

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GUSTAVO MARTINI GARCIA

ANÁLISE DE IMPACTO DE USINAS FOTOVOLTAICAS EM REDES ELÉTRICAS

Porto Alegre

2018

GUSTAVO MARTINI GARCIA

ANÁLISE DE IMPACTO DE USINAS FOTOVOLTAICAS EM REDES ELÉTRICAS

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Flávio Antônio Becon Lemos

Porto Alegre

2018

Ficha catalográfica no verso da Folha de Rosto

GUSTAVO MARTINI GARCIA

ANÁLISE DE IMPACTO DE USINAS FOTOVOLTAICAS EM REDES ELÉTRICAS

Este Projeto de Diplomação foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Prof. Dr. Flávio Antônio Becon Lemos

Prof. Dr. Ály Flores Ferreira Filho

Aprovado em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Flávio Antônio Becon Lemos (Prof. Dr.) – UFRGS _____

Gládis Bordin (Prof^a. Dr^a.) – UFRGS _____

Igor Pasa Wiltuschnig (Prof. Me.) – UFRGS _____

Dedico este trabalho aos meus pais, Jorge e Vera, que sempre batalharam muito para garantir que eu e a minha irmã tivéssemos as melhores oportunidades de crescimento e educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Flávio Antônio Becon Lemos pelos ensinamentos, dedicação e paciência na elaboração deste trabalho e nas disciplinas por ele ministradas durante o meu período de graduação. Agradeço à UFRGS e todos os seus professores que de alguma forma impactaram na minha formação e aos colegas do curso de Engenharia Elétrica 2012/2 que apoiaram, entenderam e compartilharam experiências durante os seis anos de ensino. Em especial, agradeço ao Carlos Agusti e ao André Pereira pela amizade incondicional e momentos compartilhados nos últimos anos.

Agradeço à Tecnova Renováveis e aos colegas pelo período de trabalho que foi desenvolvido e compartilhado desde setembro de 2017. As nossas atividades fizeram despertar a minha paixão pela energia fotovoltaica e me levaram a buscar mais conhecimento acerca do tema.

Agradeço a minha namorada, Flávia, por todo o amor e noites de estudos compartilhadas. O nosso apoio mútuo vai sempre nos levar a alcançar os nossos objetivos. Agradeço também aos grandes amigos do CTBM/PA que desde 2009 fazem parte da minha vida e me fizeram crescer muito através de longos anos de amizade. Em especial, agradeço ao Fernando Elias José, psicólogo de profissão e uma excelente pessoa que me apoiou e orientou durante o último ano de graduação.

Por fim, agradeço aos meus pais, Jorge e Vera, pela educação, suporte, carinho e compreensão que sempre me forneceram, sem o inesgotável esforço e dedicação deles eu jamais teria finalizado essa etapa da minha vida. À minha querida irmã, Isadora, seu exímio caráter e devoção aos estudos impactaram muito no meu desenvolvimento pessoal e profissional até hoje.

*I dettagli fanno la perfezione e la
perfezione non è un dettaglio.*

Leonardo da Vinci

RESUMO

À medida que usinas fotovoltaicas de grande capacidade são conectadas aos sistemas de transmissão de energia elétrica, surgem questões acerca da operação em regime permanente devido a intermitência da geração de energia causado pela passagem de nuvens. Este trabalho apresenta um estudo em regime permanente dos impactos da Usina Fotovoltaica – UFV Pirapora 2, de 321 MW de potência nominal, em um sistema equivalente do norte de Minas Gerais, onde é realizado o acesso desta UFV. Para avaliar o comportamento do Complexo Pirapora 2 quando acontece sombreamento devido a presença de nuvens, foi adotada uma aproximação através da variação de despacho de potência ativa injetada na rede, considerando patamares de carga média variando em intervalos discretos de 25% até a capacidade plena. Foram selecionadas 8 contingências críticas, composta por abertura de circuitos de linhas de transmissão e transformadores, na área de influência da UFV neste sistema equivalente. A necessidade de utilizar um sistema reduzido equivalente surgiu da limitação de 40 barras da versão educacional do software *PowerWorld*[®]. Para executar a simplificação e redução da rede foi utilizada a técnica de aproximação por quadripolos equivalentes. O sistema original proposto é baseado em dados do PAR do ONS do ano de 2019 a 2023 com patamar de carga média do verão dos anos 2020/2021. Verifica-se através das simulações e análises realizadas, que a UFV Pirapora 2 é um recurso adicional para controle de tensão do SIN, e a conexão desta garante melhores níveis de tensão nas barras do sistema uma vez que a mesma conta com uma capacidade de fornecimento e absorção de 92,75 Mvar.

Palavras-chave: *PowerWorld*[®]. Quadripolos equivalentes. Usina Fotovoltaica.

ABSTRACT

As large capacity photovoltaic power plants are connected to electric power transmission systems, questions about the steady-state operation arises due to the intermittent generation of energy caused by the passage of clouds. This work presents a steady-state research of the impacts of the photovoltaic power plant – PV power plant Pirapora 2, of 321 MW of nominal power, in an equivalent system of the north of Minas Gerais, where the PV power plant is accessed. In order to evaluate the behavior of the Pirapora 2 Complex when shading occurs due to the presence of clouds, an approximation was adopted through the variation of the dispatch of active power injected into the network, considering average load levels varying in discrete intervals of 25% until full capacity. Eight critical contingencies were selected, consisting of the opening of transmission line circuits and transformers, in the area of influence of the PV power plant in this equivalent system. The need to use an equivalent reduced system arose from the 40-bar limitation of the educational version of PowerWorld® software. In order to carry out the simplification and reduction of the network, the equivalent quadruple approach technique was used. The proposed original system is based on ONS PAR data from the year 2019 to 2023 with the average summer loading threshold of the years 2020/2021. It is verified through the simulations and analyzes carried out that the PV power plant Pirapora 2 is an additional resource for voltage control of the National Interconnected System, and the connection of this guarantees better voltage levels in the system bars since it has a supply capacity and absorption of 92,75 Mvar.

Key-words: Equivalent quadruple. PV power plant. *PowerWorld*®.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Influência da radiação solar nos parâmetros elétricos de um módulo fotovoltaico.....	19
Figura 2 – Curva de geração fotovoltaica do Nordeste brasileiro no dia 11/06/2018.	20
Figura 3 - Curva de geração fotovoltaica do Sudeste/Centro-Oeste brasileiro no dia 11/06/2018.	21
Figura 4 - Potencial de geração de eletricidade solar no território europeu.....	24
Figura 5 - Potencial de geração de eletricidade solar no território brasileiro.....	24
Figura 6 – Representação da massa de ar AM1 e AM1,5.	25
Figura 7 – Circuito equivalente de célula fotovoltaica.....	26
Figura 8 – Variação da temperatura na curva I-V do módulo Canadian Solar KuMax CS3U-345P... ..	27
Figura 9 – Variação da temperatura na curva P-V do módulo Canadian Solar KuMax CS3U-345P... ..	28
Figura 10 - Variação da irradiância na curva I-V do módulo Canadian Solar KuMax CS3U-345P.....	29
Figura 11 - Variação da irradiância na curva P-V do módulo Canadian Solar KuMax CS3U-345P....	30
Figura 12 – Faixa de geração/absorção de potência reativa no ponto de conexão da central geradora.	39
Figura 13 – Requisito para atendimento ao fator de potência na faixa operativa de tensão no ponto de conexão.	40
Figura 14 – Representação de rede por quadripolo.....	41
Figura 15 – Modelo π de linha de transmissão média.....	42
Figura 16 – Representação de redes elétricas em série por meio de quadripolos.	43
Figura 17 – Complexo Fotovoltaico Pirapora 2.....	44
Figura 18 – Localização da SE Coletora Pirapora 1 no Complexo Fotovoltaico Pirapora 2.	46
Figura 19 – Diagrama Unifilar Operacional parcial da SE Coletora 1 do Complexo Fotovoltaico Pirapora 2.....	47
Figura 20 – Disposição geoeletrica das principais linhas de transmissão e SEs na vizinhança da UFV Pirapora 2.....	48
Figura 21 – Sistema elétrico de transmissão do Norte de MG.....	50
Figura 22 – Diagrama de processos de execução adotado para análise do sistema Norte de MG.	51
Figura 23 – Representação de linhas 4066-4067 e 4067-1551.....	55
Figura 24 – Representação das linhas de transmissão entre as barras 342 e 1489 na íntegra.	56
Figura 25 – Distribuição de carga de sistema radial.	58
Figura 26 – Distribuição de carga entre barras 1558 e 1569.....	59
Figura 27 - Distribuição de carga de sistema não radial.	59
Figura 28 - Distribuição de carga entre barras 1551 e 382.	60
Figura 29 – Distribuição de carga na presença de uma unidade geradora.	60
Figura 30 - Distribuição de carga entre barras 1571 e 1482.....	61
Figura 31 – Detalhamento do setor Oeste do sistema proposto via Power World [®]	67
Figura 32 – Detalhamento do setor Norte do sistema proposto via Power World [®]	68
Figura 33 – Detalhamento do setor Leste do sistema proposto via Power World [®]	69
Figura 34 - Diagrama de processos de elaboração do caso base para o sistema proposto.	70
Figura 35 – Cenários analisados na presença das contingências.....	71
Figura 36 - Diagrama de processos de execução das simulações com variação de despacho de potência ativa.	74
Figura 37 - Diagrama de processos de execução das simulações com níveis máximo de despacho de potência ativa e reativa.....	75
Figura 38 – Nível de tensão na barra 1569 para a 1ª contingência.....	83
Figura 39 - Nível de tensão na barra 1569 para a 2ª contingência.	84

