



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**PATRICK LASKOSKI DE ALENCAR**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS COMO  
COMPENSADORES DE POTÊNCIA REATIVA CONECTADOS AO SIN**

Palmas/TO  
2021

**PATRICK LASKOSKI DE ALENCAR**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS COMO  
COMPENSADORES DE POTÊNCIA REATIVA CONECTADOS AO SIN**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Engenheira Eletricista e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Me. Alcy Monteiro Júnior

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

D279e De Alencar, Patrick Laskoski.  
ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS COMO  
COMPENSADORES DE POTÊNCIA REATIVA CONECTADOS AO SIN. /  
Patrick Laskoski De Alencar. – Palmas, TO, 2021.  
68 f.  
  
Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus  
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2021.  
Orientador: Alcy Monteiro Junior  
  
1. Energia Solar Fotovoltaica. 2. Serviços Ancilares. 3. Compensação de  
Reativo. 4. ANAREDE. I. Título

**CDD 621.3**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

# FOLHA DE APROVAÇÃO

PATRICK LASKOSKI DE ALENCAR

## ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS COMO COMPENSADORES DE POTÊNCIA REATIVA CONECTADOS AO SIN

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Engenheira Eletricista e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 13 / 05 / 2021

Banca Examinadora

  
Prof. M.º Alcy Monteiro Júnior, UFT

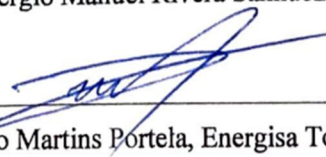


Assinado de forma digital por Gisele Souza Parmezani Marinho  
DN: cn=Gisele Souza Parmezani Marinho, o=Universidade Federal do Tocantins - UFT,  
ou=Engenharia Elétrica - Campus de Palmas, email=gislemarinho@uft.edu.br, c=BR  
Data: 2021.05.13 11:57:14 -03'00'  
Versão do Adobe Acrobat Reader: 2021.001.20150

Prof.ª M.ª Gisele Souza Parmezani Marinho, UFT



Prof. Dr. Sergio Manuel Rivera Sanhueza, UFT



Eng. Damillo Martins Portela, Energisa Tocantins

Palmas/TO

2021

*Aos meus pais por todo incentivo  
e paciência durante os anos de faculdade.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais, Marlene e Genes, por todo amor, suporte e paciência e todo exemplo de dedicação e educação que me possibilitaram concluir mais essa etapa.

Ao engenheiro Danillo Martins Portela (Energisa Tocantins) e pela ajuda com o conteúdo para o desenvolvimento deste trabalho e todo o conhecimento compartilhado durante o meu período de estágio.

Ao Professor Dr. Alcy Monteiro Júnior por toda disponibilidade, pela confiança e por aceitar o convite e me orientar na realização desse trabalho.

Aos meus amigos que estiveram junto comigo durante a graduação pelos ensinamentos compartilhados, todo apoio e momentos de descontração na trajetória da graduação.

Aos Professores do curso de engenharia elétrica da Universidade Federal do Tocantins por terem contribuído de forma excepcional para a minha formação como profissional e por todo o conhecimento transmitido durante a graduação.

A Eletrobras CEPTEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) que cedeu a licença acadêmica do *software ANAREDE*<sup>®</sup>, utilizado no desenvolvimento desse trabalho, aos estudantes da UFT.

E, finalmente, mas não menos importante, a todos os funcionários e colegas de curso de Engenharia Elétrica, que direta ou indiretamente colaboraram para elaboração e conclusão deste trabalho.

## RESUMO

A geração solar fotovoltaica centralizada, representada por usinas de grande porte, tem apresentado um elevado crescimento na participação da matriz energética nacional. Essas plantas, além de fontes de energia elétrica limpa e renovável, ampliam a diversidade do suprimento energético e torna o mercado mais competitivo, contribuindo para uma maior segurança e autonomia do setor elétrico em relação às variações climáticas. Além disso, as plantas fotovoltaicas apresentam um potencial muito grande através da prestação de serviços ancilares de suporte de potência reativa durante o seu período noturno, do qual a produção de potência ativa é nula. Todavia, não há procedimentos para contratação de serviços ancilares dessas usinas fotovoltaicas para compensação de potência reativa descrito no Módulo 14 dos Procedimentos de Rede. À vista disso, através da simulação de um estudo de caso no *ANAREDE*<sup>®</sup>, o trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de um empreendimento fotovoltaico no suporte de potência reativa para o controle da tensão de uma linha de transmissão de energia elétrica. Além de explicar as demais vantagens da regulamentação da contratação do potencial ocioso dessas plantas como serviço ancilar para o SIN.

**Palavras-chave:** Energia Solar Fotovoltaica, Serviços Ancilares, Compensação de Reativo, Transmissão de Energia Elétrica, *ANAREDE*<sup>®</sup>, Estudo de Caso.

## ABSTRACT

Centralized photovoltaic solar generation, represented by large plants showed a high increase in the participation of the national energy matrix. These plants, in addition to sources of clean and renewable electricity, expand the diversity of energy supplies and make the market more competitive, contributing to greater security and autonomy for the electricity sector in relation to climatic variations. In addition, photovoltaic plants have great potential through the provision of reactive power support services during their nighttime of which the active energy production is zero. However, there are no procedures for contracting ancillary services from these photovoltaic plants for reactive power compensation described in Module 14 of the Procedimientos de Rede. In view of this, through the simulation of a case study in *ANAREDE*<sup>®</sup>, the work aims to evaluate the potential of a photovoltaic enterprise in the support of reactive power to control the voltage of an electric power transmission line. In addition to, explaining the other advantages of obtaining the contracting of the idle potential of these plants as an ancillary service for the SIN and agents involved.

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy, Ancillary Services, Reactive Compensation, Electric Power Transmission, *ANAREDE*<sup>®</sup>, Case Study.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz por Fonte de Combustível .....	13
Figura 2 – Curva de Capabilidade Típica.....	14
Figura 3 – Representação das divisões e subdivisões do SEP.....	18
Figura 4 – Sistema Interligado Nacional .....	20
Figura 5 – Atual Estrutura do Setor Elétrico Nacional.....	22
Figura 6 – Processo de Administração dos Serviços Ancilares .....	25
Figura 7 – Triângulo de Potências.....	25
Figura 8 – Modelo Equivalente de Fluxo de Potência.....	31
Figura 9 – Faixa de Geração/ Absorção de Potência Reativa no Ponto de Conexão da Central Geradora .....	33
Figura 10 – Tela Principal do <i>software</i> .....	35
Figura 11 – Barra de Ferramentas do <i>software</i> .....	36
Figura 12 – Usina Fotovoltaica Miracema .....	37
Figura 13 – Curva padrão do FP em função da potência ativa de saída dos modelos SUN2000 .....	38
Figura 14 – Limites operacionais de injeção/demanda de potência reativa dos modelos SUN2000 .....	39
Figura 15 – Ponto de Conexão UFV Miracema .....	40
Figura 16 – Diagrama Simplificado do Sistema Elétrico da Região.....	41
Figura 17 – Diagrama Unifilar do Sistema Elétrico da Região no <i>ANAREDE</i> <sup>®</sup> .....	42
Figura 18 – Barra de Ferramentas de Desenho no <i>ANAREDE</i> <sup>®</sup> .....	43
Figura 19 – Configuração do Barramento no <i>ANAREDE</i> <sup>®</sup> .....	44
Figura 20 – Modelo de Compensador Síncrono no <i>ANAREDE</i> <sup>®</sup> .....	44
Figura 21 – Controle da Tensão no Barramento da UFV Miracema 138 kV – Dia Útil.....	49
Figura 22 – Controle da Tensão no Barramento Miracema 138 kV – Dia Útil .....	49
Figura 23 – Controle da Tensão no Barramento Paraíso 2 138 kV – Dia Útil.....	50
Figura 24 – Controle da Tensão no Barramento Miranorte 138 kV – Dia Útil.....	50
Figura 25 – Controle da Tensão no Barramento da UFV Miracema 138 kV – Sábado.....	51
Figura 26 – Controle da Tensão no Barramento Miracema 138 kV – Sábado.....	52
Figura 27 – Controle da Tensão no Barramento Paraíso 2 138 kV – Sábado .....	52
Figura 28 – Controle da Tensão no Barramento Miranorte 138 kV – Sábado.....	53

Figura 29 – Controle da Tensão no Barramento da UFV Miracema 138 kV – Domingo .....	54
Figura 30 – Controle da Tensão no Barramento Miracema 138 kV – Domingo .....	54
Figura 31 – Controle da Tensão no Barramento Paraíso 2 138 kV – Domingo.....	55
Figura 32 – Controle da Tensão no Barramento Miranorte 138 kV – Domingo .....	55
Figura 33 – Ponto de Fronteira de Miracema.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade de Compensação dos Casos em Estudo .....	40
Tabela 2 – Configuração do Gerador Síncrono .....	43
Tabela 3 – Influência do Compensação da UFV Miracema no Modo Noturno – Dia Útil às 3 horas .....	45
Tabela 4 – Influência do Compensação da UFV Miracema no Modo Noturno – Sábado às 6 horas .....	45
Tabela 5 – Influência do Compensação da UFV Miracema no Modo Noturno – Domingo às 21 horas .....	46
Tabela 6 – Influência do Compensação do Complexo Miracema no Modo Noturno – Dia Útil às 2 horas .....	47
Tabela 7 – Influência do Compensação do Complexo Miracema no Modo Noturno – Sábado às 2 horas .....	47
Tabela 8 – Influência do Compensação do Complexo Miracema no Modo Noturno – Domingo à 1 hora .....	48
Tabela 9 – Influência do Complexo Miracema no FP no Ponto de Fronteira de Miracema – Dia Útil .....	57
Tabela 10 – Influência do Complexo Miracema no FP no Ponto de Fronteira de Miracema – Sábado .....	57
Tabela 11 – Influência do Complexo Miracema no FP no Ponto de Fronteira de Miracema – Domingo .....	58
Tabela 12 – Percentual de Redução do FP no Ponto de Fronteira de Miracema .....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CPSA	Contratos de Prestação de Serviços Ancilares
ESS	Encargo de Serviços do Sistema
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FP	Fator de Potência
GW	Giga Watts
kV	Kilovolts
LT	Linha de Transmissão
MME	Ministério de Minas e Energia
Mvar	Mega Volt-Ampere Reativo
MW	Megawatt
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
P	Potência Ativa
p.u.	Sistema por Unidade
PRODIST	Procedimentos de Rede
Q	Potência Reativa
RAG	Receita Anual de Geração
S	Potência Aparente
SDAT	Sistema de Distribuição de Alta Tensão
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
TSA	Tarifas de Serviços Ancilares
UFV	Usina Fotovoltaica
V	Volts

VA

Volt-Ampere

var

Volt-Ampere Reativo

## SUMÁRIO

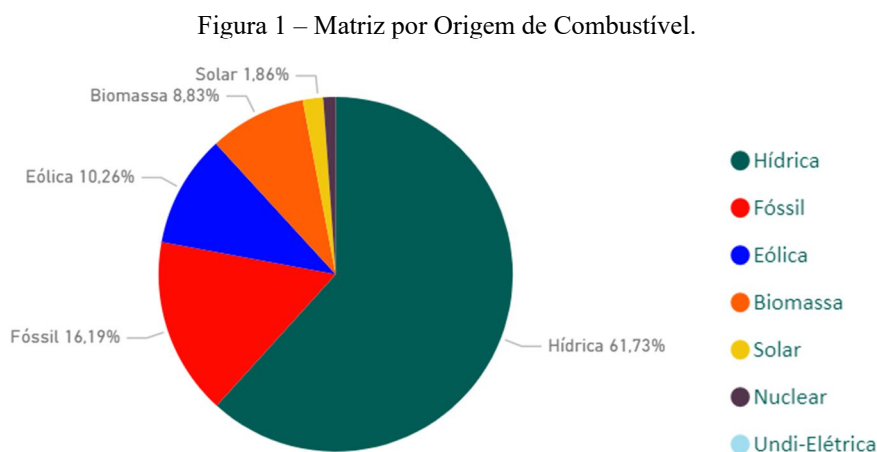
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Justificativa .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>15</b>
1.2.1 Objetivos Gerais .....	15
1.2.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>1.3 Metodologia.....</b>	<b>16</b>
1.3.1 Metodologia da Pesquisa .....	16
1.3.2 Procedimentos Metodológicos .....	17
<b>1.4 Estrutura do Trabalho .....</b>	<b>16</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Sistema Elétrico de Potência.....</b>	<b>18</b>
2.1.1 Sistema de Transmissão de Energia Elétrica.....	19
2.1.2 Sistema Interligado Nacional.....	20
<b>2.2 Modelo Institucional do Setor Elétrico Brasileiro .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Serviços Ancilares.....</b>	<b>23</b>
2.3.1 Os Serviços Ancilares no Sistema Elétrico Brasileiro.....	24
<b>2.4 Controle de Tensão em Linhas de Transmissão .....</b>	<b>25</b>
2.4.1 Variações no Nível de Tensão .....	27
2.4.2 Compensadores de Potência Reativa.....	28
<b>2.5 Estudo do Fluxo de Potência .....</b>	<b>29</b>
2.5.1 Formulação de um Problema de Fluxo de Potência .....	30
<b>2.6 Serviço Ancilares de Controle de Tensão .....</b>	<b>32</b>
2.6.1 Controle de Tensão por Plantas Fotovoltaicas Conectadas ao SIN.....	32
<b>2.7 Introdução ao ANAREDE® .....</b>	<b>33</b>
2.7.1 Ferramentas do ANAREDE® .....	34
2.7.2 Interface gráfica do ANAREDE® .....	35
<b>3 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>37</b>
<b>3.1 Descrição do Estudo de Caso.....</b>	<b>37</b>
3.1.1 Conjunto Fotovoltaico .....	37
3.1.2 Linha de Transmissão do Barramento de Conexão .....	40
<b>3.2 Influência no Controle da Tensão .....</b>	<b>41</b>

3.2.1 Representação da Usina Fotovoltaica como Compensador Síncrono no ANAREDE® .....	43
3.2.2 Influência no Controle da Tensão da UFV Miracema.....	45
3.2.3 Influência no Controle da Tensão do Complexo Fotovoltaico Miracema – Futuro .....	46
3.2.4 Comparativo Influência no Controle da Tensão dos Barramentos.....	48
3.2.5 Influência na Correção do Fator de Potência do Complexo Fotovoltaico Miracema .....	56
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1 Trabalhos Futuros .....</b>	<b>60</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO A - FICHA TÉCNICA DO INVERSOR SUN2000-185KTL .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO B – RELATÓRIO DE TESTE ABNT NBR 16150 DO INVERSORES SUN2000 .....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz energética de um país é definida como a disponibilidade total de energia que pode ser transformada, distribuída e consumida, ou melhor, é a representação quantitativa dos recursos energéticos disponíveis. Desse modo, é fundamental para o planejamento do setor elétrico, assegurando a eficiência na produção e uso da energia (CIMA, 2006).

No que diz respeito ao Brasil, é constituída majoritariamente por fontes renováveis, sendo as hidrelétricas responsáveis pela produção mais expressiva de energia, devido a sua confiabilidade, competitividade econômica e abundância no cenário nacional. A figura 1 apresenta a participação das principais fontes de geração em operação no Brasil.



Fonte: SIGA, Sistema de Informações de Geração da ANEEL, ANEEL (2021).

Todavia, a expansão da hidroeletricidade enfrenta desafios relacionados aos impactos socioambientais negativos, além disso, os novos empreendimentos estão gradativamente distanciando-se dos grandes centros de consumo, resultando em investimentos complementares em longas linhas de transmissão (EPE, 2018).

Diante disso, o setor elétrico brasileiro está mudando o perfil dos parques geradores, aumentando a participação de fontes renováveis intermitentes, como a eólica e a solar. Assegurando uma matriz energética mais diversificada, que, por consequência, garante ao país uma atuação proativa em relação à crise climática e uma maior segurança dos suprimentos energéticos (REIS, 2015).

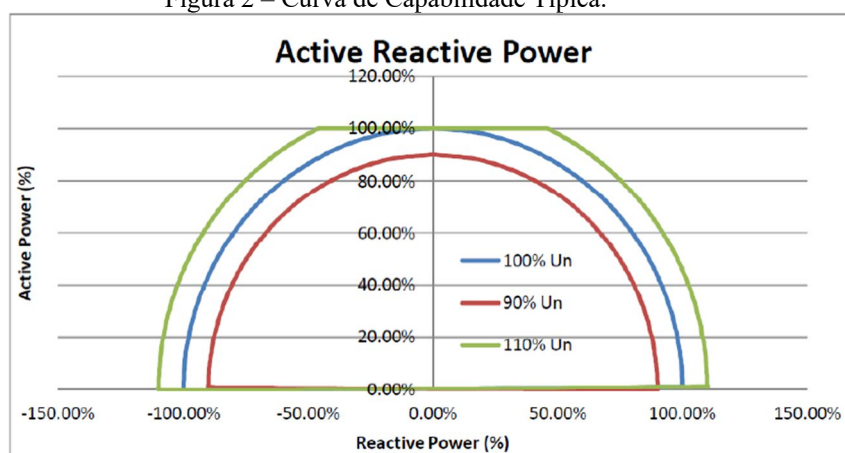


Segundo dados da ANEEL/ABSOLAR (2019, p. 2), a potência contratada em leilões de energia para a instalação de usinas de geração fotovoltaica centralizadas que entrarão em operação até 2025 totaliza 4,4GW e um montante previsto de investimentos de 25,4 bilhões de reais.

