definição**. Revista Brasileira de Energia, v.14, n.1, p.47-69, 2008. Disponível em: <http://www.sbpe.org.br/rbe/revista/26/>. Acesso em: 25 de julho de 2016.

SKARSTEIN, O.; UHLEN, K. Design Considerations with Respect to Long-term Diesel Saving in Wind/Diesel Plants. **Wind Engineerins**. v. 13, nº 2, p. 72-87, 1989.

SILVA, Sergio Batista da. **Dimensionamento Ótimo de Sistemas Híbridos, com Geração Fotovoltaica e Célula a Combustível, para Atendimento a Comunidades Isoladas na Amazônia**. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.TD-052/10, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.

SILVA, Thadeu Alfredo Farias. **Análise da eficiência de geradores de energia com biodiesel obtido de óleos de fritura usados**. Dissertação de Mestrado. Unicamp, Campinas, 2014.

SOLER, Edilaine Martins; TOLEDO, Franklina Maria Bragion de; SANTOS, Maristela Oliveira dos; ARENALES, Marcos Nereu. **Otimização dos custos de energia elétrica na programação da captação, armazenamento e distribuição de água**. Revista Production, v. 26, nº 2, pg. 385-401, abr./jun. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.146113> Acesso em: 25 de janeiro de 2016.

SOUZA, Adilson Pacheco de; ESCOBEDO, João Francisco; DAL PAI, Alexandre; GOMES, Eduardo Nardini. **Estimativa da radiação global incidente em superfícies inclinadas por**

**modelos isotrópicos e índice de claridade.** Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.45, n.4, p.339-350, abr. 2010.

TAN, Yie Hua; ABDULLAH, Mohammad Omar; NOLASCO-HIPOLITO, Cirilo; ZAUZI, Nur Syuhada Ahmad; ABDULLAH, Georgie Wong. **Engine performance and emissions characteristics of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol emulsions.** Revista Energy Conversion and Management, v.132, p. 54-64, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416310081>. Acesso em: 25 de novembro de 2016.

TAKETA, Thiago Bezerra; FERREIRA, Marisa Zanon; GOMES, Maria Carolina Sérgi; PEREIRA, Nehemias Curvelo. **Influência da temperatura, razão molar (óleo de soja/etanol) e tipo de óleo de soja na reação de transesterificação.** Revista Tecnológica Maringá, v. 22, p. 75-82, 2013.

TUTAK, Wojciech; JAMROZIK, Arkadiusz; PYRC, Michał; SOBIEPAŃSKI, Michał. **A comparative study of co-combustion process of diesel-ethanol and biodiesel-ethanol blends in the direct injection diesel engine, Applied Thermal Engineering (2017),** Revista Applied Thermal Engineering, v.117, p. 155-163 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431117308074>. Acesso em: 25 de março de 2017.

ZAHBOUNE, Hassan; ZOUGGAR, Smail; KRAJACIC, Goran; VARBANOV, Petar Sabev; ELHAFYANI, Mohammed; ZIANI, Elmostafa. **Optimal hybrid renewable energy design in autonomous system using Modified Electric System Cascade Analysis and Homer software.** Revista Energy Conversion and Management, v.126, p. 909-922, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041630735X>. Acesso em: 25 de novembro. 2016.