Figura 40 – Nível de tensão na barra 1569 para a 3ª contingência.....	84
Figura 41 - Nível de tensão na barra 1569 para a 6ª contingência.	85
Figura 42 – Impacto da inserção de UFV no sistema com abertura da linha 4049-3007.....	87
Figura 43 - Níveis de tensão nas barras até a segunda vizinhança da UFV para a 8ª contingência.	88
Figura 44 - Níveis de tensão nas barras até a segunda vizinhança da UFV para a 8ª contingência corrigidos.....	90
Figura 45 - Nível de tensão na barra 1569 para a 8ª contingência.	92
Figura 46 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa e reativa para a 1ª contingência.	94
Figura 47 – Sistema proposto via Power World® com mitigação inicial para a 1ª contingência.	96
Figura 48 - Níveis de tensão no sistema com violação e solução adotada para a 1ª contingência.	97
Figura 49 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa e reativa para a 2ª contingência.	100
Figura 50 - Sistema proposto via Power World® com mitigação inicial para a 2ª contingência.	101
Figura 51 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa e reativa para a 3ª contingência.	103
Figura 52 – Sistema proposto via Power World® com mitigação inicial para a 3ª contingência.	105
Figura 53 – Níveis de tensão nas barras do sistema proposto para a 3ª contingência e respectiva solução.....	106
Figura 54 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa e reativa para a 6ª contingência.	108
Figura 55 - Sistema proposto via Power World® com mitigação inicial para a 6ª contingência.....	109
Figura 56 - Níveis de tensão nas barras do sistema proposto para a 6ª contingência e respectiva solução.....	110
Figura 57 – Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa e reativa para a 8ª contingência.	112
Figura 58 – Nível de tensão na barra 4049 quando submetido a retirada de reator do sistema.	114
Figura 59 – Nível de tensão em barras submetidas a conexões de reatores e capacitores para a 8ª contingência.	115
Figura 60 - Níveis de tensão nas barras do sistema proposto para a 8ª contingência sem violações de tensão.....	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Participação das principais fontes de energia elétrica no Brasil.....	17
Tabela 2 – Participação das fontes renováveis de energia elétrica no Brasil.	17
Tabela 3 – Resumo vendedor do 6º leilão de energia de reserva realizado em 31/10/2014.....	32
Tabela 4 - Resumo vendedor do 7º leilão de energia de reserva realizado em 28/08/2015.	34
Tabela 5 - Resumo vendedor do 8º leilão de energia de reserva realizado em 13/11/2015.	35
Tabela 6 - Resumo vendedor do 25º leilão de energia nova A-4 realizado em 18/12/2017.....	36
Tabela 7 - Resumo vendedor do 27º leilão de energia nova A-4 realizado em 04/04/2018.....	37
Tabela 8 – Empreendimentos que compõe o Complexo Fotovoltaico Pirapora 2 e suas principais características de LER.	45
Tabela 9 - Intervalos horários dos patamares de carga de energia.	53
Tabela 10 – Parâmetros ABCD das linhas 4066-4067, 4067-1551 e equivalente da linha 4066-1551.	55
Tabela 11 - Parâmetros ABCD das linhas equivalentes 342-1492, 1492-1493 e 1493-1489.	56
Tabela 12 - Parâmetros ABCD da linha equivalente 342-1493.	56
Tabela 13 - Parâmetros ABCD da linha equivalente 342-1489.	57
Tabela 14 – Parâmetros elétricos da linha equivalente 342-1489.	57
Tabela 15 – Barras utilizadas na simulação proposta via Power World ®.	62
Tabela 16 – Linhas de transmissão utilizadas na simulação proposta via Power World ®.	63
Tabela 17– Transformadores de potência utilizados na simulação proposta via Power World ®.	64
Tabela 18 - Reatores com controle de tensão utilizados na simulação proposta via Power World ®. ..	65
Tabela 19 - Reatores sem controle de tensão utilizados na simulação proposta via Power World ®.	65
Tabela 20 – Bancos de capacitores utilizados na simulação proposta via Power World ®.	66
Tabela 21 – Unidades geradoras utilizadas na simulação proposta via Power World ®.	66
Tabela 22 – Contingências consideradas na análise do sistema proposto.....	71
Tabela 23 – Níveis de tensão nas barras sem a presença de usinas fotovoltaicas.	72
Tabela 24 – Níveis de tensão nas barras com a presença da UFV Paracatu.	73
Tabela 25 – Restrições de tensão para o cenário 1 analisado.....	76
Tabela 26 - Restrições de tensão para o cenário 2 analisado.	77
Tabela 27 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa para a 1ª contingência.....	79
Tabela 28 – Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa para a 2ª contingência.	80
Tabela 29 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa para a 3ª contingência.....	81
Tabela 30 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa para a 6ª contingência.....	82
Tabela 31 – Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa para a 8ª contingência.	85
Tabela 32 - Níveis de tensão sem reator de 91 Mvar para diferentes despachos de ativo para a 8ª contingência.	88
Tabela 33 – Despacho de potência reativa para todas usinas na presença da 8ª contingência com variação de potência ativa.	91
Tabela 34 - Níveis de tensão das barras com máximo despacho de potência ativa e reativa para a 1ª contingência.	93
Tabela 35 - Despacho de potência reativa para todas usinas na presença da 1ª contingência.....	98
Tabela 36 - Níveis de tensão das barras com máximo despacho de potência ativa e reativa para a 2ª contingência.	98
Tabela 37 - Níveis de tensão das barras com máximo despacho de potência ativa e reativa para a 3ª contingência.	102
Tabela 38 - Despacho de potência reativa para todas usinas na presença da 3ª contingência.....	106

Tabela 39 - Níveis de tensão das barras com máximo despacho de potência ativa e reativa para a 6ª contingência.	107
Tabela 40 - Níveis de tensão das barras com máximo despacho de potência ativa e reativa para a 8ª contingência.	111
Tabela 41 - Níveis de tensão sem reator de 91 Mvar para despachos de ativo e reativo para a 8ª contingência.	113
Tabela 42 – Despachos de reativo de todas unidades geradoras no processo de mitigação para a 8ª contingência.	117

LISTA DE SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar
AM	Air Mass
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EFV	Energia Solar Fotovoltaica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ERAC	Esquema Regional de Alívio de Carga
BIG	Banco de Informações de Geração
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CRDE	Cadastro de Dados para Relacionamento Externo
FDP	Fluxo de Potência
GC	Geração Centralizada
GD	Geração Distribuída
LEN	Leilão de Energia Nova
LER	Leilão de Energia de Reserva
LT	Linha de Transmissão
MEE	Matriz de Energia Elétrica
MG	Minas Gerais
MME	Ministério de Minas e Energia
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
ONS	Operador Nacional do Sistema
PAR	Plano de Ampliação e Reforços
PU	Por Unidade
REN	Resolução Normativa
SE	Subestação
SEP	Sistemas Elétricos de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
STC	Standard Test Conditions
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
Wp	Watt-pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1.	MOTIVAÇÃO E O PROBLEMA	19
1.2.	OBJETIVOS E A ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1.	ENERGIA FOTOVOLTAICA	23
2.1.1.	Irradiância, irradiação e o sistema STC	23
2.1.2.	Características elétricas do módulo fotovoltaico	26
2.1.2.1.	<i>Circuito equivalente</i>	26
2.1.2.2.	<i>Efeito da temperatura</i>	27
2.1.2.3.	<i>Efeito da irradiância</i>	29
2.2.	LEILÕES DE ENERGIA ELÉTRICA	30
2.3.	PARQUES SOLARES NO BRASIL	31
2.4.	NORMAS DE CONEXÃO	38
2.5.	MÉTODOS DE SIMPLIFICAÇÃO DE REDES ELÉTRICAS	41
3	COMPLEXO FOTOVOLTAICO PIRAPORA 2	44
3.1.	ASPECTOS GERAIS DO EMPREENDIMENTO	44
3.2.	SE COLETORA PIRAPORA 1	46
3.3.	LOCALIZAÇÃO GEOELÉTRICA E PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO	48
4	METODOLOGIA	49
4.1.	CASO PAR 2019-2023	52
4.2.	MODELAGEM DO SISTEMA PROPOSTO	53
4.2.1.	Readequação de linhas de transmissão	54
4.2.2.	Redistribuição de cargas	58
4.2.3.	Disposição do sistema proposto via Power World®	61
4.3.	SIMULAÇÃO E ANÁLISE EM REGIME PERMANENTE	69
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO DAS SIMULAÇÕES	76
5.1.	CENÁRIO 1 – DESPACHO DE POTÊNCIA ATIVA	79
5.1.1.	Análise das contingências 1, 2, 3 e 6	79
5.1.2.	Contingência 8 – Abertura de LT 500kV 4049-3007	85
5.2.	CENÁRIO 2 – DESPACHO MÁXIMO DE POTÊNCIA ATIVA OU REATIVA	93
5.2.1.	Contingência 1 – Abertura de LT 138kV 1569-1542	93
5.2.2.	Contingência 2 – Abertura de LT 345kV 341-4051	98
5.2.3.	Contingência 3 – Abertura de TR 345kV/138kV 4051-1569	102
5.2.4.	Contingência 6 – Abertura de LT 345kV 398-4051	107