Juntamente com o aumento da aplicação fotovoltaica, há um crescente interesse e preocupação com os potenciais impactos na estabilidade e operação dos sistemas elétricos (BRAUN-GRABOLLE, 2010). Entretanto, há uma particularidade dessas plantas que poderia beneficiar o planejamento e operação do sistema elétrico: a capacidade de seus inversores de frequência de gerar, ou absorver, potência reativa.

De acordo com SNAIDER *et al.* (2018, p. 3), conforme ilustrado na figura 2, através da análise das curvas de capacidade dos inversores empregados nos últimos anos em plantas fotovoltaicas, “é possível explorar a capacidade de absorver ou gerar potência reativa mesmo em condições de geração nula de potência ativa”.

Figura 2 – Curva de Capabilidade Típica.



Fonte: SNAIDER et al., 2018.

Ademais, é possível configurar a operação para que trabalhem em modo de tensão ou modo por potência, semelhantemente aos compensadores síncronos e estáticos (SNAIDER et al., 2018). Isto é, os inversores dispõem dos recursos de operação em modo de tensão, mantendo a tensão no ponto de conexão a níveis preestabelecidos, e modo por potência, fornecendo uma parcela de potência reativa fixa definida.

Todavia, apenas são considerados serviços ancilares de suporte de reativos os fornecidos por unidades geradoras que estejam fornecendo potência ativa e que operam como compensadores síncronos (ONS, 2019). Ou seja, não há procedimentos para

contratação de serviços ancilares de usinas fotovoltaicas para compensação de potência reativa.

Diante desse contexto, esse trabalho procura analisar as vantagens da integração de inversores de plantas fotovoltaicas como compensadores de potência reativa no Sistema Interligado Nacional (SIN).

## **1.1 Justificativa**

A mudança do perfil dos parques geradores, relativa à crescente participação de fontes renováveis intermitentes na matriz energética nacional, torna indispensável os estudos dos impactos ocasionados pela inserção dessas plantas em grande escala na estabilidade e operação do sistema elétrico.

Em contrapartida, as usinas fotovoltaicas, com a dupla função de geração de potência ativa e compensação de potência reativa, poderiam auxiliar na manutenção da estabilidade do sistema elétrico, garantindo um maior controle da tensão e possibilitando a reação rápida em casos de contingenciamento. Além de tornar os empreendimentos mais lucrativos aos agentes geradores e, do ponto de vista do planejamento, possibilitar a postergação de investimentos na aquisição de novos equipamentos de controle de tensão, como banco de capacitores ou reatores e compensadores estáticos.

Diante desse cenário, torna-se perceptível a oportunidade de estudos sobre a capacidade considerável de geração, ou absorção, de energia reativa, como contribuição para o controle de tensão do SIN. Nesse contexto, o trabalho se propõe a avaliar as vantagens da possibilidade de contratação do potencial ocioso dessas plantas como serviço ancilar de suporte reativo em linhas de transmissão de energia elétrica.

## **1.2 Objetivos**

A seguir será apresentado os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

### **1.2.1 Objetivos Gerais**

Com a finalidade de construir os princípios para um futuro marco regulatório que contemple a participação de usinas fotovoltaicas centralizadas como reguladores de tensão em linhas de transmissão de energia, através da contratação de serviços ancilares de

compensação de potência reativa, esse trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de um empreendimento fotovoltaico no suporte de potência reativa para o controle da tensão de uma linha de transmissão de energia elétrica. Além de explicar as demais vantagens da regulamentação da contratação do potencial ocioso dessas plantas como serviço ancilar para o SIN.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos, que irão incrementar o objetivo geral, mencionado, são os seguintes:

1. Definir o potencial de compensação de reativo de um empreendimento fotovoltaico;
2. Avaliar as características do sistema elétrico conectado a planta fotovoltaica;
3. Simular e avaliar a eficiência da usina no controle de tensão nos barramentos empregados;
4. Verificar a correção do fator de potência da compensação do reativo na linha de transmissão;
5. Obter as conclusões gerais a respeito do desempenho do sistema do ponto de vista do planejamento, da operação e do agente gerador.

## 1.3 Metodologia

### 1.3.1 Metodologia da Pesquisa

Adota-se o método exploratório em virtude da necessidade de levantamento bibliográfico e obtenção de dados e exemplos em campo.

O que será apresentado na segunda etapa do projeto.

#### **a. Sob o ponto de vista de sua natureza**

Pesquisa básica estratégica, uma vez que se apresenta um trabalho teórico com possibilidade de aplicação.

#### **b. Sob o ponto de vista da forma de abordagem do problema**

Pesquisa quantitativa.

#### **c. Sob o ponto de vista de seus objetivos**

Pesquisa exploratória, dado que alternativas aos métodos existentes no mercado são apresentados, o diferencial está na flexibilização das atividades de transmissão.

### 1.3.2 Procedimentos Metodológicos

O trabalho é enquadrado como pesquisa bibliográfica, por buscar citações em livros, artigos científicos, teses, base de dados de equipamento, disponíveis em acervo de livre acesso. Explicativa, em virtude das simulações, alterações das variáveis e análise dos resultados, e estudo de caso, por tratar-se de uma estrutura destinada a uma finalidade específica.

## 1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está organizado em 3 capítulos correlacionados. O capítulo 1, é o capítulo introdutório, e como tal, contextualiza o tema proposto neste trabalho. Dessa forma, aborda o enfoque central do trabalho, justificativa, objetivos gerais e específicos e, metodologia e, visão do escopo proposto.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica acerca dos sistemas elétricos de potência, organização institucional do sistema elétrico e função dos serviços ancilares, a fim de que se fosse obtido um bom embasamento teórico, destacando os principais trabalhos de conclusão de curso, artigos, livros e teses.

No capítulo 3 são informadas as características do estudo de caso, as considerações consideradas para as simulações e os resultados encontrados através da simulação do sistema no *ANAREDE*<sup>®</sup>.

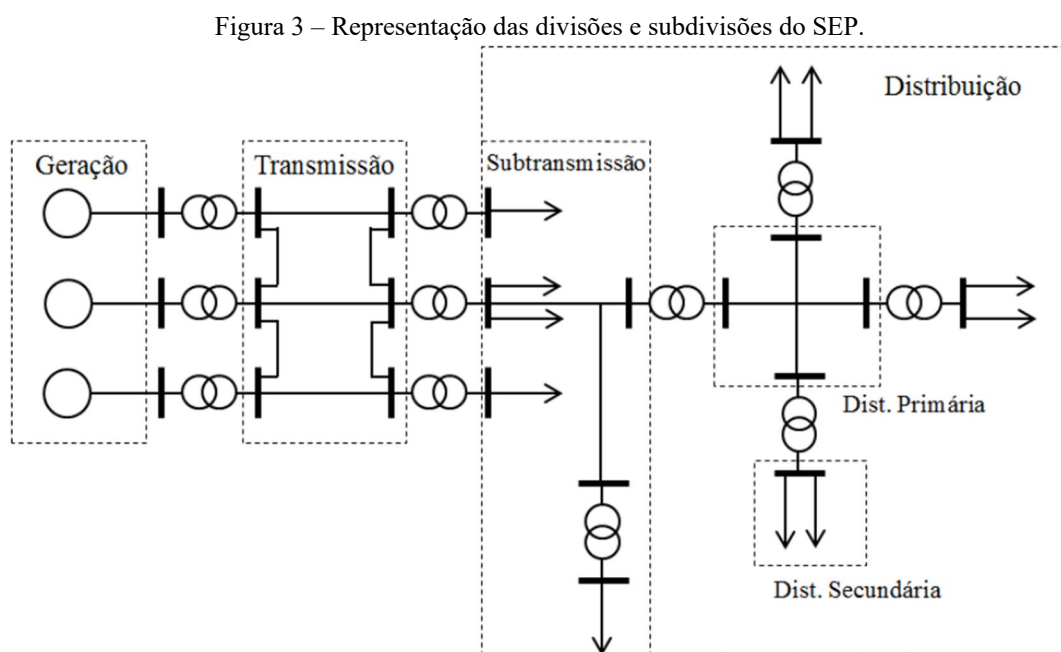
No capítulo 4 são descritas as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica dos principais trabalhos publicados pela comunidade científica relacionados a área de usinas fotovoltaicas e sistemas de transmissão. Para isso, são utilizadas teses de pós-graduação, artigos, livros e sites de pesquisa e desenvolvimento do governo, de extrema relevância para a compreensão do assunto.

### 2.1 Sistema Elétrico de Potência

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) tem como principal função o fornecimento de energia elétrica a todos os usuários, sejam de pequeno ou grande porte, com confiabilidade e qualidade adequada. Desse modo, é constituído pelas três grandes etapas gerais: geração, transmissão e distribuição, responsável pela conversão da energia de alguma natureza, por exemplo, hidráulica, mecânica, térmica, eólica, solar ou outra, em energia elétrica e distribuindo para os consumidores, através dos sistemas de transmissão e distribuição (KAGAN et al., 2005). A figura 3 representa a organização do SEP, contendo as subdivisões da subtransmissão e distribuição:



Fonte: KAGAN et al. (2005)

A transformação das fontes primárias de energia, de alguma natureza, em energia elétrica ocorre no bloco da geração. A energia elétrica é produzida, principalmente, em usinas hidrelétricas através do movimento de turbinas por um grande volume de água represada, ocasionando no acionamento de um gerador elétrico.

Logo após, na fronteira entre a geração e a transmissão, para viabilizar o transporte de energia elétrica em grande quantidade e reduzir as perdas, há uma subestação elevadora para elevar a tensão para os níveis adequados de transporte, o qual é atribuído pela distância a ser percorrida e pela potência a transportar.

O transporte da energia elétrica das centrais geradoras para os centros consumidores ocorre no bloco da transmissão, geralmente em corrente alternada, em extra alta tensão (230kV, 345kV, 440kV, 500kV ou 750kV). As malhas de transmissão também possuem a função de interligar os múltiplos sistemas de transmissão, tornando possível a transferência de energia entre os subsistemas, possibilitando o atendimento do mercado com segurança e economicidade (ONS, 2020). Além disso, os grandes consumidores estão conectados nesse nível de tensão, por exemplo, usinas siderúrgicas.

Na fronteira entre a transmissão e a distribuição, através de uma subestação abaixadora, ocorre o primeiro abaixamento de tensão, resultando na tensão de subtransmissão ou alta tensão (69kV, 88kV ou 138kV). Na subtransmissão há entrega de energia a alguns consumidores, como indústrias automobilísticas, e o suprimento das subestações de distribuição primária onde ocorre o segundo abaixamento para a tensão de distribuição primária ou média tensão (13,8kV, 20kV ou 34,5kV) (SILVA, 2013).

Nesse nível ocorre a alimentação de consumidores primários e de transformadores de distribuição, os quais efetuam o rebaixamento para a tensão de distribuição secundária ou baixa tensão (127/220V ou 220/380V), responsável pelo suprimento de consumidores residenciais e comerciais.

### 2.1.1 Sistema de Transmissão de Energia Elétrica

Responsável pelo transporte em elevadas tensões da energia gerada aos centros consumidores e por interligar os múltiplos sistemas de transmissão, uma linha de transmissão (LT) pode ser aérea, subterrânea ou subaquática. Sendo que a condução convencional é através de linhas aéreas, caracterizadas por condutores nus e conectada as estruturas através de isoladores (ELIAS, 2015). Além disso, as LT's apresentam duas



Essa incorporação advém da grande presença de fontes hidroelétricas na matriz energética nacional, distribuídos pelas diferentes regiões do país com características perenes e regimes de chuva distintos ao longo do ano. À vista disso, há a possibilidade da transferência de excedentes energéticos por entre as regiões, mitigando a necessidade da utilização de geração térmica e reduzindo os riscos de racionamento.

Dessa forma, o SIN estende-se sobre quase todo o território nacional integrando as diferentes fontes de produção de energia e garantindo o atendimento com maior estabilidade, confiabilidade, disponibilidade e economicidade. Todavia, a operação e a proteção tornam-se mais complexas e os distúrbios em um subsistema afeta os demais.

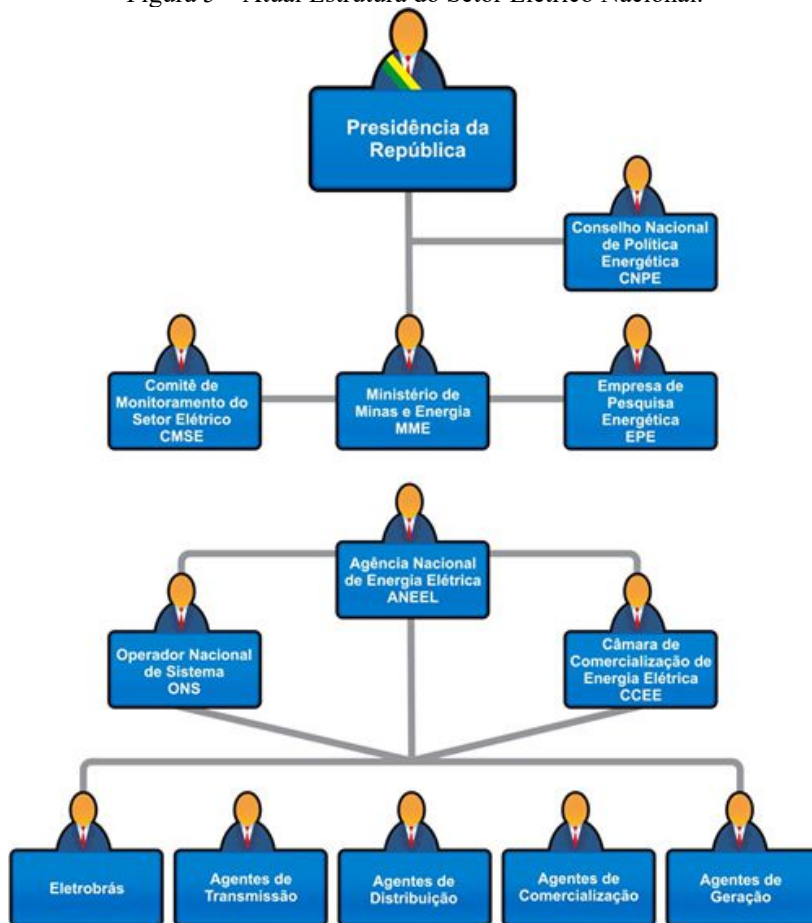
Ademais, nos últimos tempos há uma crescente incorporação na matriz energética brasileira de fontes intermitentes e não controláveis, das quais aumentam a complexidade do sistema elétrico. Tais fontes, principalmente solares e eólicas, afetam o planejamento elétrico e a operação, representando um grande desafio para a estabilidade do SIN.

## **2.2 Modelo Institucional Do Setor Elétrico Brasileiro**

A atual organização do setor elétrico nacional é composta por entidades políticas e técnicas que são responsáveis, direta ou indiretamente, pelas atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Conforme ilustrado na figura 5:



Figura 5 – Atual Estrutura do Setor Elétrico Nacional.



Fonte: Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica - ABRADDEE (2020)

- **Conselho Nacional de Política Energética (CNPE):** relacionado diretamente com o presidente da república, possui como atribuições a proposição de políticas nacionais e medidas relacionadas ao setor energético nacional;
- **Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE):** compete ao CMSE o acompanhamento e avaliação contínua das condições de atendimento e abastecimento da geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação de energia elétrica;
- **Ministério de Minas e Energia (MME):** responsável pela formulação e implementação, juntamente com as diretrizes do CNPE, das políticas no setor energético. Ademais é incumbido pelo acompanhamento das atividades do planejamento energético;

- **Empresa de Pesquisa Energética (EPE):** encarregado pelos estudos e pesquisas que contribuem para o planejamento governamental do setor energético. Desenvolvem estudos necessários para os planos de expansão de geração e transmissão de curto, médio e longo prazo, além dos estudos de impactos socioambientais e viabilidade técnico-econômica de empreendimentos energéticos;
- **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL):** possui a finalidade de regular e fiscalizar, em consonância com as diretrizes do governo federal, a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Além de elaborar, atualizar e aplicar os Procedimentos de Rede (PRODIST);
- **Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS):** responsável por coordenar e controlar a operação da geração e transmissão de energia elétrica do SIN, além do planejamento da operação dos sistemas isolados do país. Ademais, o órgão é incumbido pelo estudo e ações realizadas sobre o sistema e seus agentes proprietários, com o objetivo de assegurar o suprimento energético contínuo.
- **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE):** possui como propósito a viabilização da comercialização de energia elétrica no SIN, contabilizando as compras e vendas de energia elétrica. Além de ser responsável pela promoção dos leilões de compra e venda de energia e o gerenciamento dos contratos.

Além dos órgãos institucionais descritos, existem os agentes setoriais que podem ser classificados nas seguintes categorias: agentes geradores, agentes transmissores, agente distribuidores e agente comercializadores.

### 2.3 Serviços Ancilares

Por definição da palavra, os serviços ancilares são especificados como os serviços que prestam suporte ao serviço principal, ou melhor, complementam os serviços de geração, transmissão, distribuição e comercialização. Ademais, o serviço precisa ser

mensurável para que sejam definidas as formas de remuneração para o agente responsável.

Os serviços ancilares são definidos como os serviços que contribuem para segurança/ confiabilidade e qualidade do suprimento de energia elétrica, tornando-os imprescindíveis à operação eficiente do sistema elétrico em um ambiente de mercado (SOUZA, 2006, p. 2).