## ANEXO 1 – TABELA DE CUSTOS DO SISTEMA SOLAR DO IFTO



### ANEXO III – PLANILHA DE CUSTOS E DE COMPOSIÇÃO PARA CADA UNIDADE DOS GRUPOS 3, 6, e 7.

#### Grupo 3- Tocantins

ITEM	SINAPI	DISCRIMINAÇÃO	UND	Q.Total	PREÇO UNITÁRIO sem BDI			PREÇO TOTAL sem BDI			BDI	PREÇO UNITÁRIO com BDI			PREÇO TOTAL com BDI			PERCENTUAL
					MAT. + EQUIP.	M.OB	TOTAL	MAT. + EQUIP.	M.OB.	TOTAL		MAT. + EQUIP.	M.OB	TOTAL	MAT. + EQUIP.	M.OB.	TOTAL	
1		Fornecimento e instalação de Módulo Fotovoltaico 265 Wp CSP- JSP Canadian	un.	270,00	R\$ 633,20	R\$ 29,64	R\$ 662,84	R\$ 170.964,00	R\$ 8.002,80	R\$ 178.966,80	R\$ 39.390,59	R\$ 772,57	R\$ 36,16	R\$ 808,73	R\$ 208.593,16	R\$ 9.764,22	R\$ 218.357,39	46,72%
2		Fornecimento e instalação de Inversor Fotovoltaico ABB PVI-12.5-TL-OUTD-FS - Trisico	un.	5,00	R\$ 12.664,00	R\$ 433,40	R\$ 13.097,40	R\$ 63.320,00	R\$ 2.167,00	R\$ 65.487,00	R\$ 14.413,69	R\$ 15.451,35	R\$ 528,79	R\$ 15.980,14	R\$ 77.256,73	R\$ 2.643,96	R\$ 79.900,69	17,16%
3		Fornecimento e instalação de STRING BOX para sistema fotovoltaico	un.	5,00	R\$ 2.510,81	R\$ 156,00	R\$ 2.666,81	R\$ 12.564,05	R\$ 780,00	R\$ 13.334,05	R\$ 2.834,82	R\$ 3.063,44	R\$ 190,34	R\$ 3.253,77	R\$ 15.317,20	R\$ 951,08	R\$ 16.268,87	3,48%
4		Fornecimento e instalação de Estrutura metálica para módulos fotovoltaicos	un.	270,00	R\$ 97,25	R\$ 15,60	R\$ 112,85	R\$ 26.257,50	R\$ 4.212,00	R\$ 30.469,50	R\$ 6.705,34	R\$ 118,65	R\$ 19,03	R\$ 137,69	R\$ 32.036,78	R\$ 5.139,06	R\$ 37.175,84	7,95%
5		Fornecimento e instalação de Quadros de distribuição CA para sistema fotovoltaico	un.	1,00	R\$ 10.000,00	R\$ 312,00	R\$ 10.312,00	R\$ 10.000,00	R\$ 312,00	R\$ 10.312,00	R\$ 2.269,67	R\$ 12.201,00	R\$ 380,67	R\$ 12.581,67	R\$ 12.201,00	R\$ 380,67	R\$ 12.581,67	2,69%
6		Automação com monitoramento climático e energético Cabo	serv.	1,00	R\$ 10.556,09	R\$ 589,20	R\$ 11.145,29	R\$ 10.556,09	R\$ 589,20	R\$ 11.145,29	R\$ 2.453,08	R\$ 12.873,49	R\$ 718,88	R\$ 13.596,37	R\$ 12.879,49	R\$ 718,88	R\$ 13.598,37	2,91%
7		Projeto executivo condução dos processos Administrativos e Técnicos junto a concessionária local de energia. Coordenação da obra.	serv.	1,00	R\$ 0,00	R\$ 70.050,50	R\$ 70.050,50	R\$ 0,00	R\$ 70.050,50	R\$ 70.050,50	R\$ 15.418,12	R\$ 0,00	R\$ 85.468,62	R\$ 85.468,62	R\$ 0,00	R\$ 85.980,80	R\$ 85.980,80	18,40%
8		Treinamento e capacitação técnica	h	16,00	R\$ 0,00	R\$ 180,53	R\$ 180,53	R\$ 0,00	R\$ 2.888,40	R\$ 2.888,40	R\$ 635,74	R\$ 0,00	R\$ 220,26	R\$ 220,26	R\$ 0,00	R\$ 3.524,14	R\$ 3.524,14	0,79%
<b>TOTAL SEM BDI</b>																R\$ 392.653,54		
<b>TOTAL COM BDI</b>																R\$ 467.387,76		

**ANEXO 2 – ORÇAMENTO GRUPO MOTOGERADOR DA STEMAC**

FILIAL FÁBRICA GOIÁS / SE Nº 3851/2017



Porto Alegre, 01 de março de 2017

À  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS**  
**PALMAS - TO**

**Ref.: CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA**

Prezados Senhores,

Após analisarmos as faturas de energia elétrica de sua empresa, nos permitimos comentar e sugerir o seguinte:

**1. CLASSIFICAÇÃO TARIFÁRIA VIGENTE:**

Tarifa: ..... Verde  
 Classe de Tensão: ..... A4  
 Concessionária: ..... ENERGISA  
 Contas de Energia Analisadas / Meses: ..... MAI À DEZ/2016  
 Demanda Contratada: ..... 640kW  
 Alíquota de ICMS: ..... 25%  
 Bandeira Tarifária: ..... Bandeira Verde

**2. CUSTOS MÉDIOS ATUAIS COM A CONCESSIONÁRIA:**

Demanda Faturada: .....	643	kW	x	R\$ 34,9265 /kW	=	R\$ 22.457,74
Consumo de Ponta: .....	22.831	kWh	x	R\$ 3,0445 /kWh	=	R\$ 69.508,98
Consumo Fora de Ponta: ....	130.384	kWh	x	R\$ 0,3709 /kWh	=	<u>R\$ 48.359,43</u>

Custo médio com Energia: ..... R\$ 140.326,14

**Obs.: conforme divulgado pela Aneel, a Bandeira Tarifária vigente para o mês de MARÇO / 2017 é a Bandeira Verde.**

### 3. REDUÇÃO DE CUSTOS:

A migração para tarifa Horo-Sazonal VERDE, disponível para contratos a partir de 30 kW, combinada com a geração de energia de GRUPOS GERADORES STEMAC, no horário de ponta, apresentará substancial vantagem financeira e econômica.

Ao adquirir uma usina de geração de energia STEMAC, sua empresa ganha segurança por dispor de fornecimento de energia elétrica em situações de falha ou falta da concessionária.

### 4. ENQUADRAMENTO TARIFÁRIO PROPOSTO:

Tarifa:.....	<b>Verde</b>	
Classe de Tensão: .....	<b>A4</b>	
Demanda Contratada / 24 horas: .....	<b>643</b>	<b>kW</b>
Consumo Fora de Ponta: .....	<b>130.384</b>	<b>kWh</b>
Consumo Ponta: .....	<b>22.831</b>	<b>kWh (Usina Geradora STEMAC operando)</b>
Custo Operacional: .....	<b>R\$ 0,7329</b>	<b>/ kWh (Usina Operando em Ponta)</b>

### 5. NOVOS CUSTOS APROXIMADOS COM ENERGIA:

#### 5.1 CUSTO MÉDIO DA ENERGIA FORNECIDA PELA CONCESSIONÁRIA (TARIFA VERDE)

Demanda: .....	643 kW	x	R\$ 34,9265 /kW	=	R\$ 22.457,74
Consumo Fora de Ponta: .....	130384 kWh	x	R\$ 0,3709 /kWh	=	<u>R\$ 48.359,43</u>

**Total: ..... R\$ 70.817,17**

#### 5.2 CUSTO OPERACIONAL COM A USINA DE GERAÇÃO DE ENERGIA STEMAC

Consumo ponta x Custo operacional = 22831 kWh x R\$ 0,7329 /kWh = **R\$ 16.732,84**

#### 5.3. ECONOMIA MENSAL ESTIMADA

A sua economia mensal é calculada pelas diferenças dos seguintes custos:

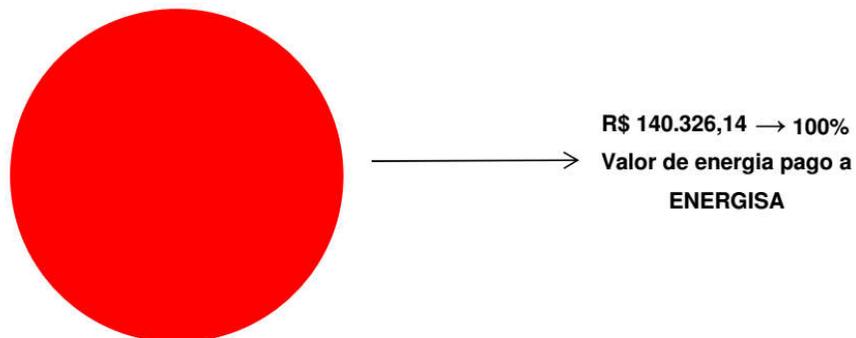
Custo atual com a concessionária (item 2), menos o custo da energia que será fornecida pela concessionária em tarifação Verde (item 5.1) e menos o custo operacional da usina de geração de energia STEMAC (item 5.2) é igual a:

$$\text{R\$ } 140.326,14 \quad - \quad \text{R\$ } 70.817,17 \quad - \quad \text{R\$ } 16.732,84 \quad = \quad \text{R\$ } 52.776,14$$

**6. DEMONSTRATIVO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO FORNECIMENTO DE 2 GMG's STEMAC 460 kVA - VOLVO , CONFORME PROPOSTA ORIENTATIVO E SENDO CONTRATADO O FORNECIMENTO DE ENERGIA PELA CONCESSIONÁRIA EM TARIFA VERDE:**

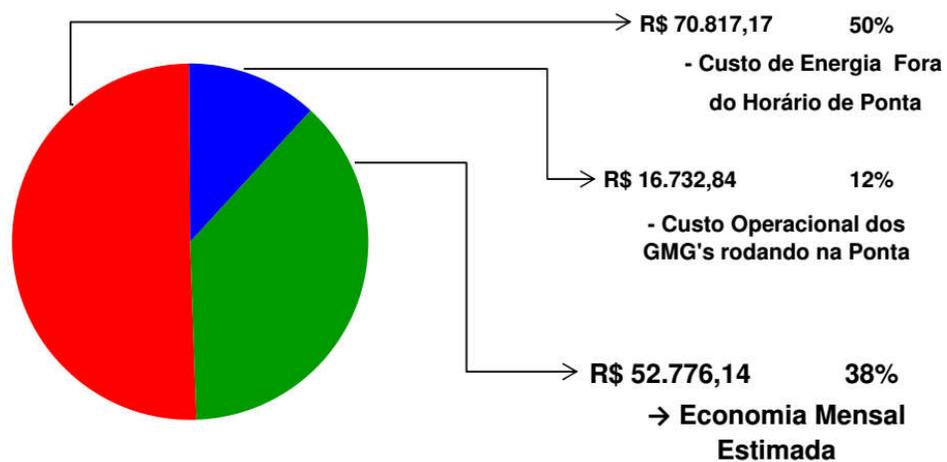
**SITUAÇÃO ATUAL**

**Gasto Mensal (conforme Contas de Energia de MAI À DEZ/2016)**



**SITUAÇÃO PROPOSTA**

**Com Grupos Geradores: 2 x 460 kVA - VOLVO**



**Obs.: GMG dimensionado para atender uma demanda máxima de 694,4kW em horário de ponta.**

## 7. POSSIBILIDADES DE FINANCIAMENTO:

### 7.1 AMORTIZAÇÃO COM RECURSOS PRÓPRIOS:

Com a economia mensal estimada, temos:

Retorno do investimento em: 9 meses, aproximadamente.

#### 7.1.1 LEASING 48 MESES:

(100% de amortização, com prestações pré-fixadas em Reais)

Valor total do investimento .....	R\$	460.420,00
Valor da parcela (mensal) .....	R\$	16.577,88
Redução (mensal) aproximada .....	R\$	52.776,14
Economia (mensal) .....	R\$	36.198,26

#### 7.1.2 FINAME 60 MESES COM 6 MESES DE CARÊNCIA:

(20% de recursos próprios e 80% financiado para MPME. Juros de 14,5% a.a.).

Valor total do investimento .....	R\$	460.420,00
Valor da parcela (mensal) .....	R\$	11.173,83
Redução (mensal) aproximada .....	R\$	52.776,14
Economia (mensal) .....	R\$	41.602,31

**OBS.: A economia mensal poderá aumentar no decorrer dos meses, pois acompanhará o reajuste do valor da energia elétrica.**

**NOTA: Simulação com taxas e prazos de mercado que o cliente deverá buscar junto à instituição financeira de sua preferência.**