5.2.5. Contingência 8 – Abertura de LT 500kV 4049-3007.....	110
6 CONCLUSÕES	119
7 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS.....	121
8 REFERÊNCIAS	123
APÊNDICE A – PARÂMETROS DE QUADRIPOLO DAS LINHAS DE 138kV DO CASO PAR 2019-2023-VERÃO 2020/2021 MÉDIA.....	126
APÊNDICE B – PARÂMETROS DE QUADRIPOLO DAS LINHAS EQUIVALENTES DE 138kV DO MODELO PROPOSTO.....	127
APÊNDICE C - PARÂMETROS ELÉTRICOS DAS LINHAS EQUIVALENTES DE 138kV DO MODELO PROPOSTO.....	128
APÊNDICE D - DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS E PARTICIPAÇÃO DAS MESMAS ENTRE AS BARRAS DO SISTEMA.	129
APÊNDICE E – SISTEMA MODELADO VIA SOFTWARE POWER WORLD®	130
APÊNDICE F – CONTINGÊNCIAS 4, 5 E 7 PARA O 1º CENÁRIO PROPOSTO.....	131
APÊNDICE G - CONTINGÊNCIAS 4, 5 E 7 PARA O 2º CENÁRIO PROPOSTO.....	134
ANEXO A – DATASHEET DO MÓDULO KuMax CS3U-345P CANADIAN SOLAR.	137
ANEXO B – PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO DA UFV PIRAPORA 2.....	139
ANEXO C – DIAGRAMA UNIFILAR DO SISTEMA BÁSICO DE TRANSMISSÃO DE MINAS GERAIS.	149
ANEXO D – DADOS DE BARRA DO PAR 2019-2023-VERÃO 2020/2021 MÉDIA.....	150
ANEXO E – DADOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DO PAR 2019-2023-VERÃO 2020/2021 MÉDIA.	152
ANEXO F – DADOS DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA DO PAR 2019-2023-VERÃO 2020/2021 MÉDIA.....	154
ANEXO G – DADOS DE BANCOS DE CAPACITORES E REATORES DE BARRA DO PAR 2019-2023-VERÃO 2020/2021 MÉDIA.....	155
ANEXO H – DADOS DE REATORES SEM CONTROLE DE TENSÃO DO PAR 2019-2023-VERÃO 2020/2021 MÉDIA.....	156
ANEXO I – DADOS DE GERAÇÃO DO PAR 2019-2023-VERÃO 2020/2021 MÉDIA.	157
ANEXO J – DATASHEET DO INVERSOR GE LV5.	158

1 INTRODUÇÃO

Com 8.516.000 km² de extensão territorial, 208 milhões de habitantes e PIB de US\$1.798,62 bilhões o Brasil é a nona maior economia do mundo (IPRI, 2017) e em 2017 o país teve uma demanda máxima instantânea de energia elétrica igual a 85.699 MW (ONS, 2017).

A matriz de energia elétrica (MEE) brasileira é composta por um conjunto de fontes, são elas: biomassa, eólica, fóssil, hídrica, nuclear, solar, undi-elétrica. A Tabela 1 mostra que essas fontes totalizam cerca de 168.197.735 kW de capacidade instalada, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), onde aproximadamente 78% são provenientes de fontes renováveis, 16% de fontes fósseis e 6% de importações e fonte nuclear (ANEEL, 2018a). Observa-se, portanto, que a MEE do Brasil é de fato predominantemente renovável. A Tabela 2 mostra que o principal problema é que equivalentes 78% dessa parcela referem-se a fontes hídricas e, dessa forma, o país torna-se refém dos indicadores pluviométricos. Como solução surge a inserção gradativa de demais fontes intermitentes como a solar fotovoltaica e eólica via Geração Centralizada (GC), usualmente caracterizada pela conexão à rede de transmissão de energia elétrica afastada dos centros de carga, e a Geração Distribuída (GD), usualmente caracterizada pela conexão à rede de distribuição de energia elétrica próxima aos centros de carga.

Tabela 1 – Participação das principais fontes de energia elétrica no Brasil.

Fontes de Energia Elétrica	Potência Instalada (kW)	Participação(%)
Biomassa	14.648.786	
Eólica	13.194.643	
Renováveis	102.205.108	78,10%
Hídrica	131.370.755	
Solar	1.322.168	
Undi-Elétrica	50	
Fóssil	26.666.980	15,85%
Demais	26.666.980	
Nuclear	1.990.000	6,04%
Importação	10.160.000	
Total	168.197.735	100,00%

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2018a).

Tabela 2 – Participação das fontes renováveis de energia elétrica no Brasil.

Fontes de Energia Elétrica	Potência Instalada (kW)	Participação(%)	
Renováveis	Biomassa	14.648.786	11,15%
	Eólica	13.194.643	10,04%
	Hídrica	102.205.108	77,80%
	Solar	1.322.168	1,01%
	Undi-Elétrica	50	0,00%
Total	131.370.55	100,00 %	

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2018a).

Dentre os benefícios citados pelo Ministério de Minas e Energia (MME), destaca-se o que o mesmo diz respeito ao impacto econômico da GD na GC: “A expansão da geração distribuída também permite que novos investimentos na geração centralizada (como a construção de usinas e parques eólicos, e linhas de transmissão) possam ser redimensionados e realocados no tempo. Gerar energia distribuída a partir de fontes renováveis na matriz elétrica nacional significa deixar de usar fontes mais poluentes, como térmicas a combustíveis fósseis” (MME, 2015). Ainda, a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) informa que “até 2020, mais de 340 mil empregos diretos e indiretos podem ser gerados no Brasil pelo setor de energias renováveis” e salienta que somente no setor solar fotovoltaico serão criados entre 20 mil e 60 mil empregos no período de 2016 a 2020 (GAZETA DO POVO, 2016).

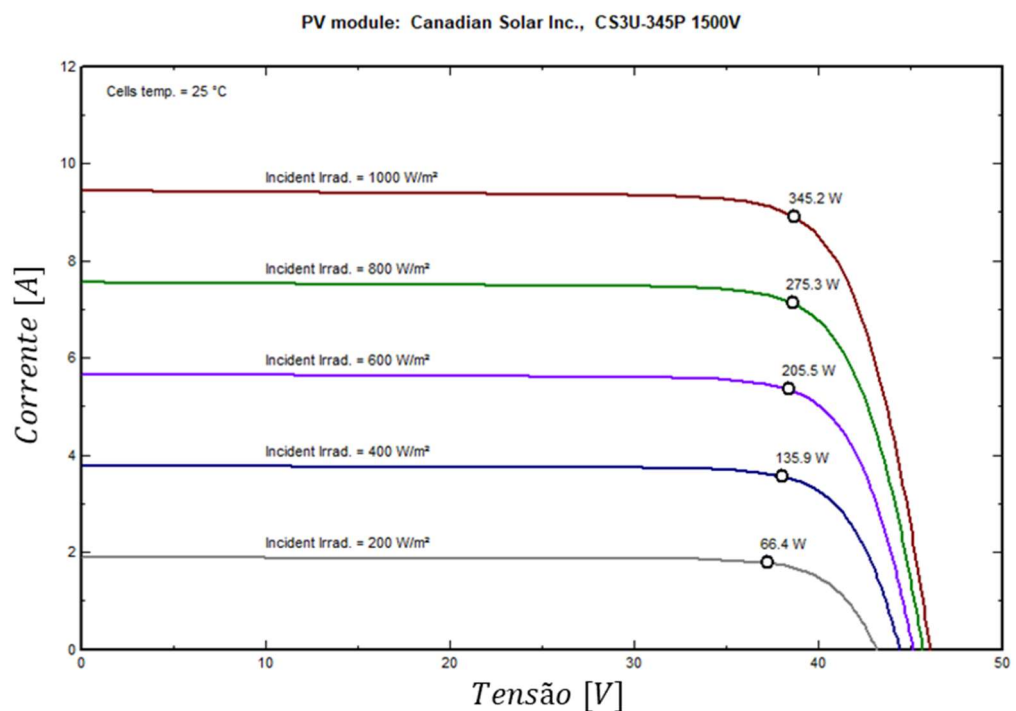
O volume de negócios com a Geração Distribuída (GD) em 2017 ultrapassou 297 MWp conduzindo o mercado a atingir o faturamento de R\$1,47 bilhões no respectivo ano e redução média de 33,77% no preço para o cliente final no período analisado de junho de 2016 a janeiro de 2018. Ao final do ano de 2017, o Brasil atinge mais de 160 MWp instalados e fiscalizados pela ANEEL no que diz respeito a GD (GREENER, 2018) .A ABSOLAR salienta “O crescimento da capacidade instalada favorece ainda a geração de empregos em toda a cadeia produtiva. Pelos cálculos do setor, para cada MW de energia solar fotovoltaica instalados, são gerados de 25 a 30 postos de trabalho” (AGÊNCIA BRASIL, 2017) .

Vale salientar que um dos marcos para a inserção das fontes renováveis provenientes de fontes eólica e solar fotovoltaica deram-se a partir da publicação da Resolução Normativa (REN) nº 482 e da REN nº 687 que estabelecem as condições gerais para acesso de microgeração e minigeração de energia elétrica ao sistema de distribuição assim como tratam do sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012, 2015a).

1.1. MOTIVAÇÃO E O PROBLEMA

A Energia Solar Fotovoltaica (EFV) é caracterizada pela conversão de luz direta em energia elétrica. “O Sol é a principal fonte de energia para a Terra. Além de ser responsável pela manutenção da vida no Planeta, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de sua utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia, como por exemplo, a térmica e a elétrica” (PINHO; GALDINO, 2014) . A fim de se estudar o procedimento da geração da EFV, deve-se primeiro analisar a influência da radiação solar na potência fornecida por um módulo ou conjunto de módulos fotovoltaicos. A Figura 1 ilustra o que segue: “a corrente elétrica que o módulo fotovoltaico pode fornecer depende diretamente da intensidade da radiação solar que incide sobre suas células” (VILLALVA, 2015a).

Figura 1 - Influência da radiação solar nos parâmetros elétricos de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Autor.