Além disso, a maior vantagem da contratação dos serviços ancilares é a capacidade de reação em um curto período de tempo, garantindo a integridade do sistema nos eventuais distúrbios e eventos (contingências).

Em virtude dos elevados investimentos para a manutenção da compensação do reativo nas linhas, há a necessidade de buscar alternativas mais eficientes no mercado para o atendimento dessa demanda. À vista disso, existe um potencial muito grande através da prestação de serviços ancilares de suporte de potência reativa ainda subaproveitado e pouco desenvolvido.

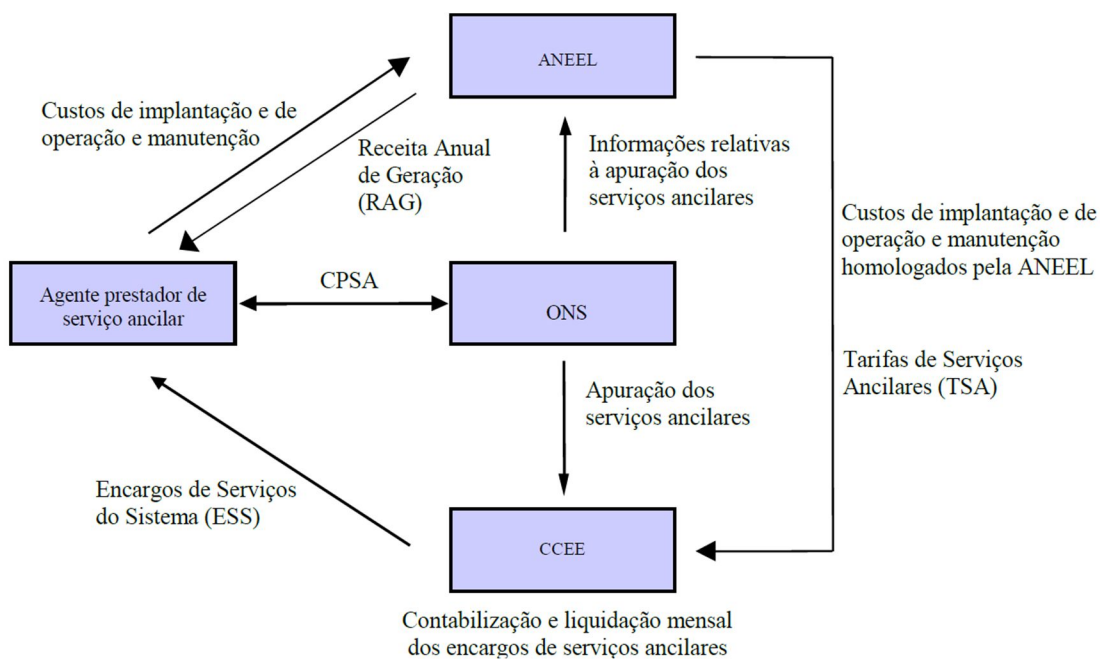
### 2.3.1 Os Serviços Ancilares no Sistema Elétrico Brasileiro

No Brasil, conforme determinado no Módulo 14 dos Procedimentos de Rede (ONS, 2019), dentre as atribuições do ONS estão as contratações e administração dos serviços ancilares necessários à operação do SIN. Sendo assim, o órgão deve estabelecer os critérios dos arranjos comerciais dos serviços ancilares fornecidos pelos agentes geradores, além da oficialização e administração dos Contratos de Prestação de Serviços Ancilares – CPSA – e apuração mensal referente aos serviços.

Ainda no submódulo 14.1, no item 1.3.7.1, os serviços ancilares de suporte de reativos, destinado ao controle de tensão através do fornecimento e absorção de energia reativa, podem ser fornecidos pelas seguintes fontes: unidades geradoras que estejam fornecendo potência ativa e unidades geradoras que operam como compensadores síncronos.

E, complementarmente, a figura 6 ilustra o processo administrativo dos serviços ancilares providos pelos agentes, incluindo o relacionamento existente entre as diversas entidades inclusas no processo.

Figura 6 – Processo de Administração dos Serviços Ancilares.

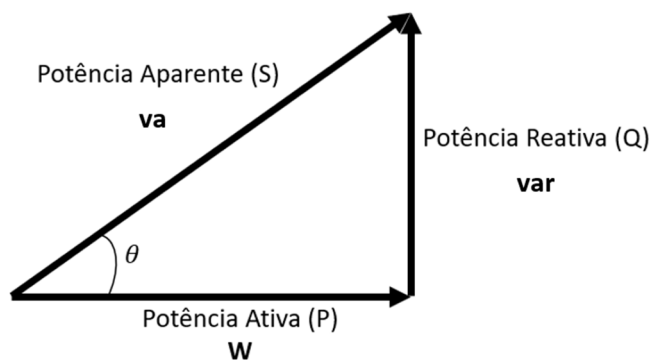


Fonte: Procedimentos de Rede – Módulo 14 (ONS, 2019)

## 2.4 Controle de Tensão em Linhas de Transmissão

Em corrente alternada, o triângulo de potências relaciona as potências ativa ( $P$ ), reativa ( $Q$ ) e aparente ( $S$ ), conforme ilustrado na figura 7. Sendo a potência ativa, medida em  $W$ , responsável por, efetivamente, realizar trabalho, enquanto a potência reativa, medida em  $var$ , é responsável por criar e manter campos eletromagnéticos (REZENDE et al., 2013). Por fim, a potência aparente, medida em  $va$ , representa a correlação entre as potências ativa e reativa, ou seja, é a potência total fornecida ao sistema.

Figura 7 – Triângulo de Potências.



Fonte: Autor, 2020.

O fator de potência (FP) é um valor adimensional que representa a porcentagem da potência total fornecida que é efetivamente utilizada como potência ativa. Desse modo, conforme a equação 1:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \theta \quad (1)$$

Sendo  $1 \geq FP \geq 0$ , caso  $FP = 1$  temos uma carga puramente resistiva, ou melhor, não há potência reativa e  $P = S$ . Por outro lado, caso  $FP < 1$ , há uma carga capacitiva quando  $Q < 0$  (fator de potência adiantado) ou uma carga indutiva quando  $Q > 0$  (fator de potência atrasado) (ALEXANDER; SADIKU, 2013). Posto que, o fator de potência é determinado adiantado quando a corrente está adiantada em relação a tensão e atrasado quando a corrente está atrasada em relação a tensão.

Por conseguinte, um fator de potência próximo a um indica um uso eficiente da energia, enquanto que, valores reduzidos representam um baixo aproveitamento do sistema.

Os sistemas de transmissão e distribuição, assim como uma grande parcela das cargas das unidades consumidoras, como motores e fornos de indução, são consumidores parciais de energia reativa. Todavia, apesar de necessária, o excesso de potência reativa prejudica a circulação de potência ativa, “ocupando espaço” no sistema elétrico (REZENDE et al., 2013).

Em virtude disso, os órgãos reguladores estabelecem valores mínimos de fator de potência de operação dos sistemas elétricos, de forma a assegurar um bom aproveitamento. No Brasil, o item 3.2.1 do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST) estabelece que,

Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo, de acordo com regulamentação vigente (ANEEL, 2018).

Assim, em razão dos problemas operacionais causados por baixo FP, sistemas com fator de potência abaixo do mínimo regulamentado são sujeitos a multas. E, em paralelo, um FP reduzido representa um aumento das perdas técnicas pelo maior

aquecimento dos condutores e equipamentos, em outras palavras, equivale a um acréscimo nos custos da distribuição ou transmissão de energia.

Desse modo, visando atender os critérios de qualidade e capacidade de transmissão, confiabilidade e economicidade, o planejamento e a operação dos sistemas de energia elétrica realizam estudos e utilizam técnicas para resolver os problemas englobados em toda a complexidade dos sistemas.

#### 2.4.1 Variações no Nível de Tensão

No sistema de transmissão, os fluxos de potência da rede podem gerar aumento ou redução da tensão, resultantes das interações entre as correntes e a indutância ou capacitância das linhas ou transformadores. Tais características, capacitivas ou indutivas, de uma linha são derivadas dos patamares de carga em que se encontram, das possíveis perdas de componentes, como linhas de transmissão e geradores, das características das cargas no trecho e da extensão da distância percorrida pela rede.

Em relação aos patamares de carga, temos que, em carga leve, são frequentes os efeitos capacitivos decorrentes da redução da potência requerida pela carga, resultando em um baixo fluxo de potência através da rede de transmissão. Logo, o consumo de potência reativa das cargas na rede é inferior a potência produzida pelo efeito capacitivo das linhas, relativo ao Efeito Ferranti (BATISTA, 2008). Por conseguinte, como a potência reativa está intimamente relacionada a tensão, um aumento da capacitância disponível na rede origina uma elevação na tensão nos barramentos.

Por outro lado, em carga pesada, são frequentes os efeitos indutivos decorrentes de uma maior exigência da rede, resultando em um maior fluxo de potência requerida pela carga. Desse modo, a parcela indutiva da rede consumirá a potência reativa produzida pelo efeito capacitivo, bem como a derivada das fontes de geração de energia elétrica (BATISTA,2008). E, por conseguinte, há uma diminuição da potência reativa disponível na rede, ocasionando uma redução da tensão nos barramentos.

Concomitantemente, os níveis de tensão de uma linha de transmissão devem se manter coerentes com as tensões nominais para as quais os seus equipamentos foram projetados para operar, caso contrário os componentes podem sofrer redução de desempenho e de vida útil (SCHMIDT, 2019).

As tensões de operação reduzidas (subtensões) podem causar a atuação das proteções ou queima dos enrolamentos em motor, devido a elevação da corrente. E, por

outro lado, as tensões de operação elevadas (sobretensões) também podem causar a atuação das proteções e danificar o isolamento de equipamentos (SCHMIDT, 2019).

Diante disso, as concessionárias e transmissoras possuem a responsabilidade de manter os níveis de tensão próximos aos nominais, mediante o planejamento e operação do sistema, garantindo valores seguros de operação aos equipamentos.

#### 2.4.2 Compensadores de Potência Reativa

O controle do reativo é fundamental para o funcionamento do sistema elétrico, pois a tensão deve ser mantida em níveis coerentes para as quais os componentes foram projetados, evitando sobrecargas em subestações e linhas de transmissão e distribuição. Além disso, o fluxo de potência reativo impacta significativamente no aumento das perdas e na redução da capacidade de transferência do sistema (SOUZA, 2006).

Desse modo, visando assegurar a eficiência dos sistemas de transmissão e distribuição, o controle do reativo é efetuado através de dispositivos conectados em paralelo, ou série, no sistema com a capacidade de gerar ou absorver reativo. E uma propriedade importante das fontes reativas é a necessidade de serem alocadas ao longo da rede, pois a potência reativa não deve ser transmitida por longas distâncias (SOUZA, 2006).

Dentre as fontes usualmente empregadas na compensação reativa e suas características, temos:

- **Banco de Capacitores ou Reatores:** é o método mais barato e mais utilizado na compensação de reativo. Em série, são empregados bancos de capacitores, enquanto em paralelo, ambos podem ser instalados. O principal problema de suas aplicações é a operação de acordo com condições fixas de tensão e potência reativa para os quais foram dimensionados. Dessa forma, manobra ou expansões da rede podem tornar o banco ineficaz, tornando necessário alterar os dispositivos do sistema.
- **Compensadores Estáticos:** possuem características compensatórias tanto capacitivas quanto indutivas, podendo ser aplicados em série ou paralelo. Possuem tempo de resposta rápida, porém possuem elevado custo de investimento.

- **Compensadores Síncronos:** conectados em paralelo às barras das subestações, as máquinas síncronas operação sub excitadas ou sobreexcitadas, para injetar correntes indutivas ou capacitivas, respectivamente. Porém sua versatilidade é contraposta pelo lento tempo de resposta, tornando-os inaptos diante de períodos transitórios súbitos. Durante a sua operação é necessário consumir potência ativa como compensação das perdas causadas pela potência reativa que está sendo produzida ou consumida. Esses equipamentos são normalmente mantidos continuamente em operação, sendo desconectados apenas para fins de manutenção.
- **Geradores:** os geradores síncronos possuem a capacidade de ajustar sua injeção de potência reativa com um tempo de resposta rápido, porém a produção de reativo influencia na produção de potência ativa.

Posto isso, pode-se verificar que cada equipamento apresenta suas características e particularidades em relação a dinamicidade do sistema, em vista disso, geradores, compensadores estáticos e compensadores síncronos são normalmente empregados no controle da tensão durante períodos transitórios, quando o tempo de resposta das fontes deve ser rápido. Enquanto, reatores e capacitores são aplicados para o controle da tensão em regime permanente. Por conseguinte, os geradores, compensadores estáticos e compensadores síncronos podem ser considerados como fontes de reserva de potência reativa (RODRÍGUEZ, 2005).

## 2.5 Estudo Do Fluxo De Potência

O estudo do fluxo de potência tem como finalidade, para condições de carga, geração, restrições operacionais e topologias definidas, o cálculo das tensões nas barras e a da distribuição de fluxos de potência ativa e reativa em sistemas de transmissão, além das perdas nos componentes.

E tem como propósitos práticos, no planejamento a análise da expansão e alteração de um sistema elétricos, enquanto para a operação a análise da rede para uma condição sob manobra, diferente do habitual.



### 2.5.1 Formulação de um Problema de Fluxo de Potência

Convencionalmente, a formulação de um problema de fluxo de potência é modelada através de barras e ramos, desse modo, as subestações são simbolizadas por barramentos e as linhas de transmissão e transformadores são representados por ramos que interligam todas as barras do sistema.

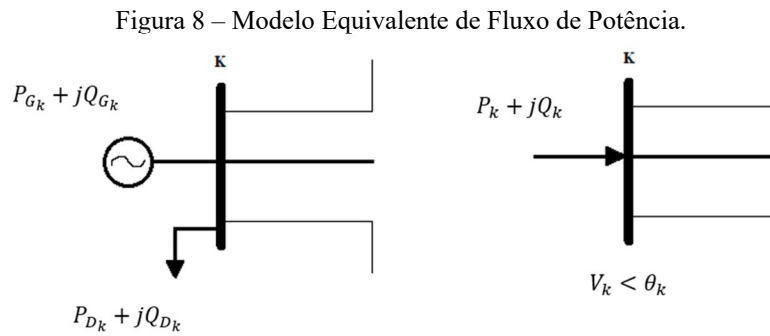
Além disso, formulação do problema é definida por quatro variáveis associadas aos barramentos do SEP, das quais são realizadas equações e inequações algébricas de forma a definir o estado operativo do sistema elétrico. Sendo assim, as propriedades para uma barra  $k$  são:  $P_k$  (potência ativa na barra – gerada ou consumida),  $Q_k$  (potência reativa na barra – gerada ou consumida),  $V_k$  (módulo da tensão da barra),  $\theta_k$  (ângulo da tensão da barra).

Das quais, dada uma barra que compõem o SEP, duas variáveis são constantes e duas são incógnitas, sendo determinadas de forma a atender a convergência do sistema. Diante disso, há três tipos de barramentos mais frequentes para análise:

- **Barra PQ:** comumente barras de carga, no *ANAREDE*<sup>®</sup> tipo 0, especifica-se a potência ativa e reativa e calcula-se o módulo e a fase da tensão. Ou melhor, apresenta não regulação para a magnitude da tensão.
- **Barra PV:** comumente barras de geração, no *ANAREDE*<sup>®</sup> tipo 1, especifica-se a potência ativa e o módulo da tensão e calcula-se a potência reativa e a fase da tensão. Desse modo, a geração reativa apresenta variação restringida entre limites que mantenham a magnitude da tensão da barra constante.
- **Barra V $\theta$ :** denominada como barra de referência, no *ANAREDE*<sup>®</sup> tipo 2, especifica-se o módulo e a fase da tensão e calcula-se a potência ativa e reativa. Portanto, representa referência angular para o sistema e serve para convergir o balanço de potência ativa da solução.

Em relação as equações básicas do fluxo de potência, temos que cada barra apresenta duas equações. As quais traduzem o fato de as potências ativas e reativas injetadas em uma barra serem equivalentes à soma dos fluxos correspondentes que

deixam a barra através de uma linha de transmissão ou transformador (JUNIOR et al., 2009), conforme exemplificado na figura 8.



Fonte: Autor, 2021.

Dado que:

$$P_k = P_{G_k} - P_{D_k} \quad (2)$$

$$Q_k = Q_{G_k} - Q_{D_k} \quad (3)$$

$$P_k + jQ_k = V_k I_k^* \quad (4)$$

Por fim, os fluxos de potência, respectivamente, ativo e o reativo, de uma barra  $k$  para uma barra  $m$ , são dados por:

$$P_{km} = (aV_k^2)g_{km} - aV_kV_m g_{km}(\theta_{km} + \varphi) - aV_kV_m b_{km}(\theta_{km} + \varphi) \quad (5)$$

$$Q_{km} = -(aV_k)^2(b_{km} + b^{sh})V_k + aV_kV_m b_{km} \cos(\theta_{km} + \varphi) - aV_kV_m b_{km}(\theta_{km} + \varphi) \quad (6)$$

Onde:

$V_m$ : tensão na barra transmissora;

$V_k$ : tensão na barra receptora;

$g_{km}$ : condutância do ramo;

$b_{km}$ : susceptância em série do ramo;

$b^{sh}$ : susceptância *shunt* do ramo;

$a$ : tap do transformador;

$\varphi$ : defasamento angular do transformador.