Atualmente, o Banco de Informações de Geração (BIG) informa que aproximadamente 1.322 MW da potência instalada no Brasil provem de usinas do tipo Central Geradora Solar Fotovoltaica (UFV) (ANEEL, 2018b). Desse quantitativo, aproximadamente 11% encontrava-se em operação em junho de 2017, 31% e 72% em novembro, dezembro do mesmo ano, respectivamente, e em fevereiro de 2018 o equivalente a 76% (ONS, 2018a). Esse último,

inclusive, marca o primeiro gigawatt instalado no país com EFV. Desta maneira, fica claro o acentuado crescimento do setor solar fotovoltaico. Por fim, a potência instalada em 2017 gerou o equivalente a 652 GWh no respectivo ano, enquanto que para o ano de 2018 esse valor já foi extrapolado para 1454 GWh (ONS, 2018b).

O BIG ainda informa que para os próximos anos espera-se que 1.799.511 kW de UFV entrem em operação comercial e que 59,55% destes encontram-se atualmente em construção (ANEEL, 2018b). Questionamentos acerca da estabilidade da rede elétrica surgem à medida que as conexões de UFVs tornam-se expressivas frente a MEE visto que o despacho dessas dependem de fatores meteorológicos e estão submetidas a eventos intempestivos como, por exemplo, a passagem de nuvens por grandes centrais geradoras.

A Figura 2 apresenta uma curva de geração de energia proveniente de fonte solar fotovoltaica. Nesse caso trata-se de todas UFVs do sistema Nordeste brasileiro num dia típico do mês de junho de 2018. Importante salientar que é possível analisar as intermitências na geração causadas pela passagem de nuvens.

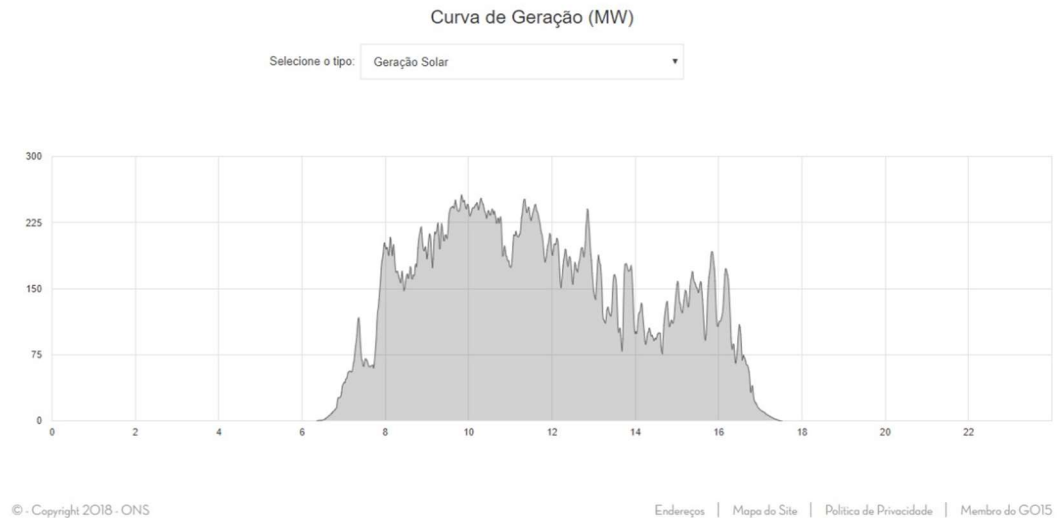
Figura 2 – Curva de geração fotovoltaica do Nordeste brasileiro no dia 11/06/2018.



Fonte: (ONS, 2018c).

A Figura 3 também apresenta uma curva de geração de energia proveniente de UFVs conectadas ao sistema Sudeste/Centro-Oeste. Salienta-se que também é possível verificar as variações na geração de energia elétrica proveniente de intermitências causada por nuvens, mas essa ilustração destaca-se de maneira mais acentuada uma vez comparada visualmente a Figura 2.

Figura 3 - Curva de geração fotovoltaica do Sudeste/Centro-Oeste brasileiro no dia 11/06/2018.



Fonte: (ONS, 2018c).

Em uma primeira etapa estima-se que a intermitência na geração causada pela passagem de nuvens possa impactar nos níveis de tensão das barras da vizinhança da conexão dos empreendimentos visto que o despacho de potência ativa é diretamente proporcional aos níveis de irradiação solar.

A fim entender esse problema, esse trabalho propõe estudar:

- Qual é o impacto nos níveis de tensão da rede elétrica em regime permanente causada pela intermitência da geração em UFVs?
- Como o ONS gere a operação da rede elétrica uma vez que o sistema está submetido a eventuais contingências e há intermitência devido à presença de nuvens implicando em diferentes níveis de despacho das UFVs?
- Qual o impacto que níveis máximos e mínimos de despacho pelas UFVs causam numa rede elétrica?

1.2. OBJETIVOS E A ESTRUTURA DO TRABALHO

Para solucionar os questionamentos propostos, busca-se meios de identificar o que ocorre com a rede elétrica à medida que surgem intermitências em UFVs. Portanto, realizar-se-á simulações com a ferramenta computacional Power World® a fim de avaliar os impactos em regime permanente causados pela variação de despacho de potência ativa e reativa da UFV

Pirapora 2, de 321 MW nominais, em um sistema modelado e baseado no sistema Norte de transmissão de energia elétrica de Minas Gerais na presença de contingências como a abertura de linhas de transmissão e transformadores.

Desta forma, este trabalho apresenta inicialmente uma revisão bibliográfica referente a EFV, formatação dos leilões de energia elétrica no Brasil, parques solares já leiloados, normas de conexão de centrais fotovoltaicas ao SIN e métodos de simplificação de redes elétricas por meio de quadripolos equivalentes em série. Na sequência apresentam-se as principais características do Complexo Fotovoltaico Pirapora 2, metodologia e respectiva modelagem do sistema proposto via Power World[®] e finaliza-se por meio dos resultados e discussões das simulações para as contingências propostas seguidos das conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo apresenta uma revisão de conceitos básicos referente a energia fotovoltaica e os impactos que a variação dos níveis de irradiação e temperatura causam na tensão e corrente do módulo fotovoltaico. Disserta-se também acerca dos leilões de energia elétrica aplicados ao Brasil onde foram leiloados todos empreendimentos solares fotovoltaicos, se comenta sobre normas de conexão vigentes para usinas fotovoltaicas e por fim são apresentados métodos de simplificação série de linhas curtas e médias de transmissão.

2.1. ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica é oriunda da conversão direta de energia solar em energia elétrica. O efeito responsável por essa conversão é nomeado efeito fotovoltaico e o principal componente responsável por essa conversão é a célula fotovoltaica (PINHO; GALDINO, 2014).

O efeito fotovoltaico ocorre em alguns materiais semicondutores como o silício (Si) – tecnologias monocristalinas e policristalinas, arsenato de gálio (GaAs), telureto de cádmio (CdTe) e silício amorfo (a-si) – tecnologias de filme fino. Os módulos oriundos do silício já acumulam cerca de 85% de todos os módulos instalados em casas e empresas no mundo em 2018 (PORTAL SOLAR, 2018). Isso deve-se em grande parte a elevada eficiência e reduzido custo frente as demais tecnologias como as de filme fino, por exemplo.

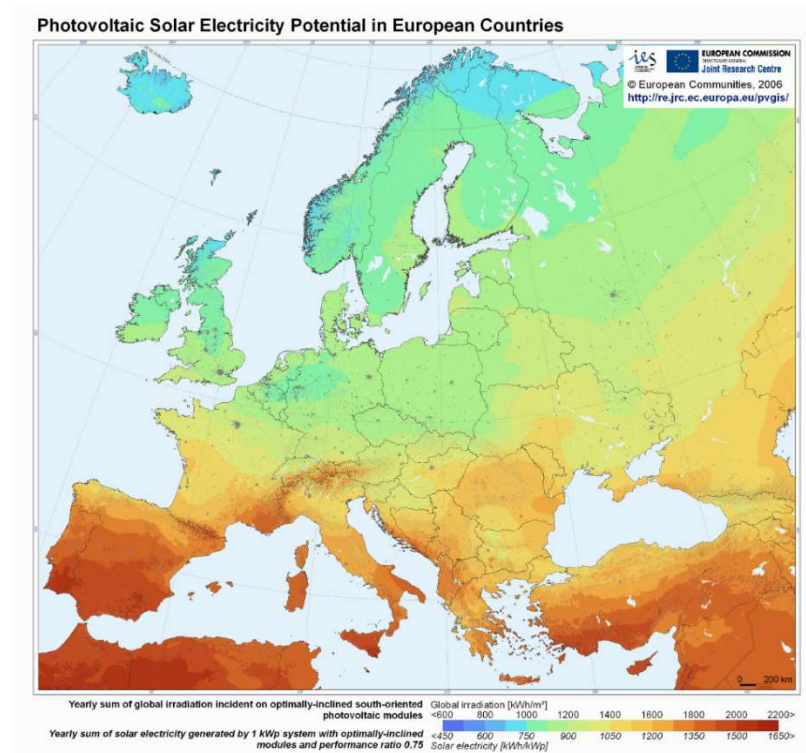
O módulo fotovoltaico possui as mesmas características da célula visto que o mesmo é a combinação série e paralela dessas. A quantidade de células por módulo pode variar dependendo do modelo, porém, os módulos comerciais mais empregados atualmente possuem 72 células.

2.1.1. Irradiância, irradiação e o sistema STC

Tanto a irradiância quanto a irradiação são taxas ou densidades por unidade de área sendo a primeira de potência e a segunda de energia dadas em W/m^2 e Wh/m^2 , respectivamente.

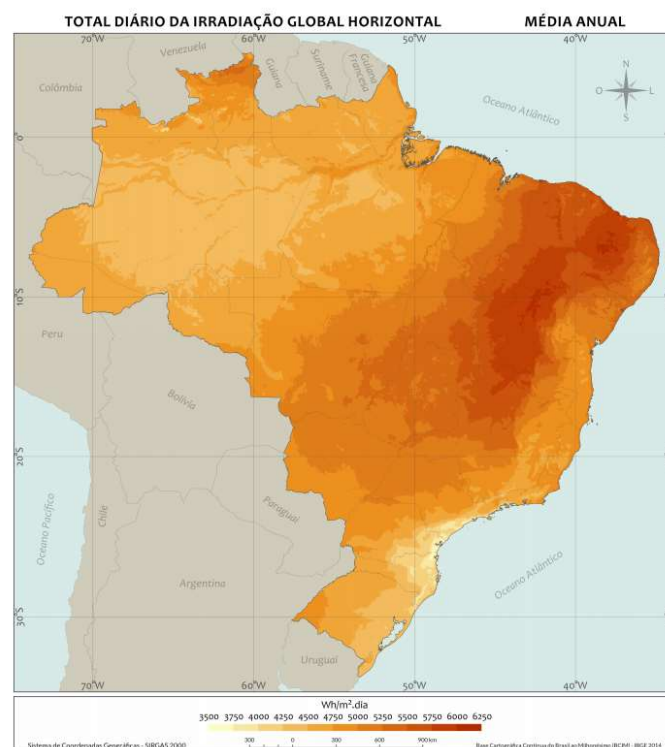
A irradiância na superfície terrestre é adotada com um valor típico de $1000 W/m^2$ (VILLALVA, 2015b) e os diferentes níveis de irradiação na Europa e no Brasil são apresentados nas Figura 4 e Figura 5, respectivamente. Por meio destas é possível verificar que o Brasil possui um potencial energético aproximadamente três vezes superior ao do território europeu uma vez comparada as localizações com maiores índices de irradiação global.

Figura 4 - Potencial de geração de eletricidade solar no território europeu.



Fonte: (ŠÚRI et al., 2007).

Figura 5 - Potencial de geração de eletricidade solar no território brasileiro.



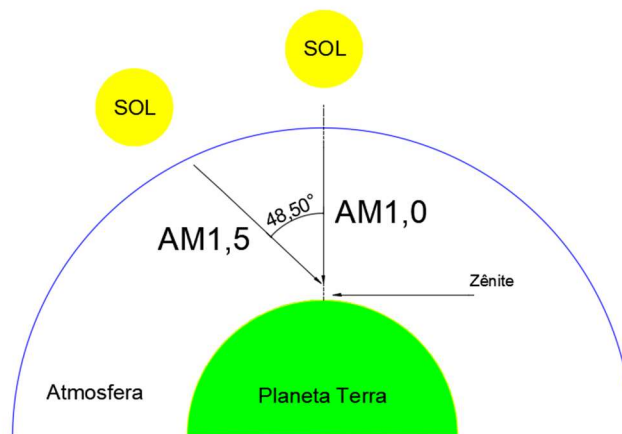
Fonte: (PEREIRA et al., 2017).

A fim de estudar a dinâmica das células fotovoltaicas e entender melhor as nomenclaturas utilizadas pelo setor solar fotovoltaico analisam-se os módulos nas condições padrões de teste STC (do inglês Standard Test Conditions) e condições de teste com temperatura nominal das células NOCT (do inglês Nominal Operating Cell Temperature).

Quando se analisa uma célula ou um módulo nas condições STC significa que o mesmo está submetido a uma irradiância de 1000 W/m^2 , operando a 25°C (temperatura da célula) e massa de ar AM (do inglês Air Mass) igual a 1,5.

A massa de ar depende do ângulo zenital do sol e representa a espessura da atmosfera atravessada pelos raios solares conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Representação da massa de ar AM1 e AM1,5.



Fonte: Adaptado de (VILLALVA, 2015b).

AM pode ser representado pela Equação (1) onde AM é a massa de ar θ_z é o ângulo zenital.

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (1)$$

“O zênite é uma linha imaginária perpendicular ao solo. O ângulo zenital do sol é zero quando ele se encontra exatamente acima do observador” (VILLALVA, 2015b, p. 40). AM0 representa a espessura de ar no topo da atmosfera, AM1 representa a espessura de ar atravessada pelos raios solares com ângulo zenital igual a zero ao nível do mar e AM1,5 “corresponde ao comportamento médio da radiação solar ao longo de um ano em países temperados do hemisfério norte” (VILLALVA, 2015b, p. 41).

As condições NOCT, por sua vez, representam condições as quais o módulo atinge em ensaios de laboratório. Ela é caracterizada por uma irradiância de 800 W/m^2 , temperatura ambiente de 20°C e vento de 1 m/s .

No capítulo 2.1.2 é apresentado os efeitos da irradiância e temperatura nos níveis de tensão e corrente do módulo fotovoltaico. Na prática sabe-se que é possível ter dias com irradiância acima de 1000 W/m^2 , porém, é muito comum trabalhar em operações com níveis inferiores a esse.

Os módulos fotovoltaicos comerciais são apresentados em faixas de potência comumente chamadas de watt-pico (Wp). Por exemplo, um módulo caracterizado com 370Wp de potência significa que ele disponibiliza 370W de potência ativa nas condições STC.

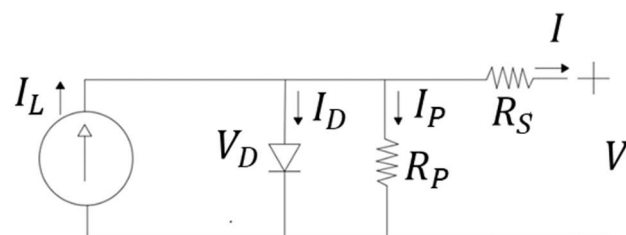
2.1.2. Características elétricas do módulo fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é um conjunto de células conectadas em série que possuem características elétricas diretamente dependentes da irradiância e da temperatura. Uma vez estudado os efeitos e características da célula é possível aplicar esses conceitos ao próprio módulo.

2.1.2.1. Circuito equivalente

Uma célula pode ser caracterizada pelo circuito equivalente mostrado na Figura 7 onde a fonte de corrente representa um gerador de corrente variável oriunda do efeito fotovoltaico, o diodo D possui as características de um diodo com junção pn no escuro, R_s caracteriza as perdas por efeito Joule na própria resistência do material semiconductor e R_p representa as perdas oriundas por correntes de fuga ou parasitas que resultam numa redução da corrente efetivamente entregue pela célula.

Figura 7 – Circuito equivalente de célula fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de (PINHO; GALDINO, 2014, p. 118).

Portanto, é possível mostrar que a corrente da célula fotovoltaica é dada pela Equação (2) onde I_L representa a corrente foto gerada pela célula em amperes, I_D representa a corrente que circula pelo diodo e I_P é a corrente parasita ou de fuga causada por impurezas e irregularidades na fabricação da célula.

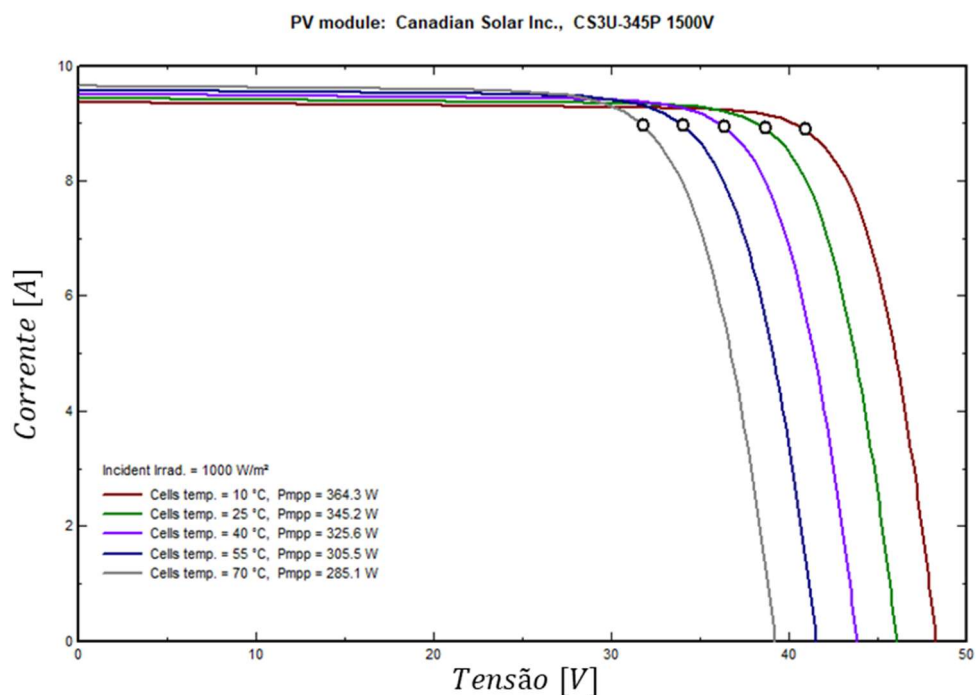
$$I = I_L - I_D - I_P \quad (2)$$

Quando se associa um determinado número de células em série se tem o modelo representativo do módulo e, a partir disso, todas considerações referentes aos efeitos de temperatura e irradiância se aplicam diretamente ao módulo também.