Sendo que para LT's:

$$a = 1;$$

$$\varphi = 0.$$

E para transformadores:

$$b^{sh} = 0.$$

## 2.6 Serviço Ancilares De Controle De Tensão

Dentre as categorias dos serviços ancilares está a provisão de reservas, tanto reservas de potência ativa quanto de potência reativa. No caso do suporte de potência reativa, o controle de tensão se dá através da injeção ou absorção de reativo dos sistemas de transmissão para a obtenção do nível de tensão desejado. E deve considerar em sua aplicação as variações regionais, diárias e horárias demandadas, desse modo, é imprescindível relevante flexibilidade da fonte de potência reativa no controle da tensão (SOUZA, 2006).

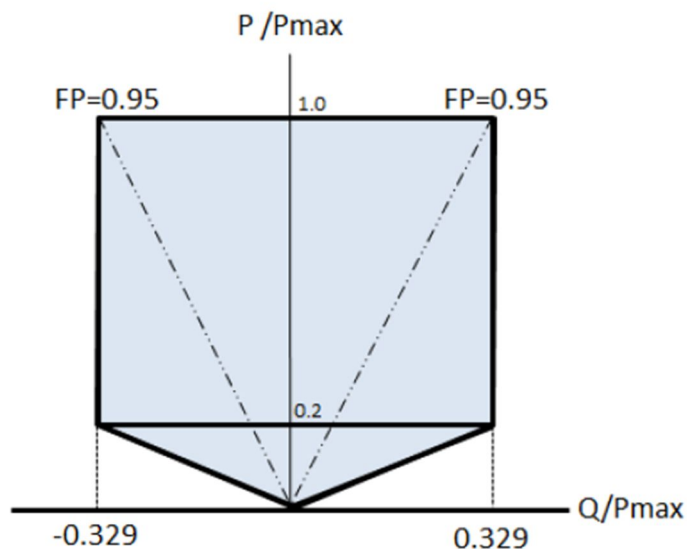
Ademais, comercialização de potência reativa distingue-se da comercialização de potência ativa, derivados da natureza do fluxo de potência. Uma vez que, a potência reativa não pode ser transmitida a longas distâncias, visto que reduz o fator de potência e aumenta as perdas associadas a elevação da temperatura dos condutores. Desse modo, as fontes devem estar próximas aos pontos de demanda, impondo ao mercado limitações geográficas (RODRÍGUEZ, 2005).

No que se refere aos custos envolvidos do fornecimento de suporte de potência reativa, parâmetro fundamental para avaliar a remuneração do agente prestador do serviço ancilar, são discriminados em custos diretos, relativos aos custos fixos (custos de capital, da construção, da administração, da manutenção planejada e de operação variável), e os custos indiretos, relativos à receita de potência ativa perturbada pela produção de potência reativa (SOUZA, 2006).

### 2.6.1 Controle de Tensão por Plantas Fotovoltaicas Conectadas ao SIN

Atualmente, conforme determinado no Submódulo 3.6, item 8.2.1, dos Procedimentos de Rede (ONS, 2019), está incluso, como requisito técnico para a conexão de centrais geradoras fotovoltaicas e eólicas, o compromisso da possibilidade de fornecimento, em regime permanente, de potência reativa, indutiva ou capacitiva, no intervalo do fator de potência indicado na figura 9:

Figura 9 – Faixa de Geração/ Absorção de Potência Reativa no Ponto de Conexão da Central Geradora.



Fonte: Procedimentos de Rede – Submódulo 3.6 (ONS, 2019).

Sendo assim, nas condições em que a geração de potência ativa é nula, é necessário que haja recursos para o controle da disponibilização da capacidade de geração, ou absorção, de potência reativa das centrais geradoras no ponto de conexão dentro da faixa ilustrada na Figura 9. No entanto, como essas plantas operam como compensadores de reativo, há um consumo de potência ativa pelos inversores no processo e nenhum procedimento para a contratação da prestação de serviços ancilares que viabilizariam a operação dessas plantas como compensadores.

Por conseguinte, não há um compromisso das geradoras da utilização dos inversores na compensação, tornando funcional a prática do requisito mínimo de propiciar a geração/ injeção nula no ponto de conexão, ou seja, operação com fator de potência próximo ao unitário, buscando a redução das perdas por parte da geradora.

## 2.7 Introdução ao ANAREDE®

Desenvolvido pela Eletrobras CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica), o ANAREDE® é o *software* para análise de sistemas elétricos de potência, em regime permanente, mais utilizado no Brasil. Esse programa computacional agrega programas de fluxo de potência, equivalentes de redes, análises de contingências, análises de sensibilidade de tensão e de fluxo, e análise de segurança de tensão (CEPEL, 2020).

Dentre os principais usuários do ANAREDE, temos: entidades setoriais, como Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), agentes de geração, transmissão e distribuição, grandes consumidores industriais, produtores independentes, universidades (versões acadêmicas) e empresas de consultoria (CEPEL, 2020).

### 2.7.1 Ferramentas do *ANAREDE*<sup>®</sup>

Como citado anteriormente, o *ANAREDE*<sup>®</sup> agrega diversas aplicações utilizadas na operação e nos estudos do planejamento de sistemas elétricos de potência. Nesse tópico algumas das funções e características serão detalhadas.

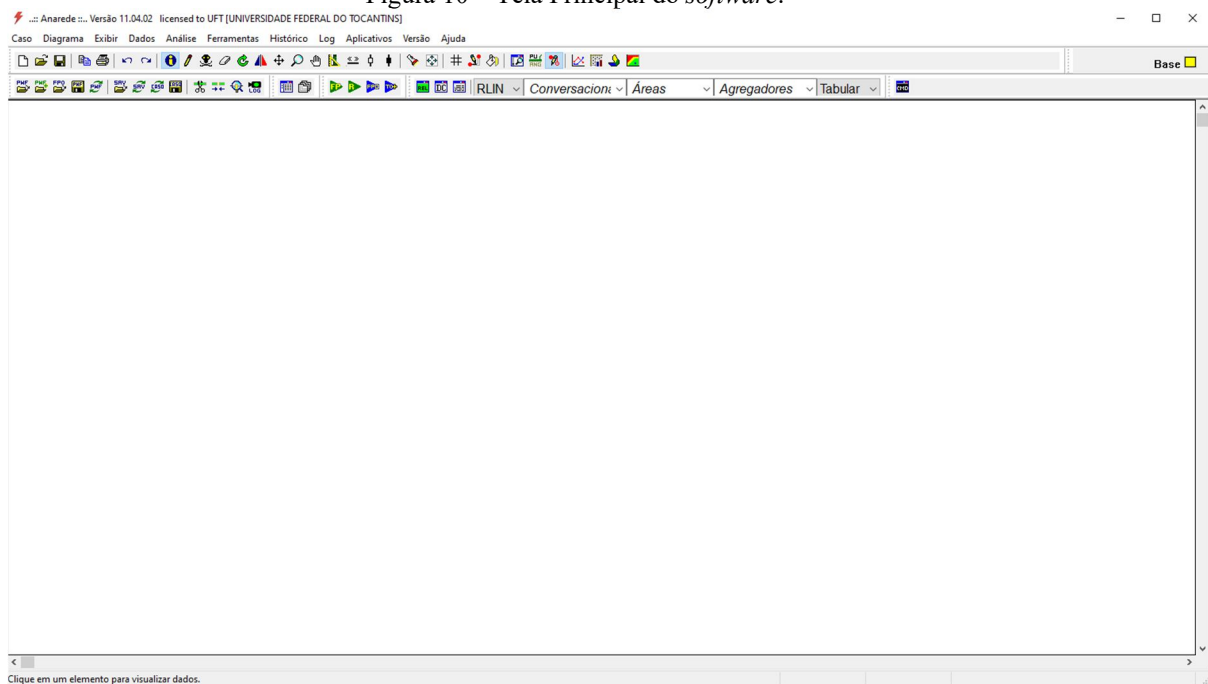
- **Fluxo de Potência:** tem como finalidade, para condições de carga, geração, restrições operacionais e topologias definidas, o cálculo da distribuição de fluxos de potência ativa e reativa em sistemas de transmissão, além das perdas nos componentes.
- **Equivalentes de Rede:** tem como objetivo a simplificação de um sistema que represente com precisão adequadamente o comportamento de um sistema é submetido a determinado impacto. Sendo composto com um sistema externo modelado representando todas as barras do sistema elétrico e um sistema interno contento todas as barras do estudo de interesse.
- **Análises de Sensibilidade de Tensão:** através de variáveis de controle, como as magnitudes de tensão em barras de geração, taps de transformadores e injeções de potência reativa em barra de geração e carga, traduzem o comportamento de determinadas grandezas da rede elétrica, como as magnitudes de tensão em barras de carga e gerações de potência reativa.
- **Fluxo de Potência Continuado:** traduz o comportamento dos fluxos de um sistema elétrico ao inserir uma variação de uma potência ativa ou reativa determinada. Assim, os níveis de tensão em barramentos e a potência ativa e reativa das máquinas síncronas especificadas podem ser monitorados frente ao incremento automático de carga.

### 2.7.2 Interface gráfica do ANAREDE®

A interface principal do programa, figura 10, apresenta o acesso aos variados *menus* e ferramentas que permitem a administração dos dados e a execução dos casos em estudo. Permitindo que o usuário trabalhe tipicamente com arquivos dos tipos:

- .PWF: arquivo de texto com dados e/ ou comandos;
- .SAV: base de dados de vários pontos de operação do sistema elétrico;
- .lst: arquivo de diagrama.

Figura 10 – Tela Principal do *software*.



Fonte: Autor, 2021.

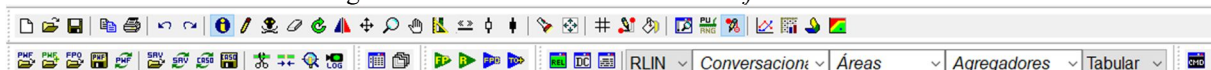
A barra de *menus*, localizada na primeira seção da tela principal, é composta por:

- *Menu* Caso: possibilita o acesso e a administração dos arquivos .PWF;
- *Menu* Diagrama: permite o acesso e a administração dos arquivos .lst;
- *Menu* Exibir: possibilita a definição das configurações de exibição do diagrama unifilar;
- *Menu* Dados: permite o acesso a informações dos equipamentos modelados no sistema;

- *Menu Análise*: possibilita a utilização das funções de análise da rede, incluindo os relatórios do programa;
- *Menu Ferramentas*: permite o acesso as funções de configuração de *layout* da tela principal e elementos do sistema, customização da barra de ferramentas e diversas funções de manipulação de dados.

Enquanto a barra de ferramentas, figura 11, localizada logo abaixo da barra de *menus*, apresenta duas seções: a primeira é composta por funções de administração do arquivo, impressão, opções de desenho e acesso a outros aplicativos complementares. A segunda apresenta outras opções de gerenciamento de dados, comandos de execução e gestão de relatórios.

Figura 11 – Barra de Ferramentas do *software*.



Fonte: Autor, 2021.

### 3 ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Descrição do Estudo de Caso

##### 3.1.1 Conjunto Fotovoltaico

O sistema utilizado no estudo de caso é a Usina Fotovoltaica (UFV) Miracema – nome fictício, figura 12, situado no município de Miracema do Tocantins – TO. Atualmente o empreendimento, com capacidade instalada de 5 MW, faz parte de um Complexo Fotovoltaico que soma uma potência ativa nominal instalada de 10 MW e apresenta projeção de expansão para uma totalidade de 35 MW.

O Complexo Fotovoltaico está conectado ao Sistema de Distribuição de Alta Tensão (SDAT) 138 kV através do ponto de conexão do transformador 13,8/138 kV da SE Complexo Fotovoltaico Miracema.

Figura 12 – Usina Fotovoltaica Miracema.



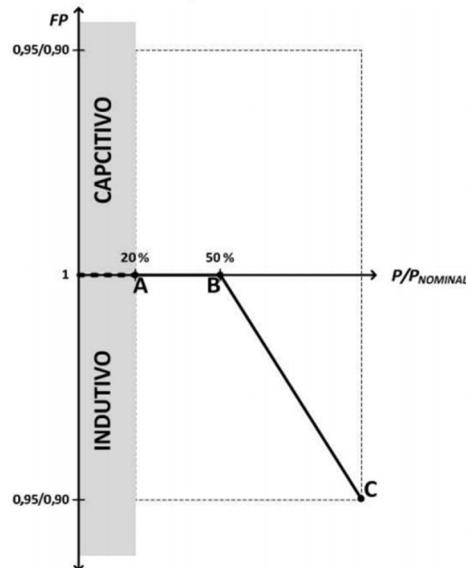
Fonte: Google Earth<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Data da Imagem: 15/08/2019



A UFV Miracema apresenta um total de 27 inversores modelo SUN2000-185KTL da Huawei com capacidade de geração ou absorção de potência reativa conforme sua curva padrão do FP em função da potência ativa de saída, ilustrada na figura 13.

Figura 13 – Curva padrão do FP em função da potência ativa de saída dos modelos SUN2000.



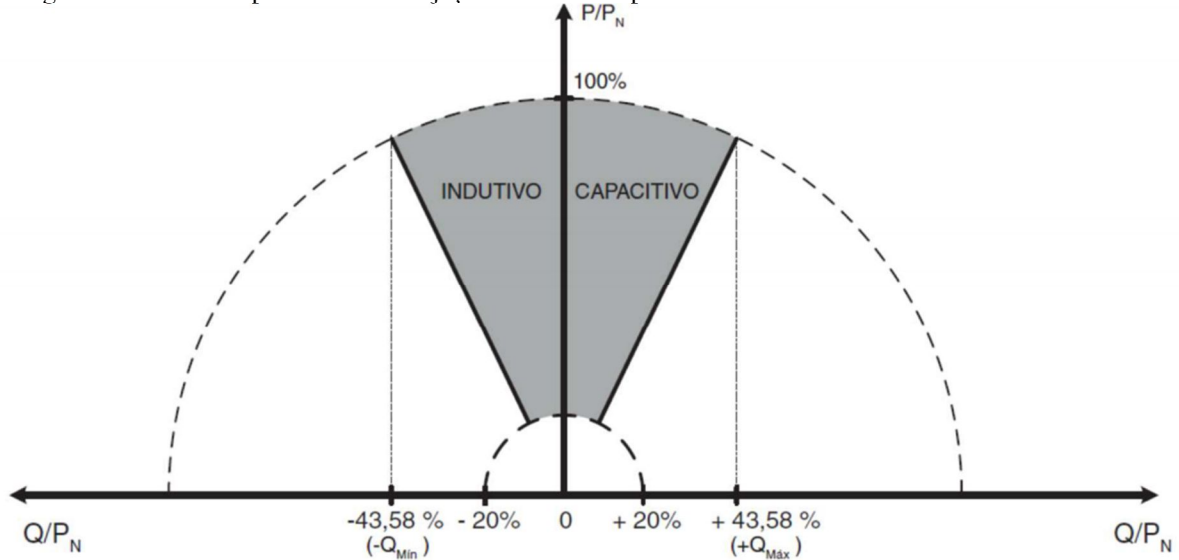
Fonte: ZHANG et al., 2019.

Conforme o relatório de testes solicitado pela fabricante, o inversor é ajustado em  $FP=1$  de fábrica para operar com tolerância na faixa de 0,98 de atraso ou avanço. E apresenta a opção de operar conforme a figura 13 e FP ajustável de 0,90 indutivo ou capacitivo (ZHANG et al., 2019).

Além disso, há a possibilidade de operação no modo noturno, no qual é possível gerar ou absorver potência reativa em condição de geração de potência ativa nula através dos seguintes tipos de controle: PF fixo, potência reativa fixa, curva padrão para FP em função da potência ativa do inversor ou curva específica (ajuste dos pontos A, B e C, conforme a figura 13) e controle externo (ZHANG et al., 2019).

Nesse caso, os limites operacionais de injeção ou absorção de potência reativa podem ser definidos conforme a figura 14. E devem ser determinados pelas condições da rede e estabelecidos pelo operador da rede juntamente com a permissão de acesso.

Figura 14 – Limites operacionais de injeção/demanda de potência reativa dos modelos SUN2000.



Fonte: ZHANG et al., 2019.