2.1.2.2. Efeito da temperatura

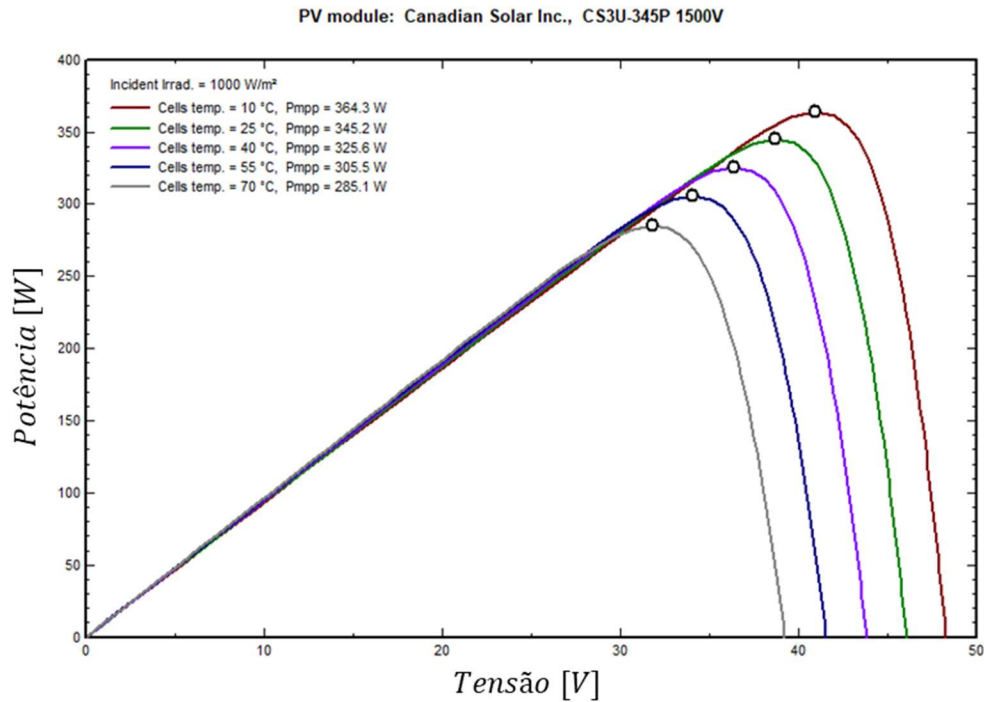
As Figura 8 e Figura 9 foram geradas no software PVsyst[®] e apresentam a influência da variação da temperatura nos níveis de tensão, corrente e potência de um módulo fotovoltaico da Canadian Solar modelo KuMax CS3U-345P. Essas curvas são representadas por curvas I-V e curvas P-V referentes as análises de corrente versus tensão e potência versus tensão, respectivamente.

Figura 8 – Variação da temperatura na curva I-V do módulo Canadian Solar KuMax CS3U-345P.



Fonte: Autor.

Figura 9 – Variação da temperatura na curva P - V do módulo Canadian Solar KuMax CS3U-345P.



Fonte: Autor.

Analisando a Figura 8, percebe-se que o impacto da temperatura é muito mais expressivo na tensão do módulo do que na corrente. À medida que a temperatura sofre uma variação positiva a tensão varia de forma negativa (PINHO; GALDINO, 2014). Isso pode ser verificado nas Equações (3), (4) e (5) onde se apresenta a corrente de curto circuito I_{SC} , a tensão de circuito aberto V_{OC} e a potência no ponto de máxima potência P_{MP} em função da temperatura do módulo. Ainda α , β e γ são, respectivamente, o coeficiente de variação da corrente de curto circuito, coeficiente de tensão de circuito aberto e coeficiente de máxima potência P_{MP} . Os coeficientes são usualmente fornecidos pelos fabricantes de módulos e demais informações técnicas como valores típicos de α , β e γ , dimensões físicas e garantias num horizonte de até 25 anos do módulo fotovoltaico KuMax CS3U-345P podem ser verificados no ANEXO A.

$$I_{SC}(T) = I_{SC_{STC}}(1 + \alpha(T - 25)) \quad (3)$$

$$V_{OC}(T) = V_{OC_{STC}}(1 + \beta(T - 25)) \quad (4)$$

$$P_{MP}(T) = P_{MP_{STC}}(1 + \gamma(T - 25)) \quad (5)$$

Por fim, a Equação (6) apresenta a temperatura do módulo em operação uma vez submetida a uma irradiância G .

$$T_{mod} = T_{amb} + K_T G \quad (6)$$

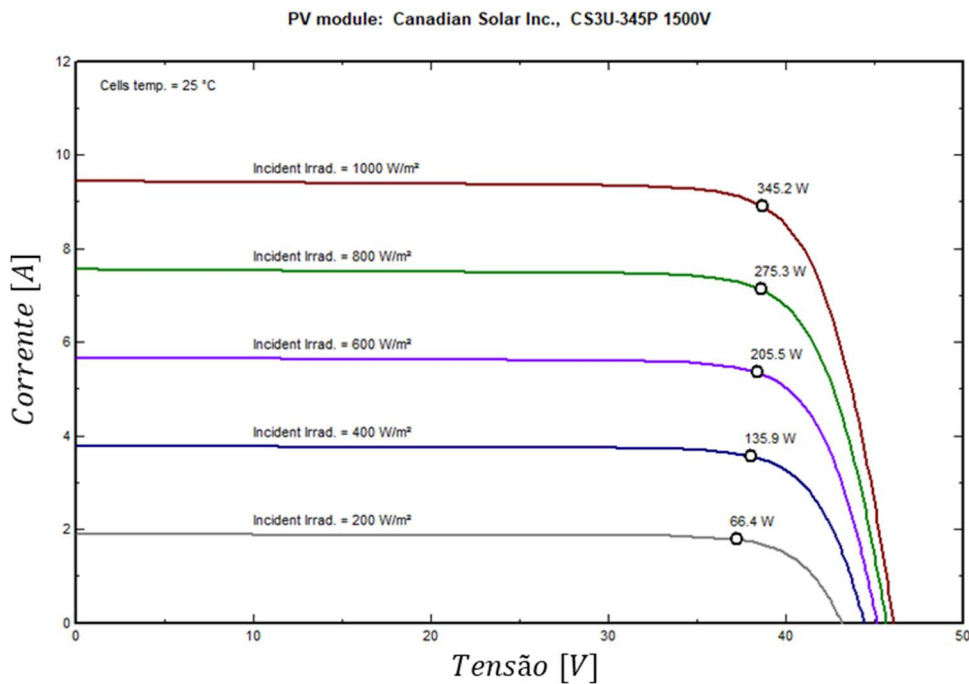
A temperatura do módulo depende da temperatura ambiente T_{amb} , da irradiância G e do coeficiente térmico do módulo K_T cujo valor típico é $0,03 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, mas também pode ser definido pela Equação (7) onde NOCT se refere a temperatura nominal da célula fornecida nos catálogos dos fabricantes.

$$K_T = \frac{NOCT - 20}{800} \quad (7)$$

2.1.2.3. Efeito da irradiância

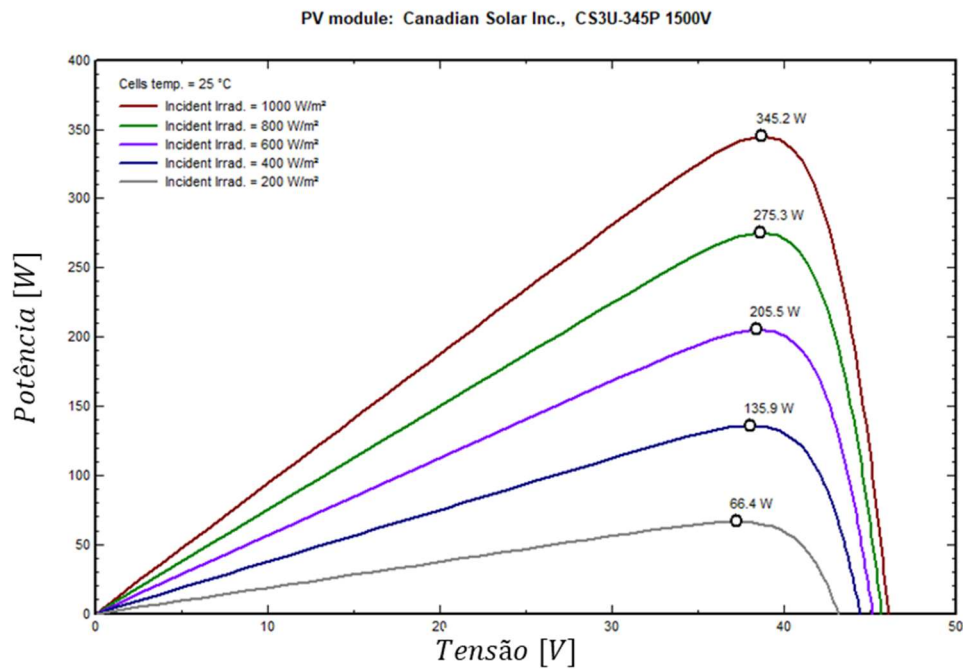
A fim de estudar os efeitos da irradiância nos módulos fotovoltaicos, se apresentam as Figura 10 e Figura 11. Nessas é possível verificar que o impacto é mais expressivo na corrente do que na tensão do módulo, contrário aos efeitos da temperatura já apresentados nesse capítulo.

Figura 10 - Variação da irradiância na curva I - V do módulo Canadian Solar KuMax CS3U-345P.



Fonte: Autor.

Figura 11 - Variação da irradiância na curva P - V do módulo Canadian Solar KuMax CS3U-345P.



Fonte: Autor.

Por meio da Equação (8) se verifica o comportamento linear entre a corrente de curto circuito I_{SC} e a irradiância representada por G .

$$I_{SC}(G) = I_{SC_{STC}} \left(\frac{G}{1000} \right) \quad (8)$$

Uma vez analisada a Figura 10 e a Figura 11 compreende-se os possíveis impactos que a transição de uma nuvem pode causar a uma UFV durante sua operação. A potência do módulo KuMax CS3U-345P reduz 40,46% quando a irradiância passa dos então 1000 W/m² para 600 W/m² em condições STC, por exemplo.