Desse modo, os inversores apresentam a capacidade total de gerar ou absorver potência reativa no modo noturno de 43,58% da potência nominal ativa, conforme a curva característica  $P/P_n$ . Assim, um conjunto de inversores apresenta uma capacidade máxima, no modo noturno, segundo a equação a seguir:

$$Q_{\text{máximo no modo noturno}} = (\text{Quantidade de Inversores}) \times (\text{Potência Nominal dos Inversores}) \times (0,4358) \quad (7)$$

Por conseguinte, a planta fotovoltaica Miracema pode contribuir com:

$$Q_{\text{máximo no modo noturno}} = 27 \times 185.000 \times 0,4358 = \pm 2,1768 \text{ Mvar} \quad (8)$$

Da mesma forma, considerando a suposição do cenário da utilização de todo o potencial futuro do Complexo Fotovoltaico Miracema de 35 MW, levando em conta a aplicação do mesmo modelo de inversor:

$$Q_{\text{máximo no modo noturno}} = 189 \times 185.000 \times 0,4358 = \pm 15,2377 \text{ Mvar} \quad (9)$$

Logo, as potências máximas de compensação de reativo para o estudo do caso são definidas como apresentado na tabela 1:

**Tabela 1** – Capacidade de Compensação dos Casos em Estudo.

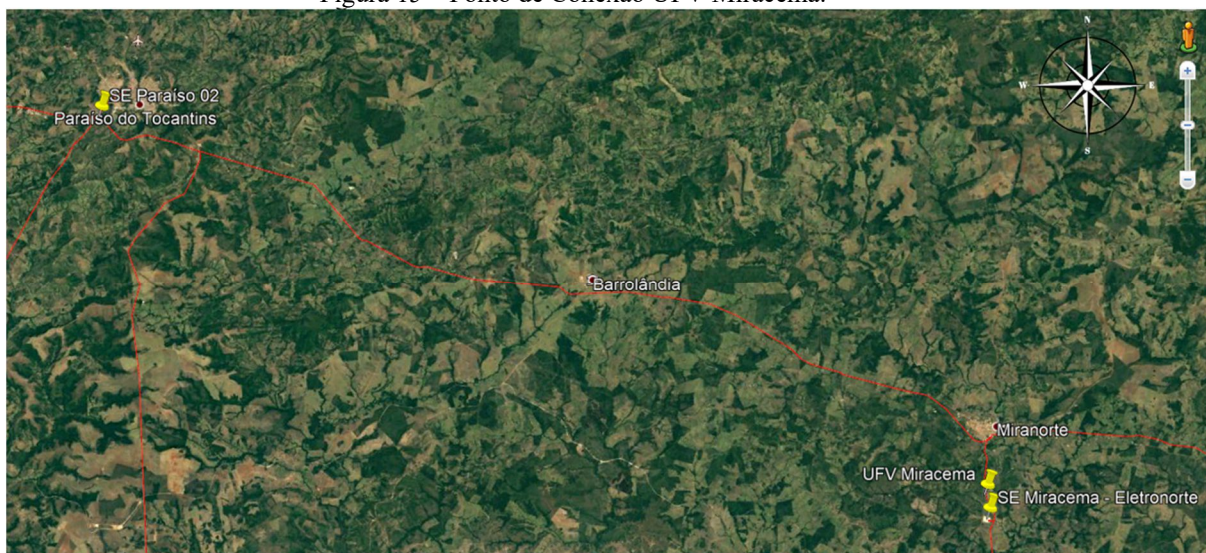
Caso	Potência Ativa Nominal (MW)	Quantidade de Inversores	Capacidade de Compensação (Mvar)
UFV Miracema	5	27	2,17
Complexo Fotovoltaico Miracema – Futuro	35	189	15,23

Fonte: Autor, 2021.

### 3.1.2 Linha de Transmissão do Barramento de Conexão

O ponto de conexão da UFV Miracema com SDAT é através da linha de transmissão de 138 kV que conecta a SE Miracema Eletronorte à SE Paraíso 02, distantes 2,8 km e 89,97 km da conexão, respectivamente, conforme ilustrado na figura 15.

Figura 15 – Ponto de Conexão UFV Miracema.



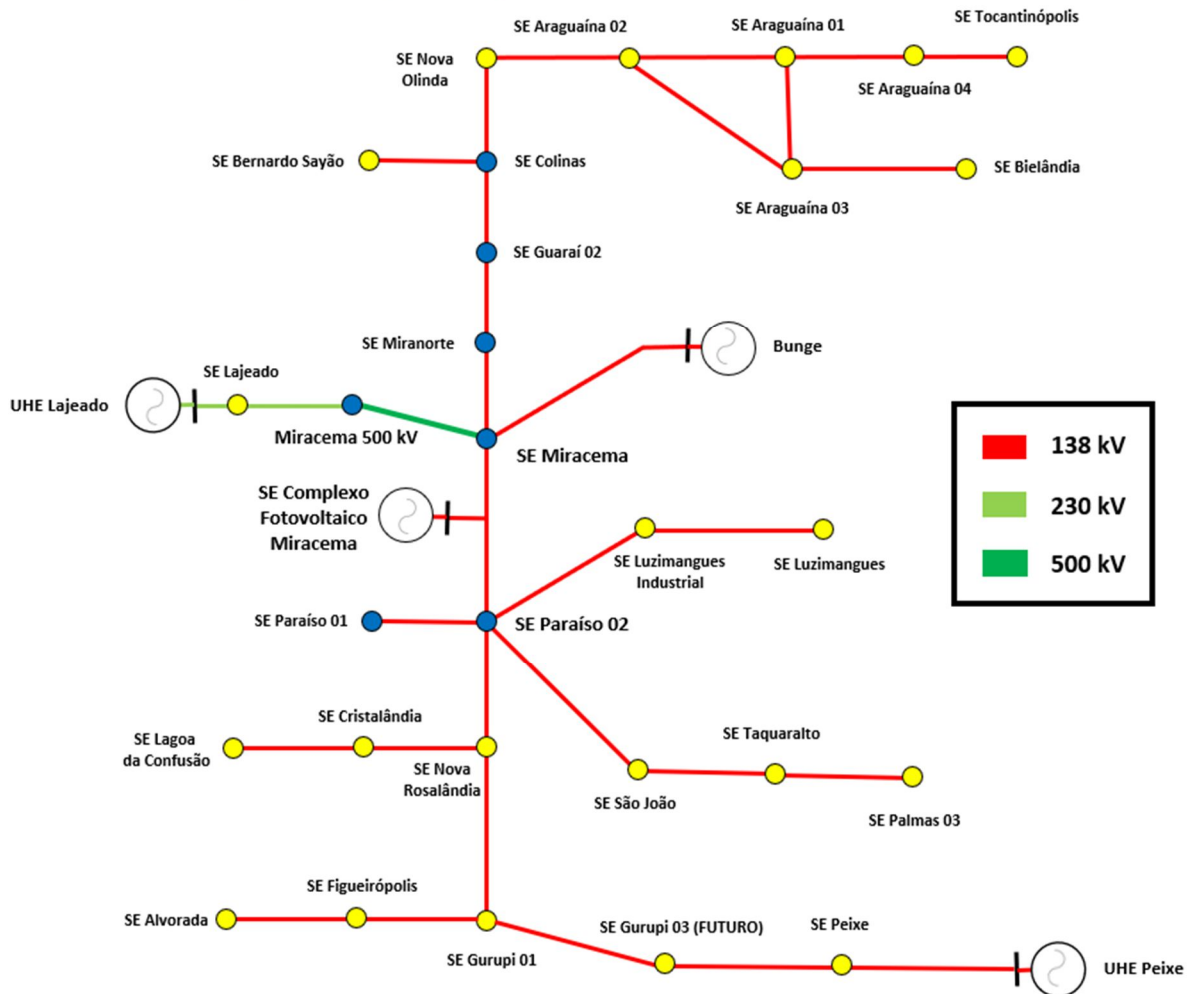
Fonte: Google Earth<sup>2</sup>.

A região apresenta baixa densidade de carga e gerações relevantes para o estado, além de extensas linhas de transmissão em anel responsáveis pelo intercâmbio energético entre os demais pontos de suprimento, por conseguinte há efeitos capacitivos durante a operação em regime permanente em todos os patamares de carga.

Sumariamente, o diagrama da rede de atendimento desta região está representado pela figura 16, incluindo os barramentos destacados em azul considerados nas simulações.

<sup>2</sup>Data da Imagem: 15/08/2019

Figura 16 – Diagrama Simplificado do Sistema Elétrico da Região.



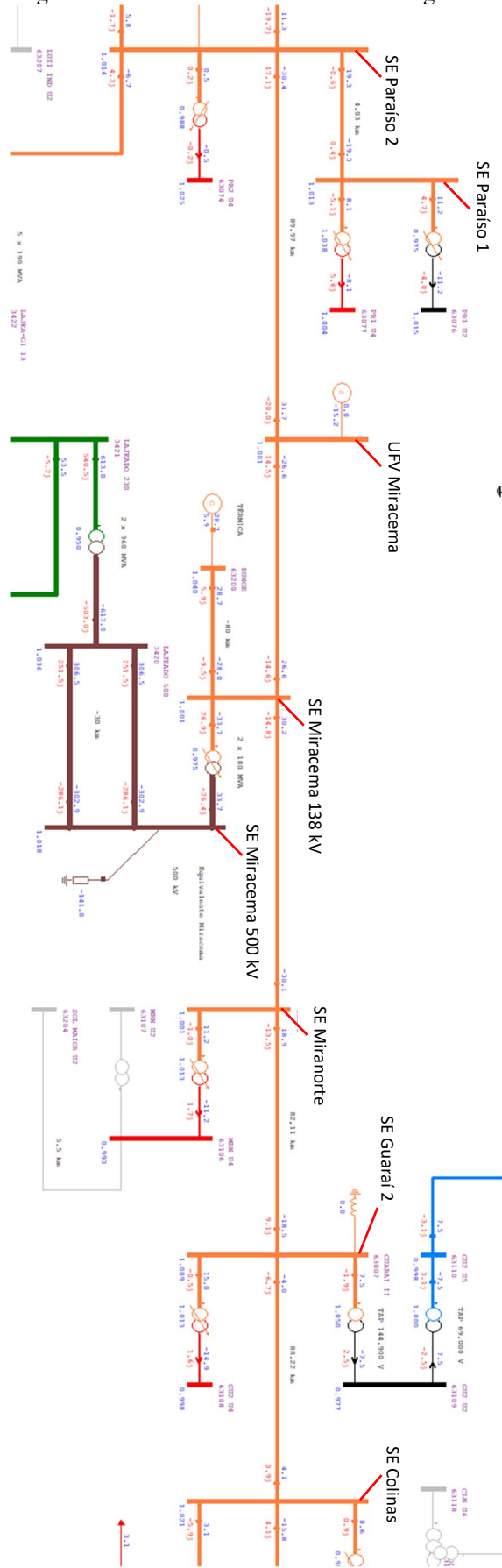
Fonte: Autor, 2021.

### 3.2 Influência no Controle da Tensão

O sistema elétrico utilizado nas simulações para a verificação da influência do controle da tensão nos barramentos é o trecho real do SDAT da região, localizado nas proximidades da conexão com a UFV Miracema, conforme ilustrado na figura 17. Enquanto aos parâmetros disponíveis, as demandas máximas coincidentes para o mês de setembro foram fornecidas ao sistema.

As simulações e análises foram executadas através do *ANAREDE*<sup>®</sup> para o intervalo entre 20 horas e 6 horas nos patamares de carga de dia útil, sábado e domingo/feriado, dado que o modo noturno opera durante o período sem incidente de radiação solar nos módulos fotovoltaicos, ou melhor, sem geração de potência ativa.

Figura 17 – Diagrama Unifilar do Sistema Elétrico da Região no ANAREDE®.

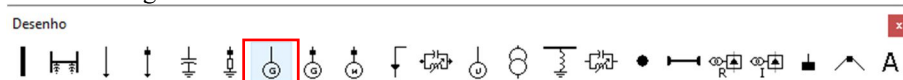


Fonte: Autor, 2021.

### 3.2.1 Representação da Usina Fotovoltaica como Compensador Síncrono no ANAREDE®

A usina fotovoltaica operando em modo noturno se comporta de modo similar a um gerador síncrono, desse modo, é possível utilizar o elemento gerador, ilustrado na figura 18, com geração ativa nula, como um compensador de potência reativa controlado pela tensão de uma barra PV.

Figura 18 – Barra de Ferramentas de Desenho no ANAREDE®.



Fonte: Autor, 2021.

Ao conectar o gerador ao barramento da UFV Miracema, barra PV, as condições de operação devem ser fornecidas conforme a tabela 2. E os campos de preenchimento estão destacados na figura 19.

**Tabela 2** – Configuração do Gerador Síncrono.

<b>Campo de Preenchimento</b>	<b>Instrução</b>
Geração Reativa - Mínima	Capacidade de Compensação Mínima do Caso
Geração Reativa - Máxima	Capacidade de Compensação Máxima do Caso
Geração - Ativa	Nula
Geração - Reativa	Em branco
Tensão (p.u.)	Tensão do Barra de Conexão
Ângulo	Em branco

Fonte: Autor, 2021.

Figura 19 – Configurações do barramento no ANAREDE®.

Dados de Barra CA (DBAR)

Número: 63303 Nome: SOL MAIOR Tensão: 1005 p.u. Ângulo: graus

Tipo: 1 - PV VDef: 1000 p.u. Grupo Limite de Tensão: 0 Grupo Base de Tensão: 6 138 kV

Área: 630 Barra Controlada: Controle Local

Modo de Visualização: 0 - Normal Ligado

Carga Ativa: Reativa: Geração Ativa: 0.0 MW Reativa: Geração Reativa: Mínima: -2.17 Mvar Máxima: 2.17 Mvar

Carga Individualizada (DCA): Ativa: Reativa: Shunt: Equivalente: Individualizado (DBSH):

Agregadores:

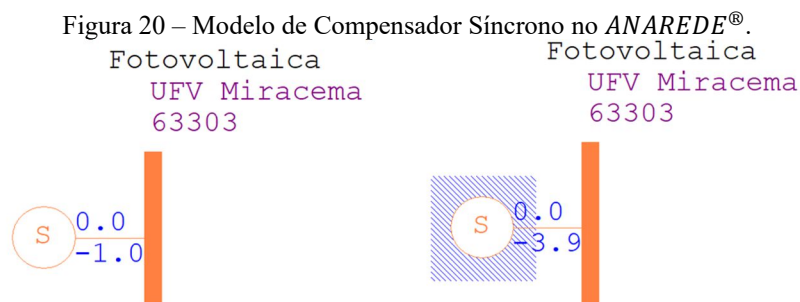
Primeira Vizinhança: Número: Nome: Mostrar Trocar

Inserir Alterar Remover Limpar Fechar

Fonte: Autor, 2021.

Desse modo, os parâmetros de potência ativa e módulo da tensão (p.u.) são especificados e a potência reativa, juntamente com a fase da tensão, são calculados, restritos aos limites de geração reativa definidos. Por conseguinte, o módulo da tensão deve ser alterado até o compensador atinja grandezas próximas aos seus limites mínimos ou máximos de compensação.

A sinalização da ultrapassagem dos limites operativos configurados é ilustrada na figura 20 com o compensador síncrono hachurado.



Fonte: Autor, 2021.

Além disso, vale destacar que a tensão nos barramentos é representada em p.u. com precisão de três casas decimais. Posto isso, apenas variações iguais ou superiores a 0,001 p.u., ou 0,138 kV para o 138 kV e 0,5 kV para o 500 kV, são visíveis.

### 3.2.2 Influência no Controle da Tensão da UFV Miracema

Considerando a capacidade de geração e absorção de até 2,17 Mvar da UFV Miracema, tomando horários específicos como amostragem. A influência nos níveis de tensão dos barramentos próximos para os patamares de carga de dia útil, sábado e domingo, respectivamente, pode ser verificada na tabela 3, tabela 4 e tabela 5.

- Dia Útil – 3 horas:

**Tabela 3** – Influência do Compensação da UFV Miracema no Modo Noturno – Dia Útil às 3 horas.

<b>Barramento Influenciado</b>	<b>Tensão do Caso Base (kV)</b>	<b>Tensão com a Compensação da UFV (kV)</b>	<b>Influência da UFV (kV)</b>
SM 138kV	138,83	138,69	-0,14
Miracema 138 kV	138,83	138,69	-0,14
Miranorte 138 kV	138,83	138,83	0,00
Guaraí 2 138 kV	140,07	140,07	0,00
Colinas 138 kV	141,45	141,45	0,00
Paraíso 2 138 kV	139,52	139,52	0,00
Paraíso 1 138 kV	139,52	139,38	-0,14
Miracema 500 kV	509,50	509,50	0,00

Fonte: Autor, 2021.

- Sábado – 6 horas:

**Tabela 4** – Influência do Compensação da UFV Miracema no Modo Noturno – Sábado às 6 horas.

<b>Barramento Influenciado</b>	<b>Tensão do Caso Base (kV)</b>	<b>Tensão com a Compensação da UFV (kV)</b>	<b>Influência da UFV (kV)</b>
SM 138kV	139,24	139,10	-0,14
Miracema 138 kV	139,10	138,97	-0,14
Miranorte 138 kV	139,24	139,24	0,00
Guaraí 2 138 kV	141,17	141,17	0,00
Colinas 138 kV	142,28	142,28	0,00
Paraíso 2 138 kV	142,14	142,14	0,00
Paraíso 1 138 kV	142,14	142,00	-0,14
Miracema 500 kV	510,00	510,00	0,00

Fonte: Autor, 2021.



- Domingo/ Feriado – 21 horas:

**Tabela 5** – Influência do Compensação da UFV Miracema no Modo Noturno – Domingo às 21 horas.

<b>Barramento Influenciado</b>	<b>Tensão do Caso Base (kV)</b>	<b>Tensão com a Compensação da UFV (kV)</b>	<b>Influência da UFV (kV)</b>
SM 138kV	138,69	138,55	-0,14
Miracema 138 kV	138,55	138,55	0,00
Miranorte 138 kV	138,55	138,55	0,00
Guaraí 2 138 kV	138,97	138,83	-0,14
Colinas 138 kV	140,48	140,48	0,00
Paraíso 2 138 kV	139,66	139,52	-0,14
Paraíso 1 138 kV	139,52	139,38	-0,14
Miracema 500 kV	509,50	509,50	0,00

Fonte: Autor, 2021.

Como pode ser verificado a compensação de reativo no modo noturno pela planta fotovoltaica UFV Miracema representa, apesar de ainda limitada na transmissão, uma ferramenta extra no controle de tensão na região. Além disso, vale evidenciar que foi considerado exclusivamente a capacidade máxima de absorção de reativo de apenas uma das plantas do Complexo Fotovoltaico Miracema. Ou seja, consoante a expansão do empreendimento há o acréscimo na capacidade de geração/ absorção de potência reativa.