2.2. LEILÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

Por meio de leilões de energia elétrica são realizadas as concessões de novas usinas geradoras e linhas de transmissão no SIN. No Brasil, os leilões são a principal forma de contratação de energia, sendo realizados pela Câmara Comercializadora de Energia Elétrica (CCEE), por delegação da ANEEL (CCEE, [s.d.]).

Os processos de licitação realizados pela CCEE as concessionárias, permissionárias e empresas de distribuição de energia elétrica garantem o atendimento à totalidade de seu mercado no Ambiente de Contratação Regulada (ACR).

Os leilões de energia nova possuem como principal objetivo o atendimento ao contínuo crescimento da demanda de energia referente ao mercado de ACR. Neste caso as concessionárias e distribuidoras contratam energia de usinas que ainda serão construídas e entrarão em operação comercial em seis, cinco ou três anos, leilões do tipo A-6, A-5 e A-3, respectivamente.

Nos leilões de energia velha, ou existente, são licitados montantes de energia provenientes de empreendimentos antigos que já estão construídos e já foram amortizados, ao contrário do leilão de energia nova onde o investimento não se apresenta amortizado no momento da contratação. Por esse motivo, os leilões de energia existente apresentam um custo mais baixo e possui como principal objetivo atender as distribuidoras no ano que segue a contratação, leilão do tipo A-1 (CCEE, [s.d.]).

Os leilões de transmissão têm por principal objetivo licitar a expansão de linhas de transmissão e subestações da Rede Básica do SIN conforme estabelece a Resolução Normativa nº 67 (ANEEL, 2004). Apesar da REN afirmar no seu artigo 3º que somente instalações com níveis de tensão superior a 230kV integrem a Rede Básica, a presença de linhas de transmissão com níveis de tensão inferiores como 138kV, 88kV ou 69kV podem surgir em licitações quando as mesmas são de caráter estratégico para a operação do ONS.

Por fim, os leilões de energia de reserva se referem aos processos licitatórios que tem por objetivo a execução de empreendimentos que elevem a segurança no fornecimento no SIN. A energia é contratada especialmente para esse fim com o intuito de complementar o montante de energia contratado no ACR (CCEE, [s.d.]). Salienta-se que o empreendimento UFV Pirapora 2 foi licitado via leilões de energia de reserva e energia nova e os dados deste encontram-se na seção 3.1.

2.3.PARQUES SOLARES NO BRASIL

Os principais parques solares que já entraram em operação comercial ou estão em fase de construção são provenientes de Leilões de Energia de Reserva (LER) ou Leilões de Energia Nova (LEN) A-4. A Tabela 3 apresenta as principais informações referentes ao resultado do leilão LER-008/2014 para início de suprimento energético em outubro de 2017. Dentre os

empreendimentos leiloados nessa edição destaca-se as usinas Vazante 1, Vazante 2 e Vazante 3 que integram em parte o Complexo Fotovoltaico Pirapora 2, o qual é a UFV sendo analisada neste trabalho.

Tabela 3 – Resumo vendedor do 6º leilão de energia de reserva realizado em 31/10/2014.

Empresa Proprietária	Empreendimento	UF	Investimento (R\$)	Potência (MW)	GF (MWm)	Total (MWh)	Preço de Venda (R\$/MWh)
COREMAS I	COREMAS I	PB	125.372.000,00	30,000	6,9	1.174.644,00	219,78
DRACENAS	DRACENA 1	SP	128.320.000,00	30,000	5,9	1.034.388,00	217,75
DRACENAS	DRACENA 2	SP	128.320.000,00	30,000	5,9	1.034.388,00	217,75
DRACENAS	DRACENA 3	SP	128.265.000,00	30,000	5,9	1.034.388,00	217,75
DRACENAS	DRACENA 4	SP	128.320.000,00	30,000	5,9	1.034.388,00	217,75
EGP BONDIA	ITUVERAVA 1	BA	156.636.000,00	30,000	8,4	1.472.688,00	214,83
EGP BONDIA	ITUVERAVA 2	BA	156.636.000,00	30,000	8,4	1.472.688,00	214,84
EGP BONDIA	ITUVERAVA 3	BA	156.636.000,00	30,000	8,4	1.472.688,00	214,85
EGP BONDIA	ITUVERAVA 4	BA	156.636.000,00	30,000	8,4	1.472.688,00	214,86
EGP BONDIA	ITUVERAVA 5	BA	156.636.000,00	30,000	8,4	1.472.688,00	214,87
EGP BONDIA	ITUVERAVA 6	BA	156.636.000,00	30,000	8,4	1.472.688,00	214,88
EGP BONDIA	ITUVERAVA 7	BA	156.636.000,00	30,000	8,4	1.472.688,00	214,89
FCR III	FCR III Itapuranga	GO	52.910.000,00	10,000	1,8	315.576,00	220,00
FRV BANABUIU	FRV BANABUIÚ	CE	140.050.000,00	30,000	7,3	1.279.836,00	200,84
FRV MASSAPE	FRV Massapê	CE	139.490.000,00	30,000	7,1	1.244.772,00	200,82
GUAIMBE	GUAIMBE 1	SP	127.818.000,00	30,000	5,9	1.034.388,00	215,95
GUAIMBE	GUAIMBE 2	SP	127.818.000,00	30,000	5,9	1.034.388,00	215,95
GUAIMBE	GUAIMBE 3	SP	127.818.000,00	30,000	5,9	1.034.388,00	220,80
GUAIMBE	GUAIMBE 4	SP	127.533.000,00	30,000	5,9	1.034.388,00	220,80
GUAIMBE	GUAIMBE 5	SP	127.206.000,00	30,000	5,9	1.034.388,00	220,80
INHARÉ	Inharé I	RN	133.279.000,00	30,000	7,7	1.349.964,00	218,70
RIO ENERGY EOL IV	SOLAR CAETITÉ 1	BA	140.007.000,00	29,970	6,6	1.157.112,00	207,52
RIO ENERGY EOL IV	SOLAR CAETITÉ 2	BA	140.007.000,00	29,970	6,6	1.157.112,00	207,52
RIO ENERGY EOL IV	SOLAR CAETITÉ 3	BA	140.007.000,00	29,970	6,6	1.157.112,00	207,52
RNV	Caetité I	BA	148.950.000,00	29,750	6,5	1.139.580,00	220,30
RNV	Caetité II	BA	148.950.000,00	29,750	6,5	1.139.580,00	220,30
RNV	Caetité IV	BA	148.950.000,00	29,750	6,5	1.139.580,00	220,30
RNV	Caetité V	BA	53.425.000,00	10,500	2,3	403.236,00	220,30
SOLATIO	VAZANTE 1	MG	128.320.000,00	30,000	6,0	1.051.920,00	216,12
SOLATIO	VAZANTE 2	MG	128.320.000,00	30,000	6,0	1.051.920,00	216,12

CONTINUAÇÃO							
Empresa Proprietária	Empreendimento	UF	Investimento (R\$)	Potência (MW)	GF (MWm)	Total (MWh)	Preço de Venda (R\$/MWh)
SOLATIO	VAZANTE 3	MG	128.320.000,00	30,000	6,0	1.051.920,00	216,12
	TOTAL		4.144.227.000,00	889,660	202,3	35.432.172,00	

Fonte: Adaptado de (CCEE, [s.d.]).

Salienta-se que onde se apresenta GF nas tabelas, dado em Mega-watt médio, deve-se ler garantia física. Esse indicador determina a quantidade de energia que um equipamento de geração consegue suprir dado um critério de suprimento definido (EPE, [s.d.]). A metodologia de cálculo é apresentada na Equação (9) e essa aborda a garantia física descrita na Portaria nº 342, publicada em 3 de outubro de 2013, e traz não somente aspectos referentes as usinas fotovoltaicas, mas também de usinas termelétricas, usinas solares heliotérmicas e usinas eólicas (MME, 2013).

$$GF = \frac{[P50_{ac} \times (1 - TEIF) \times (1 - IP) - \Delta P]}{8760} \quad (9)$$

Onde $P50_{ac}$ é a produção anual de energia certificada, em MWh, referente ao valor de energia anual com uma probabilidade de ocorrência igual ou maior a cinquenta por cento; TEIF é a taxa equivalente de indisponibilidade forçada, dada em PU – por unidade; IP é indisponibilidade programada, também dada em pu; ΔP é a estimativa anual do consumo interno e perdas elétricas até o PMI da usina, dado em MWh; 8760 são a quantidade de horas em um ano; PMI se refere ao ponto de medição individual e corresponde ao primeiro ponto do sistema onde é possível identificar a geração e consumo interno da usina. Salienta-se que o $P50_{ac}$ deve levar em consideração o abatimento das perdas relacionadas à temperatura, sujeira, sombreamento angulares e espectrais, degradação dos módulos, mismatch, tolerância sobre a potência nominal dos módulos, perdas ôhmicas nos condutores, eficiência do inversor e controle de potência máxima, degradação inicial dos módulos, nível de irradiância, etc. Por fim, com o intuito de averiguar o $P50_{ac}$, realizam-se simulações em ferramentas computacionais como o software suíço PVsyst[®].

A Tabela 4 apresenta as principais informações referentes ao resultado do leilão LER-008/2015 para início de suprimento energético em agosto de 2017. Dentre os empreendimentos

leiloados nessa edição destacam-se Pirapora 10, Pirapora 5, Pirapora 6, Pirapora 7 e Pirapora 9 que integram em parte o Complexo Fotovoltaico Pirapora 2.