### 3.2.3 Influência no Controle da Tensão do Complexo Fotovoltaico Miracema - Futuro

Sendo assim, considerando a capacidade de geração e absorção de até 15,23 Mvar do Complexo Fotovoltaico Miracema, tomando horários específicos como amostragem. A influência nos níveis de tensão dos barramentos próximos para os patamares de carga de dia útil, sábado e domingo, respectivamente, pode ser verificada na tabela 6, tabela 7 e tabela 8.

- Dia Útil – 2 horas:

**Tabela 6** – Influência do Compensação do Complexo Miracema no Modo Noturno – Dia Útil às 2 horas.

<b>Barramento Influenciado</b>	<b>Tensão do Caso Base (kV)</b>	<b>Tensão com a Compensação do Complexo Fotovoltaico (kV)</b>	<b>Influência do Complexo Fotovoltaico (kV)</b>
SM 138kV	138,69	138,00	-0,69
Miracema 138 kV	138,69	138,14	-0,55
Miranorte 138 kV	138,83	138,28	-0,55
Guaraí 2 138 kV	139,66	139,24	-0,41
Colinas 138 kV	141,04	140,76	-0,28
Paraíso 2 138 kV	139,24	138,69	-0,55
Paraíso 1 138 kV	139,10	138,55	-0,55
Miracema 500 kV	509,50	509,00	-0,50

Fonte: Autor, 2021.

- Sábado – 2 horas:

**Tabela 7** – Influência do Compensação do Complexo Miracema no Modo Noturno – Sábado às 2 horas.

<b>Barramento Influenciado</b>	<b>Tensão do Caso Base (kV)</b>	<b>Tensão com a Compensação do Complexo Fotovoltaico (kV)</b>	<b>Influência do Complexo Fotovoltaico (kV)</b>
SM 138kV	138,83	138,14	-0,69
Miracema 138 kV	138,69	138,28	-0,41
Miranorte 138 kV	138,83	138,28	-0,55
Guaraí 2 138 kV	139,93	139,52	-0,41
Colinas 138 kV	141,17	141,04	-0,14
Paraíso 2 138 kV	139,93	139,38	-0,55
Paraíso 1 138 kV	139,79	139,24	-0,55
Miracema 500 kV	509,50	509,00	-0,50

Fonte: Autor, 2021.

- Domingo/ Feriado – 1 horas:

**Tabela 8** – Influência do Compensação do Complexo Miracema no Modo Noturno – Domingo à 1 hora.

<b>Barramento Influenciado</b>	<b>Tensão do Caso Base (kV)</b>	<b>Tensão com a Compensação do Complexo Fotovoltaico (kV)</b>	<b>Influência do Complexo Fotovoltaico (kV)</b>
SM 138kV	138,69	138,00	-0,69
Miracema 138 kV	138,69	138,14	-0,55
Miranorte 138 kV	138,69	138,14	-0,55
Guaraí 2 138 kV	139,66	139,24	-0,41
Colinas 138 kV	141,04	140,90	-0,14
Paraíso 2 138 kV	138,97	138,55	-0,41
Paraíso 1 138 kV	138,83	138,41	-0,41
Miracema 500 kV	509,50	509,00	-0,50

Fonte: Autor, 2021.

Como pode ser constatado a operação em modo noturno pelo complexo fotovoltaica representa uma ferramenta considerável no controle de tensão na região. Sendo capaz de influenciar positivamente no controle de tensão de barramentos relativamente distantes do ponto de conexão com a usina, inclusive no sistema de transmissão 500 kV de Miracema.

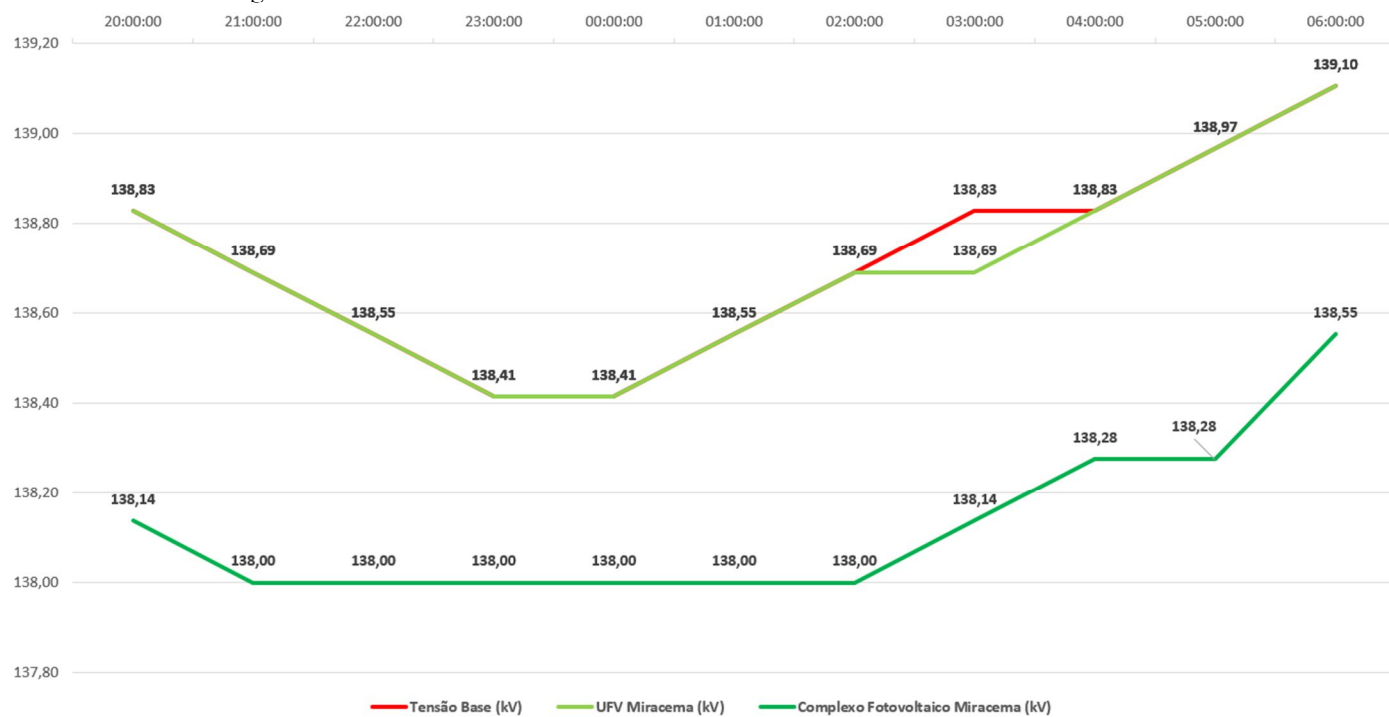
Ademais, acerca da operação da planta, vale rememorar que a grandeza gerada/ absorvida pela planta pode ser configurada com base no modo operativo definido para os inversores. Assim, os limites de compensação podem ser ajustados, manual ou automaticamente, conforme a demanda da rede, somando qualidade, confiabilidade e flexibilidade a operação do sistema.

#### 3.2.4 Comparativo da Influência no Controle da Tensão dos Barramentos

Através das curvas de carga horárias por barramento, ilustradas nas figuras de 21 a 32, é possível verificar a relevância do suporte de reativo das plantas fotovoltaicas para o controle da tensão nos barramentos que interligam a linha na qual a usina está conectada.

- Dia Útil:

Figura 21 – Controle da Tensão no Barramento da UFV Miracema 138 kV – Dia Útil.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 22 – Controle da Tensão no Barramento Miracema 138 kV – Dia Útil.



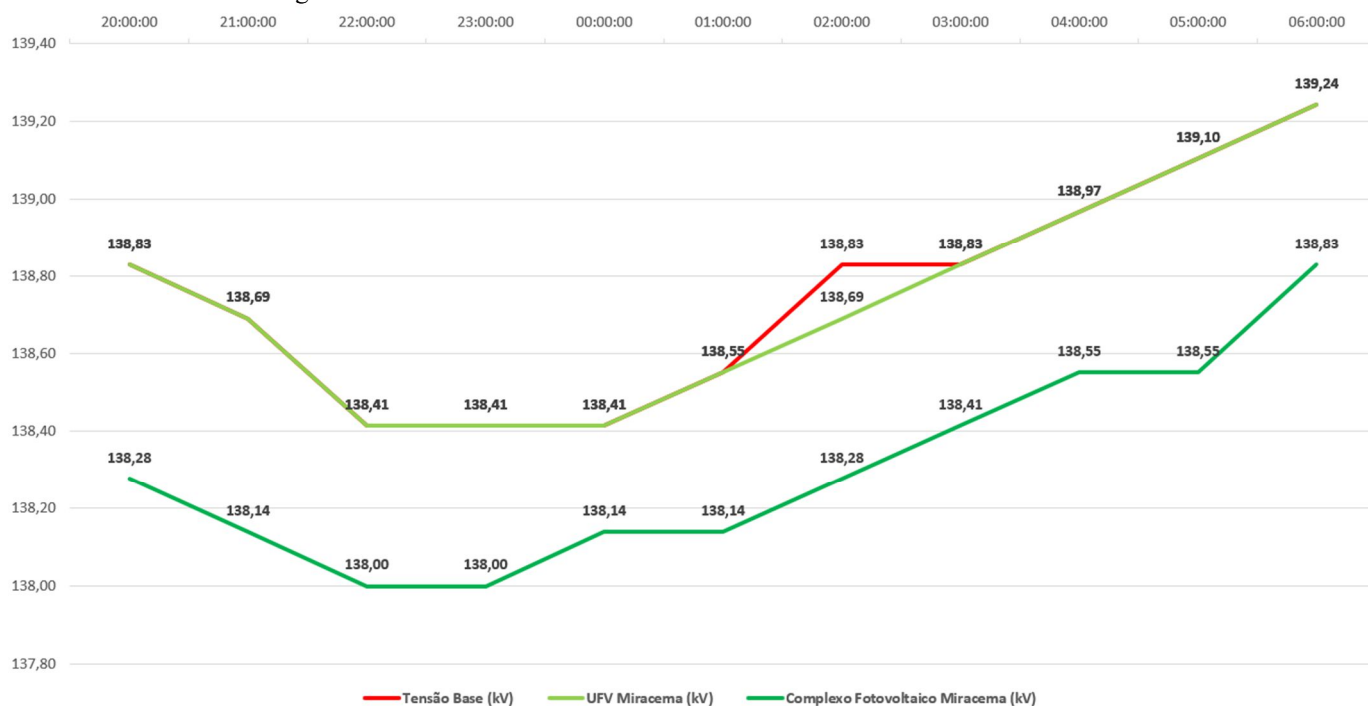
Fonte: Autor, 2021.

Figura 23 – Controle da Tensão no Barramento Paraíso 2 138 kV – Dia Útil.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 24 – Controle da Tensão no Barramento Miranorte 138 kV – Dia Útil.



Fonte: Autor, 2021.

Através das curvas de tensão no patamar de carga de dia útil, figuras 21 a 24, é verificado uma influência visível da UFV Miracema em alguns horários em todos os

barramentos mais próximos ao ponto de conexão que, apesar de reduzidas, representa, no mínimo, uma mitigação das perdas na transmissão. Enquanto ao controle da tensão pelo Complexo Fotovoltaico Miracema é constatado uma redução dos níveis de tensão expressivo em todos os barramentos durante o período proposto.

Além disso, vale ressaltar a ocorrência verificada no barramento Paraíso 2, no qual foi observado o efeito de subtensão pelo efeito da compensação do empreendimento para ambos os casos no período de 00:00. Contudo, em um sistema real isso não ocorreria devido a possibilidade de controle da compensação por limite de tensão.

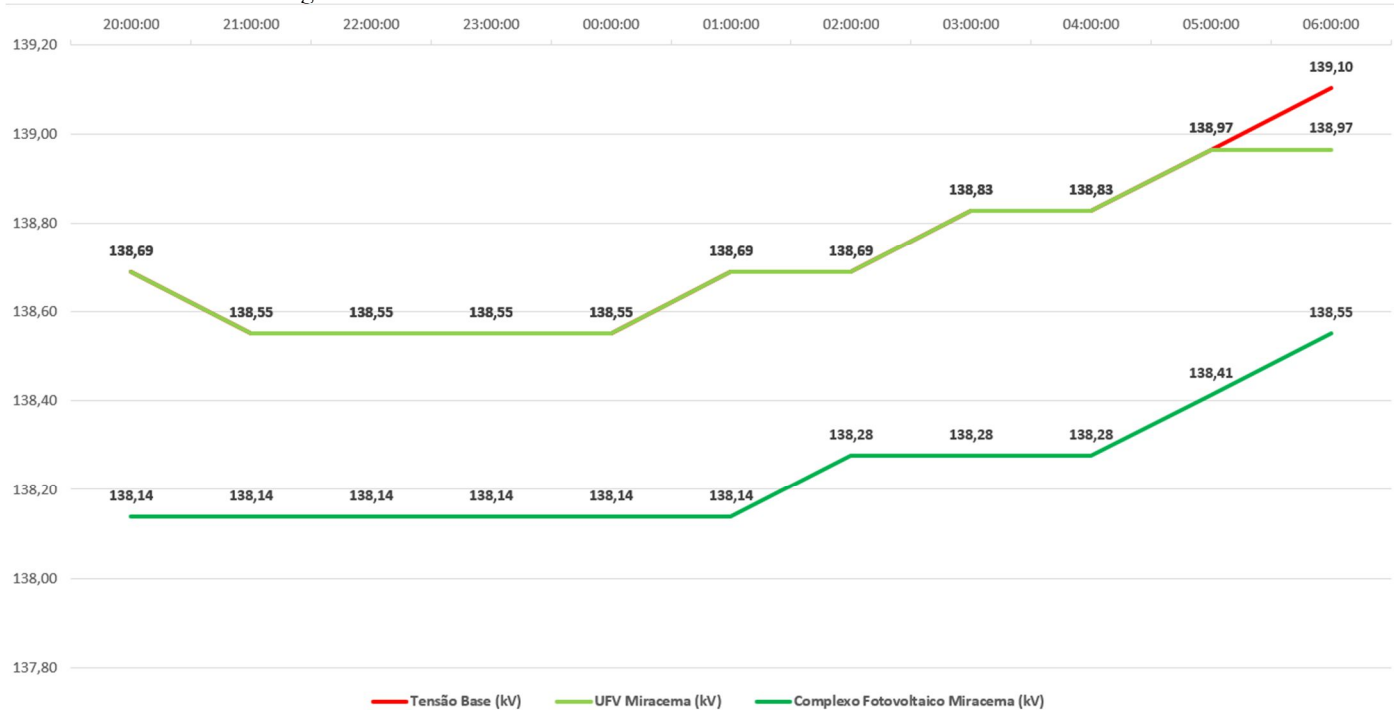
- Sábado:

Figura 25 – Controle da Tensão no Barramento da UFV Miracema 138 kV – Sábado.



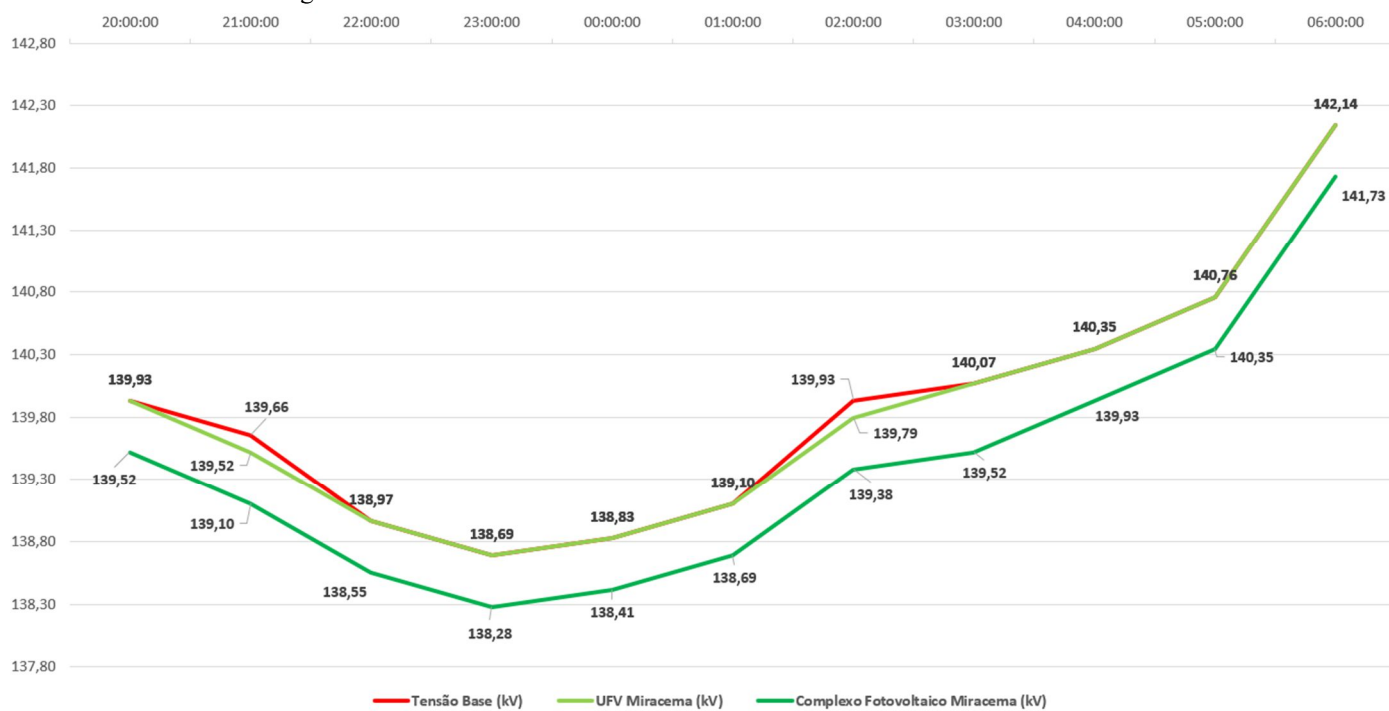
Fonte: Autor, 2021.

Figura 26 – Controle da Tensão no Barramento Miracema 138 kV – Sábado.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 27 – Controle da Tensão no Barramento Paraíso 2 138 kV – Sábado.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 28 – Controle da Tensão no Barramento Miranorte 138 kV – Sábado.



Fonte: Autor, 2021.

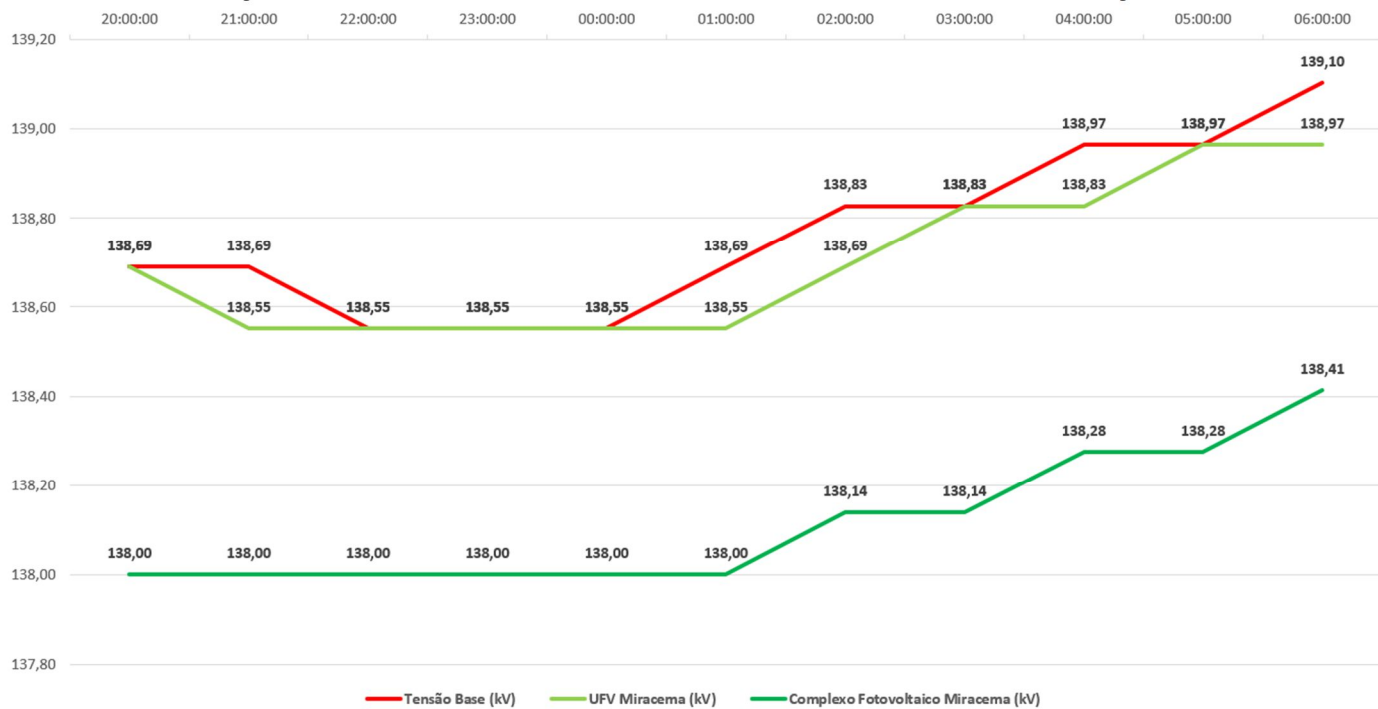
Através das curvas de tensão no patamar de carga de sábado, figuras 25 a 28, é verificado uma influência visível da UFV Miracema em alguns horários em todos os barramentos mais próximos ao ponto de conexão, com exceção do barramento de Miranorte.

Contudo, no caso do Complexo Fotovoltaico Miracema é constatado novamente uma redução dos níveis de tensão expressivo em todos os barramentos durante o período proposto.



- Domingo/ Feriado:

Figura 29 – Controle da Tensão no Barramento da UFV Miracema 138 kV – Domingo.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 30 – Controle da Tensão no Barramento Miracema 138 kV – Domingo.



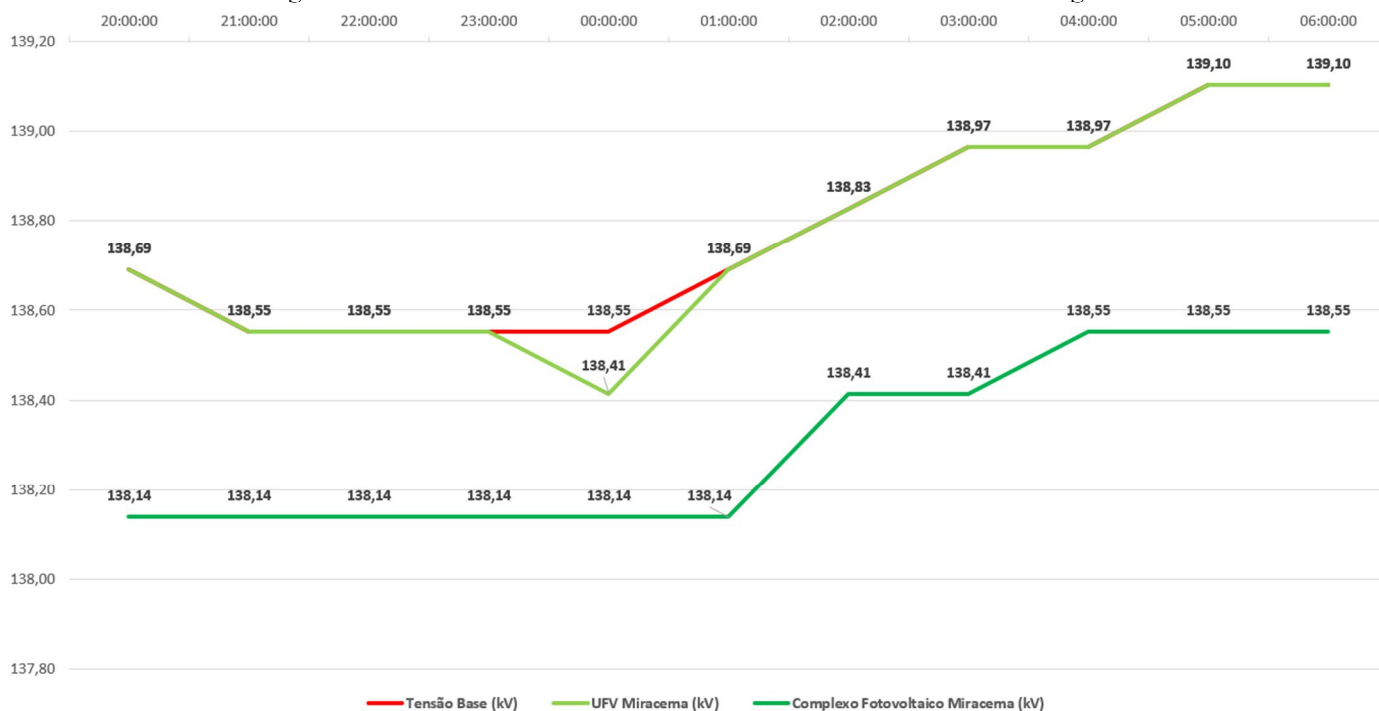
Fonte: Autor, 2021.

Figura 31 – Controle da Tensão no Barramento Paraíso 2 138 kV – Domingo.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 32 – Controle da Tensão no Barramento Miranorte 138 kV – Domingo.



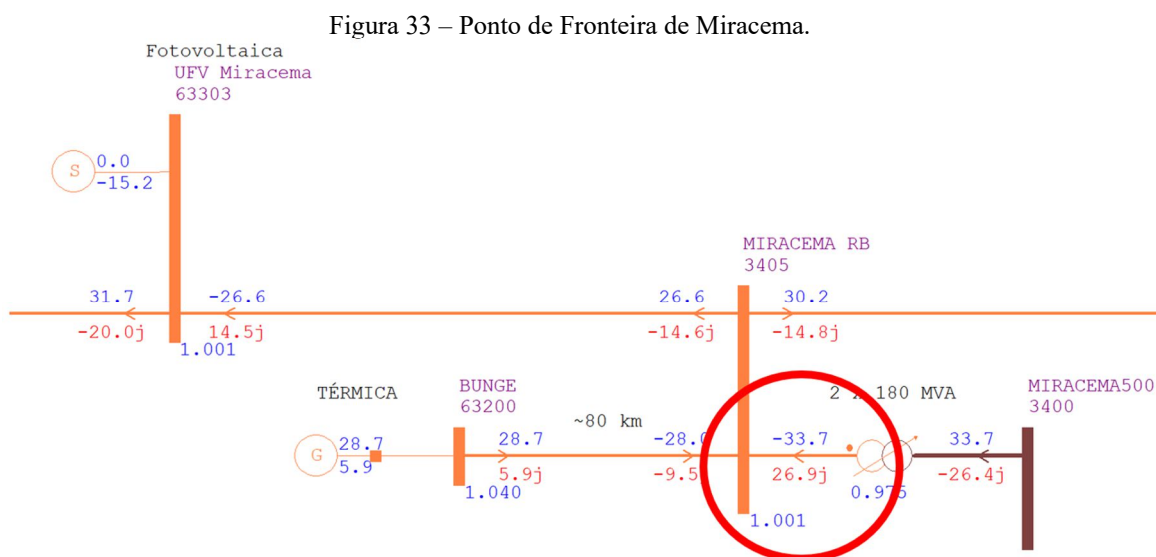
Fonte: Autor, 2021.

Através das curvas de tensão no patamar de carga de domingo/ feriado, figuras 29 a 32, é verificado uma influência visível da UFV Fotovoltaico Miracema nos barramentos

mais próximos ao ponto de conexão. Logo, contribuindo de forma eficiente no controle da tensão mesmo com o potencial atual do empreendimento. Enquanto ao controle da tensão pelo Complexo Fotovoltaico Miracema é constatado uma redução dos níveis de tensão expressivo em todos os barramentos durante o período proposto.

### 3.2.5 Influência na Correção do Fator de Potência do Complexo Fotovoltaico Miracema

Levando em conta apenas a capacidade máxima de compensação no modo noturno do Complexo Fotovoltaico Miracema, devido a melhor visibilidade do potencial na correção do fator de potência. E considerando o ponto de conexão com a rede de suprimento da região como referência, sinalizado na figura 33, definido como representação para a influência na rede em anel.



Fonte: Autor, 2021.

A influência do empreendimento na correção do fator de potência pode ser verificada na tabela 9, tabela 10 e tabela 11, respectivamente, para os patamares de carga de dia útil, sábado e domingo.

**Tabela 9** – Influência do Complexo Miracema no FP no Ponto de Fronteira de Miracema – Dia Útil.

Horário	Caso Base			Complexo Fotovoltaico Miracema		
	MW	Mvar	FP	MW	Mvar	FP
20:00:00	34,1	-41,2	0,6376	33,8	-29,3	0,7556
21:00:00	38,5	-39,4	0,6989	38,1	-27,6	0,8098
22:00:00	45,0	-37,7	0,7665	44,7	-28,7	0,8415
23:00:00	45,6	-36,7	0,7790	45,4	-28,9	0,8436
00:00:00	44,3	-36,6	0,7709	44,1	-28,8	0,8373
01:00:00	40,5	-37,7	0,7320	40,2	-28,2	0,8187
02:00:00	36,1	-39,5	0,6746	35,7	-27,5	0,7922
03:00:00	32,5	-40,3	0,6278	32,1	-29,3	0,7386
04:00:00	30,5	-41,3	0,5941	30,2	-31,4	0,6932
05:00:00	28,0	-42,4	0,5511	27,7	-31,1	0,6651
06:00:00	21,2	-44,6	0,4293	20,9	34,6	0,5170

Fonte: Autor, 2021.

**Tabela 10** – Influência do Complexo Miracema no FP no Ponto de Fronteira de Miracema – Sábado.

Horário	Caso Base			Complexo Fotovoltaico Miracema		
	MW	Mvar	FP	MW	Mvar	FP
20:00:00	37,3	-39,5	0,6866	36,9	-27,3	0,8039
21:00:00	37,7	-38,7	0,6978	37,3	-27,4	0,8059
22:00:00	36,9	-37,3	0,7033	36,6	-27,5	0,7995
23:00:00	38,1	-37,5	0,7127	37,8	-27,8	0,8056
00:00:00	39,8	-38,0	0,7233	39,5	-28,2	0,8139
01:00:00	37,1	-38,9	0,6902	36,7	-27,8	0,7971
02:00:00	33,3	-40,5	0,6351	32,9	-29,5	0,7445
03:00:00	30,6	-40,8	0,6000	30,2	-29,1	0,7201
04:00:00	27,7	-41,6	0,5542	27,4	-31,0	0,6623
05:00:00	24,8	-42,6	0,5031	24,4	-30,6	0,6234
06:00:00	18,9	-45,0	0,3872	18,6	-34,3	0,4767

Fonte: Autor, 2021.

**Tabela 11** – Influência do Complexo Miracema no FP no Ponto de Fronteira de Miracema – Domingo.

Horário	Caso Base			Complexo Fotovoltaico Miracema		
	MW	Mvar	FP	MW	Mvar	FP
20:00:00	33,2	-38,5	0,6531	32,8	-26,7	0,7755
21:00:00	35,9	-38,1	0,6858	35,6	-27,2	0,7946
22:00:00	38,5	-36,9	0,7219	38,1	-27,7	0,8088
23:00:00	39,7	-36,8	0,7334	39,5	-28,0	0,8158
00:00:00	36,8	-37,5	0,7004	36,5	-27,6	0,7976
01:00:00	34,5	-38,1	0,6712	34,2	-27,3	0,7815
02:00:00	30,9	-40,1	0,6104	30,6	-29,1	0,7246
03:00:00	28,3	-40,7	0,5709	28,7	-28,7	0,7071
04:00:00	26,0	-41,5	0,5309	25,6	-30,7	0,6404
05:00:00	22,7	-42,4	0,4720	22,4	-30,3	0,5945
06:00:00	16,9	-41,6	0,3764	16,6	-30,8	0,4744

Fonte: Autor, 2021.

Sumariamente, o efeito da redução do fator de potência pela compensação em percentual para todos os patamares está representado na tabela 12.

**Tabela 12** – Percentual de Redução do FP no Ponto de Fronteira de Miracema.

Horário	Dia Útil	Sábado	Domingo/ Feriado
20:00:00	18,51%	17,09%	18,75%
21:00:00	15,87%	15,50%	15,87%
22:00:00	9,78%	13,68%	12,03%
23:00:00	8,29%	13,03%	11,24%
00:00:00	8,61%	12,53%	13,88%
01:00:00	11,85%	15,50%	16,44%
02:00:00	17,43%	17,23%	18,72%
03:00:00	17,66%	20,02%	23,86%
04:00:00	16,69%	19,49%	20,63%
05:00:00	20,70%	23,92%	25,95%
06:00:00	20,44%	23,10%	26,05%

Fonte: Autor, 2021.

Por fim, é possível verificar uma influência efetiva em todas os patamares para a correção do fator de potência, representando um aumento na capacidade de transmissão dos condutores, reduzindo os custos de geração e mitigando as perdas técnicas associadas e, conseqüentemente, elevando a eficiência do sistema de transmissão de energia elétrica. Desse modo, o empreendimento fotovoltaico mostra-se eficaz na

melhoria da qualidade da energia elétrica e elevando a capacidade do sistema de transmissão de reagir a possíveis contingências.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mudança do perfil dos parques geradores, relativa à crescente participação de fontes renováveis intermitentes na matriz energética nacional, torna indispensável os estudos dos benefícios e impactos ocasionados pela inserção dessas plantas em grande escala na estabilidade e operação do sistema elétrico.

À vista disso, através dos resultados obtidos por meio da simulação da incorporação da potência máxima de absorção da UFV Miracema, no modo noturno, na LT 138 kV SE Miracema ELN – SE Paraíso 2, comprova-se a eficiência da aplicação dessas plantas no controle da tensão. Na medida que, através da compensação da potência reativa excedente no SDAT 138 kV, mitigou os efeitos de sobretensão na rede e otimizou o fator de potência no ponto de conexão principal do sistema, agregando a confiabilidade do SIN.

Do ponto de vista do planejamento, o emprego desses empreendimentos como serviço ancilar de suporte de potência reativa representa, ao menos a possibilidade de postergação de investimentos da aquisição de novos equipamentos de controle de tensão, como banco de capacitores ou reatores e compensadores estáticos.

Enquanto ao ponto de vista da operação, a aplicação representa o aumento da confiabilidade e estabilidade da rede. Além do mais, em casos de contingenciamento do sistema elétrico, as plantas fotovoltaicas simbolizam uma resposta rápida ao sistema, mitigando os efeitos do distúrbio de forma responsiva e ajustável, reduzindo a probabilidade de perdas de carga por subtensão.

Na perspectiva do agente gerador o aproveitamento corresponde a uma adição na receita do empreendimento, possibilitando a utilização do potencial ocioso significativo. É um incentivo para a implantação de novos parques geradores.

Em suma, a adoção da possibilidade da contratação dessas plantas fotovoltaicas como serviço ancilar de suporte de reativo representa uma maior confiabilidade, estabilidade, disponibilidade e flexibilidade na operação do sistema. Por conseguinte, o acréscimo de mais uma ferramenta de suporte aos agentes distribuidores e transmissores e o aumento da viabilidade financeira para os agentes geradores.

### 4.1 Trabalhos Futuros

Recomenda-se, para trabalhos futuros: o levantamento dos custos fixos e variáveis dos agentes geradores para o fornecimento do suporte de reativo para o controle da tensão; metodologia de precificação do serviço ancilar de suporte de reativo; e cálculo da redução de perdas no sistema de transmissão.



## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. **Infográfico ABSOLAR**, [s. l.], 1 dez. 2019. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/deixearcrescer/wp-content/uploads/2019/12/ohvQK.pdf>. Acesso em: 18 maio 2020.

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. Fundamentos de Circuitos Elétricos. 5. ed. São Paulo: Mcgraw-hill Education, 2013. 894 p.

ANAREDE. 11.4.2. [S. l.]: Eletrobrás CEPEL, 2021. Disponível em: [http://www.cepel.br/pt\\_br/produtos/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm](http://www.cepel.br/pt_br/produtos/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm). Acesso em: 14 abr. 2021.

ANEEL. **SIGA – Sistema de Informações de Geração ANEEL**. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 14 maio 2021.

ANEEL. Revisão 10. **PRODIST - Módulo 8**, [S. l.], 1 jan. 2018. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo\\_8-Revis%C3%A3o\\_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9](https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9). Acesso em: 15 jun. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Setor Elétrico: Visão geral do setor**, 2016. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor/>>. Acesso em: 31 mai. 2020.

BATISTA, Henrique Schaeffer. Análise de Contingências em Sistemas Elétricos de Potência. **Monografia de Graduação em Engenharia Elétrica**, Brasília - DF, Jun 2008. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/855/4/2008\\_HenriqueSchaefferBatista.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/855/4/2008_HenriqueSchaefferBatista.pdf). Acesso em: 8 mar. 2021.

BRAUN-GRABOLLE, Priscila. A integração de sistema fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana. *In*: BRAUN-GRABOLLE, Priscila. **A integração de sistema fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2010. Disponível em: [http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese\\_Priscila\\_Braun.pdf](http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_Priscila_Braun.pdf). Acesso em: 26 maio 2020.

CEPEL. ANAREDE: Análise de Redes Elétricas. *In*: CEPEL. **ANAREDE**. [S. l.], 2018. Disponível em: [http://www.cepel.br/pt\\_br/produtos/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm](http://www.cepel.br/pt_br/produtos/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm). Acesso em: 28 nov. 2020.

CIMA, Fernando Monteiro. **Utilização de Indicadores Energéticos no Planejamento Energético Integrado**. 2006. Dissertação (Mestrado em ciências em planejamento energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2006. Disponível em: [http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Fernando\\_Monteiro\\_Cima.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Fernando_Monteiro_Cima.pdf). Acesso em: 24 maio 2020.

ELIAS, Karine M. **Torre de Transmissão de Energia Elétrica**: Novo design e os desafios da inserção no contexto urbano. 2015. Dissertação (Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2015. Disponível em: <http://www.pos.dees.ufmg.br/defesas/1005M.PDF>. Acesso em: 18 maio 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Recursos Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050 Energéticos. **Recursos Energéticos**, Rio de Janeiro, 1 set. 2018. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR\\_RecursosEnergeticos%202050.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR_RecursosEnergeticos%202050.pdf). Acesso em: 14 maio 2020.

GOOGLE Earth. [S. l.]: Google, 2021. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 14 abr. 2021.

JUNIOR, Aparecido Pereira Borges *et al.* APLICAÇÃO DE FLUXO DE POTÊNCIA NO NÍVEL DE SUBESTAÇÃO À SISTEMAS DE POTÊNCIAS REAIS. *In*: JUNIOR, Aparecido Pereira Borges *et al.* **APLICAÇÃO DE FLUXO DE POTÊNCIA NO NÍVEL DE SUBESTAÇÃO À SISTEMAS DE POTÊNCIAS REAIS**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, [S. l.], 2009. Disponível em: <http://www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/25.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2021.

KAGAN, Nelson et al. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. São Paulo: Blucher, 2005. 172 p.

MENEZES, Victor Prangiel de. **Linhas de Transmissão de Energia Elétrica**: Aspectos Técnicos, Orçamentários e Construtivos. 2015. TCC (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2015. Disponível em: <http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015383.pdf>. Acesso em: 18 maio 2020.

ONS. **O SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 14 mai. 2021

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. 16/08/2019. **Procedimentos de Rede**: Módulo 14 - Administração dos serviços ancilares. Disponível em: <http://www.ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede%2FM%C3%B3dulo%2014%2FSubm%C3%B3dulo%2014.1%2FSubm%C3%B3dulo%2014.1%202019.08.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2019.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. 16/08/2019. **Procedimentos de Rede**: Submódulo 3.6 – Requisitos técnicos mínimos para a conexão às instalações de transmissão, [S. l.], 16 ago. 2019.

REIS, CIRO MARQUES. **Diversificação da Matriz Energética Brasileira**: Caminho para a Segurança Enegetica em Bases Sustentáveis. Rio de Janeiro, 16 jul. 2015. Disponível em: [http://midias.cebri.org/arquivo/diversifica%C3%A7%C3%A3o-matriz-energetica\\_vol1.pdf](http://midias.cebri.org/arquivo/diversifica%C3%A7%C3%A3o-matriz-energetica_vol1.pdf). Acesso em: 14 maio 2020.

RELATÓRIO DE TESTE ABNT NBR 16150. In: ZHANG, Dora et al. Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição: Procedimento de ensaio de conformidade. China: [s. n.], 2019. Disponível em: [https://www.docsity.com/pt/testes-do-inmetro-do-inversor-inversor-solar-huawei-sun2000/5767044/?utm\\_source=generic&utm\\_medium=button&utm\\_campaign=document\\_share](https://www.docsity.com/pt/testes-do-inmetro-do-inversor-inversor-solar-huawei-sun2000/5767044/?utm_source=generic&utm_medium=button&utm_campaign=document_share). Acesso em: 19 abr. 2021.

REZENDE, Paulo H. O.; SANTILHO, Fabrício P.; VASCONCELOS, Lucas E.; SILVA, Thiago V. Compensação de Reativos em Linhas de Transmissão Utilizando Compensadores Estáticos Fixos. **Compensação de Reativos em Linhas de Transmissão Utilizando Compensadores Estáticos Fixos**, [s. l.], 25 set. 2013.

RODRÍGUEZ, Yuri Percy Molina. **Minimização do Custo do Serviço de Potência Reativa Fornecida pelos Geradores Levando em Conta a Reserva de Potência**. 2005. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia de Eletricidade) - Universidade Federal do Maranhão, [S. l.], 2005. Disponível em: <http://tedebc.ufma.br:8080/jspui/bitstream/tede/378/1/Yuri%20Percy%20Molina%20Rodriguez.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2020.

SCHMIDT, Rhaony José dos Santos. **Desligamento de Linhas de Transmissão para Controle de Tensão**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10028928.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2020.

SILVA, Daniel Gomes da. **INTEGRAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO EM UMA EMPRESA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.  
SNAIDER, André; DE ABREU, Lucia Mariana de Souza; DA SILVA, Luiz Felipe Ferreira Marques; HERSZTERG, Karina Stockler; NEVES, Patrícia Silva; MARTINS, Rodrigo Silva. Utilização de Usina Renovável como Compensador de Potência Reativa Conectada ao SIN. XIV Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Pernambuco, p. 1-9, 30 set. 2018.

SILVA, Marcos César Isoni. **Correção Do Fator De Potência De Cargas Industriais Com Dinâmica Rápida**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal De Minas Gerais, [S. l.], 2009. Disponível em: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/129M.PDF>. Acesso em: 3 maio 2021.

SOUZA, Thales. Valoração do fornecimento de serviços ancilares a partir de usinas hidroelétricas. In: SOUZA, Thales. **Valoração do fornecimento de serviços ancilares a partir de usinas hidroelétricas**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2006. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-07122006-144442/publico/tese\\_final\\_thales\\_sousa\\_revisada\\_09\\_10.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-07122006-144442/publico/tese_final_thales_sousa_revisada_09_10.pdf). Acesso em: 7 jun. 2020.

## ANEXO A - FICHA TÉCNICA DO INVERSOR SUN2000-185KTL

### SUN2000-185KTL-INH0 Inversor inteligente de string



9  
MPP Trackers



99.0%  
Max. Eficiência



Gerenciamento a  
Nível de String



Suporte para  
Diagnóstico Inteligente  
de Curva I-V



Suporte  
MBUS



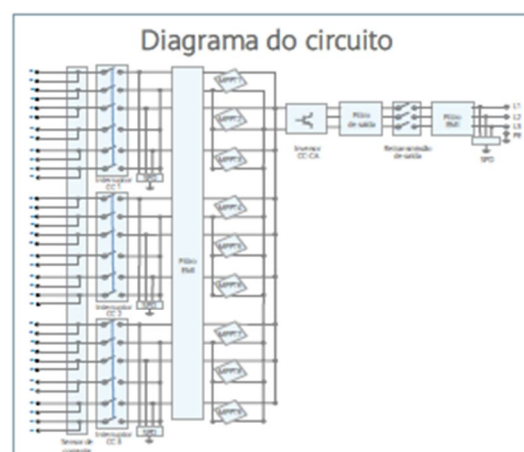
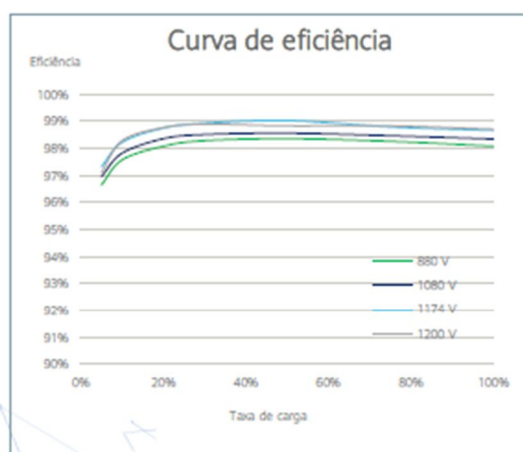
Design  
Livre de Fusíveis



DPS para  
CC & CA



Proteção  
IP66



SUN2000-185KTL-INHO  
Especificações Técnicas

Eficiência	
Eficiência máxima	99.03%
Eficiência europeia	98.66%
Entrada	
Tensão máxima de entrada	1,500 V
Corrente máx. por MPPT	26 A
Corrente de curto-circuito máx. por MPPT	40 A
Tensão de início	550 V
Faixa de tensão operacional do MPPT	500 V ~ 1,500 V
Tensão nominal de entrada	1,080 V
Número de entradas	18
Número de MPP Trackers	9
Saída	
Energia ativa CA nominal	160,000 W @50°C
Energia CA aparente máxima	185,000 VA
Tensão nominal de saída	800 V, 3W + PE
Frequência de rede CA nominal	50 Hz / 60 Hz
Corrente nominal de saída	115.5 A
Corrente de saída máxima	134.9 A
Faixa de ajuste do Fator de potência	0.8 LG ... 0.8 LD
Distorção harmônica total máxima	< 3%
Proteção	
Dispositivo de desconexão lateral de entrada	Sim
Proteção anti-ilhamento	Sim
Proteção contra sobrecorrente CA	Sim
Proteção de polaridade CC reversa	Sim
Monitoramento de falha de string de matriz FV	Sim
DPS CC	Classe II
DPS CA	Classe II
Detecção de resistência de isolamento CC	Sim
Unidade de monitoramento de corrente residual	Sim
Comunicação	
Visor	Indicadores de LED, Bluetooth/WLAN + APP
USB	Sim
MBUS	Sim
RS485	Sim
Geral	
Dimensões (L x A x P)	1,035 x 700 x 365 mm (40.7 x 27.6 x 14.4 inch)
Peso (com placa de montagem)	84 kg (185.2 lb.)
Intervalo de temperatura operacional	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Método de resfriamento	Resfriamento Inteligente por ar
Altitude máx. de operação	4,000 m (13,123 ft.)
Umidade relativa	0 ~ 100%
Conector CC	Staubli MC4 EVO2
Conector CA	Conector Impermeável + Terminal OT/DT
Grau de proteção	IP66
Topologia	Sem transformador
Conformidade com padrões (Mais disponível à petição)	
Certificado	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 62910, IEC 60068, IEC 61683, IEC 61727, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150, ABNT NBR IEC 62116




# ANEXO B – RELATÓRIO DE TESTE ABNT NBR 16150 DO INVERSORES SUN2000



**BUREAU  
VERITAS**

## RELATÓRIO DE TESTE ABNT NBR 16150

Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade

Número do relatório.....	PVBR190424N048-2
Data de emissão .....	2019-06-03
Número de páginas.....	73
Laboratório de testes.....	Bureau Veritas Shenzhen Co., Ltd. Dongguan Branch
Endereço .....	No. 34, Chenwulu Section, Guantai Rd., Houjie Town, Dongguan City, Guangdong 523942, China
	 
Nome do cliente .....	Huawei Technologies Co., Ltd.
Endereço .....	Administration Building, Headquarters of Huawei Technologies Co., Ltd., Bantian, Longgang District, Shenzhen, 518129, P.R.C
Especificação do teste	
Norma.....	ABNT NBR 16149:2013 ABNT NBR 16150:2013 IEC 62116:2008, EN 62116:2011, DIN EN 62116:2012, ABNT NBR IEC 62116:2012 Incluindo o teste para "Portaria nº 004, de 04 de janeiro de 2011 / Portaria nº 357 de 01 de agosto de 2014 teste 15 e 16 com base em IEC 62109-1"
Certificado.....	Certificado de conformidade
Teste número formulário .....	ABNT NBR 16150
Master TRF .....	Bureau Veritas Consumer Products Services Germany GmbH
Descrição do item de teste.....	SOLAR INVERTER
Marca comercial.....	 HUAWEI
Modelo.....	SUN2000-10KTL-M0, SUN2000-12KTL-M0, SUN2000-15KTL-M0, SUN2000-17KTL-M0, SUN2000-20KTL-M0, SUN2000-10KTL-M2, SUN2000-12KTL-M2, SUN2000-15KTL-M2, SUN2000-17KTL-M2, SUN2000-20KTL-M2
<small>This report is governed by, and incorporates by reference, CPS Conditions of Service as posted at the date of issuance of this report at <a href="http://www.bureauveritas.com/home/about-us/our-conditions-of-service">http://www.bureauveritas.com/home/about-us/our-conditions-of-service</a> and is intended for your exclusive use. Any copying or replication of this report to or for any other person or entity, or use of our name or trademark, is permitted only with our prior written permission. This report sets forth our findings solely with respect to the test samples identified herein. The results set forth in this report are not indicative or representative of the quality or characteristics of the lot from which a test sample was taken or any similar or identical product unless specifically and expressly noted. Our report includes all of the tests requested by you and the results thereof based upon the information that you provided to us. Measurement uncertainty is only provided upon request for accredited tests. You have 60 days from date of issuance of this report to notify us of any material error or omission caused by our negligence or if you require measurement uncertainty; provided, however, that such notice shall be in writing and shall specifically address the issue you wish to raise. A failure to raise such issue within the prescribed time shall constitute your unqualified acceptance of the completeness of this report, the tests conducted and the correctness of the report contents.</small>	

Bureau Veritas Shenzhen Co., Ltd.  
Dongguan Branch

No. 34, Chenwulu Section, Guantai Rd.,  
Houjie Town, Dongguan City, Guangdong  
523942, China

Tel: +86 769 8998 2098  
Fax: +86 769 8599 1080  
Email: [customerservice.dg@cn.bureauveritas.com](mailto:customerservice.dg@cn.bureauveritas.com)



Page 1 of 73

TEST REPORT ABNT NBR VER.1





Relatório No.: PVBR190424N048-2

<b>Local de teste</b> .....	<b>Bureau Veritas Shenzhen Co., Ltd. Dongguan Branch</b>
<b>Endereço</b> .....	No. 34, Chenwulu Section, Guantai Rd., Houjie Town, Dongguan City, Guangdong 523942, China
<b>Testado por</b> (nome e assinatura) .....	Dora Zhang 
<b>Testado por</b> (nome e assinatura) .....	James Huang 
<b>Nome do fabricante</b> .....	<b>Huawei Technologies Co., Ltd.</b>
<b>Endereço da fabricante</b> .....	Administration Building, Headquarters of Huawei Technologies Co., Ltd., Bantian, Longgang District, Shenzhen, 518129, P.R.C
<b>Nome do fábrica (1)</b> .....	<b>Huawei Machine Co., Ltd.</b>
<b>Endereço da fábrica (1)</b> .....	No. 2 New City Avenue, Songshan Lake Sci. & Tech. Industry Park, 523808, Dongguan, People's Republic of China.
<b>Nome do fábrica (2)</b> .....	<b>Huazhi Machine Co.,Ltd</b>
<b>Endereço da fábrica (2)</b> .....	Zone A Yingzhan Industrial Park Kengzi Street Pingshan New District SHENZHEN GUANGDONG 518125 CHINA

Documento histórico			
Data	Referência interna	Modificação / Alterar / Estado	Revisão
2019-06-03	Dora Zhang	Relatório inicial foi escrito	0
Informação suplementar:			