Tabela 4 - Resumo vendedor do 7º leilão de energia de reserva realizado em 28/08/2015.

Empresa Proprietária	Empreendimento	UF	Investimento (R\$)	Potência (MW)	GF (MWm)	Total (MWh)	Preço de Venda (R\$/MWh)
ANGICO I	ANGICO I	PB	121.258.000,00	27,000	6,700	1.174.644,00	296,00
ASSURUA	ASSURUÁ	BA	126.515.010,00	30,000	8,800	1.507.752,00	298,50
COREMAS II	COREMAS II	PB	143.042.000,00	30,000	6,900	1.174.644,00	301,88
EDENA	VERDE VALE III	BA	66.355.000,00	15,132	3,700	648.684,00	302,92
EGP-ALBA	HORIZONTE MP 1	BA	156.675.570,00	30,000	9,200	1.612.944,00	301,83
EGP-ALBA	HORIZONTE MP 11	BA	112.770.380,00	20,000	6,100	1.069.452,00	301,83
EGP-ALBA	HORIZONTE MP 2	BA	156.675.570,00	30,000	9,200	1.612.944,00	301,83
EGP-ALBA	LAPA 2	BA	155.200.810,00	30,000	8,700	1.525.284,00	303,83
EGP-ALBA	LAPA 3	BA	155.200.810,00	30,000	8,700	1.525.284,00	303,83
EGP-ALBA	NOVA OLINDA 10	PI	208.147.450,00	30,000	8,800	1.542.816,00	302,83
EGP-ALBA	NOVA OLINDA 11	PI	208.147.450,00	30,000	8,800	1.542.816,00	302,83
EGP-ALBA	NOVA OLINDA 12	PI	208.147.450,00	30,000	8,800	1.542.816,00	302,83
EGP-ALBA	NOVA OLINDA 13	PI	208.147.450,00	30,000	8,800	1.542.816,00	302,83
EGP-ALBA	NOVA OLINDA 14	PI	208.147.450,00	30,000	8,800	1.542.816,00	302,83
EGP-ALBA	NOVA OLINDA 8	PI	208.147.450,00	30,000	8,800	1.542.816,00	302,83
EGP-ALBA	NOVA OLINDA 9	PI	208.147.450,00	30,000	8,800	1.542.816,00	302,83
EGP-DESENVOLVIMENTO	BOM JESUS DA LAPA I	BA	165.600.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	304,83
EGP-DESENVOLVIMENTO	BOM JESUS DA LAPA II	BA	165.600.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	304,83
MALTA	MALTA	PB	121.258.000,00	27,000	6,700	1.174.644,00	296,00
PIRAPORA	PIRAPORA 10	MG	128.168.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	296,45
PIRAPORA	PIRAPORA 5	MG	128.165.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	302,00
PIRAPORA	PIRAPORA 6	MG	128.168.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	296,45
PIRAPORA	PIRAPORA 7	MG	128.168.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	299,00
PIRAPORA	PIRAPORA 9	MG	128.168.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	299,00
SERTAO I	SERTAO 1	PI	126.332.000,00	30,000	7,800	1.367.496,00	304,50
SOBRAL I	SOBRAL 1	PI	126.515.010,00	30,000	7,800	1.367.496,00	302,50
SOL MAIOR	SOL MAIOR 2	TO	20.579.000,00	5,000	1,200	210.384,00	297,00
SUNEDISON RENOVA	SÃO PEDRO II	BA	122.224.000,00	29,835	8,000	1.314.900,00	305,51
SUNEDISON RENOVA	SÃO PEDRO IV	BA	122.224.000,00	29,835	8,000	1.314.900,00	305,51
VILA RENOVAVEL	BJL 11	BA	79.481.000,00	20,000	5,000	876.600,00	303,50
	TOTAL		4.341.375.310,00	833,802	232,9	40.586.580,00	

Fonte: Adaptado de (CCEE, [s.d.]).

A Tabela 5 apresenta as principais informações referentes ao resultado do leilão LER-009/2015 para início de suprimento energético em novembro de 2018. Dentre os empreendimentos leiloados nessa edição destacam-se Pirapora 2, Pirapora 3 e Pirapora 4 que integram em parte o Complexo Fotovoltaico Pirapora 2.

Tabela 5 - Resumo vendedor do 8º leilão de energia de reserva realizado em 13/11/2015.

Empresa Proprietária	Empreendimento	UF	Investimento (R\$)	Potência (MW)	GF (MWm)	Total (MWh)	Preço de Venda (R\$/MWh)
RIO ALTO	COREMAS III	PB	143.042.000,00	30,000	7,100	1.244.772,00	302,80
STEELCON	SOL STEELCONS MIRACEMA 1	TO	203.655.000,00	30,000	5,400	946.728,00	295,99
STEELCON	SOL STEELCONS MIRACEMA 2	TO	203.655.000,00	30,000	5,400	946.728,00	296,99
STEELCON	SOL STEELCONS MIRACEMA 3	TO	203.655.000,00	30,000	5,400	946.728,00	301,49
ADX	NOVA CRUZ	RN	171.541.250,00	30,000	7,000	1.104.516,00	292,60
CONSORCIO BRISAS SUAVES	BRISAS SUAVES	SP	20.180.000,00	5,000	1,300	227.916,00	293,00
APODI	APODI I	CE	120.000.010,00	30,000	8,700	1.525.284,00	300,88
CONSORCIO GUIMARANIA	GUIMARANIA 1	MG	129.298.000,00	30,000	8,200	1.437.624,00	290,00
ASSU	ASSU V	RN	149.784.370,00	30,00	9,20	1.612.944,00	302,99
APODI	APODI II	CE	120.000.000,00	30,000	8,700	1.525.284,00	300,88
CONSORCIO GUIMARANIA	GUIMARANIA 2	MG	126.008.000,00	30,000	8,200	1.437.624,00	290,00
APODI	APODI III	CE	120.000.000,00	30,000	8,700	1.525.284,00	300,88
APODI	APODI IV	CE	120.000.000,00	30,000	8,700	1.525.284,00	300,88
CONSORCIO PIRAPORA	PIRAPORA 2	MG	128.168.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	301,00
SOLAIRE DIRE CT SOLATIO	PARACATU 1	MG	125.916.000,00	30,00	8,50	1.490.220,00	298,00
SOLAIRE DIRE CT SOLATIO	PARACATU 2	MG	125.738.000,00	30,000	8,500	1.490.220,00	298,00
CONSORCIO PIRAPORA	PIRAPORA 3	MG	127.738.000,00	30,00	8,40	1.472.688,00	299,50
CONSORCIO PIRAPORA	PIRAPORA 4	MG	127.738.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	299,50
SOLAIRE DIRE CT SOLATIO	PARACATU 3	MG	125.738.000,00	30,00	8,50	1.490.220,00	298,00
SOLAIRE DIRE CT SOLATIO	PARACATU 4	MG	125.738.000,00	30,000	8,500	1.490.220,00	298,00
SOBRADO	SOBRADO1	BA	118.598.000,00	30,000	7,800	1.367.496,00	299,95
SOLAIRE DIRE CT FLORESTA	FLORESTA I	RN	143.892.370,00	30,000	9,400	1.648.008,00	292,80
SOLAIRE DIRE CT FLORESTA	FLORESTA II	RN	143.892.370,00	30,00	9,40	1.648.008,00	292,80
SOLAIRE DIRE CT FLORESTA	FLORESTA III	RN	100.223.590,00	20,000	6,300	1.104.516,00	292,81
BOA HORA	BOA HORA 1	PE	150.195.000,00	25,000	5,300	929.196,00	291,75
BOA HORA	BOA HORA 2	PE	150.195.000,00	25,000	5,300	929.196,00	291,75
BOA HORA	BOA HORA 3	PE	150.195.000,00	25,000	5,300	929.196,00	291,75
SUNEDISON	JUAZEIRO SOLAR I	BA	122.224.000,00	29,835	8,700	1.525.284,00	301,02
SUNEDISON	JUAZEIRO SOLAR II	BA	122.224.000,00	29,84	8,70	1.525.284,00	301,02
SUNEDISON	JUAZEIRO SOLAR III	BA	122.224.000,00	29,835	8,700	1.525.284,00	301,02

CONTINUAÇÃO							
Empresa Proprietária	Empreendimento	UF	Investimento (R\$)	Potência (MW)	GF (MWm)	Total (MWh)	Preço de Venda (R\$/MWh)
SUNEDISON	JUAZEIRO SOLAR IV	BA	122.224.000,00	29,84	8,70	1.525.284,00	301,02
UFV	FAZENDA	PE	153.719.890,00	30,000	6,200	1.086.984,00	294,00
AGRESTINA	ESMERALDA						
VILA RENOVAVEL	BJL 4	BA	79.481.000,00	20,00	5,00	876.600,00	300,15
	TOTAL		4.396.880.850,00	929,34	246,00	43.005.996,00	

Fonte: Adaptado de (CCEE, [s.d.]).

A Tabela 6 apresenta as principais informações referentes ao resultado do leilão LEN-004/2017 A4 para início de suprimento energético em janeiro de 2021. Salienta-se que os preços praticados nessa edição já correspondem a cerca de 50% dos valores fechados no leilão LER-009/2015 – última edição com comercialização de energia elétrica proveniente de fonte solar fotovoltaica anterior ao LEN-004/2017.

Tabela 6 - Resumo vendedor do 25º leilão de energia nova A-4 realizado em 18/12/2017.

Empresa Proprietária	Empreendimento	UF	Investimento (R\$)	Potência (MW)	GF (MWm)	Total (MWh)	Preço de Venda (R\$/MWh)
AES TIETE	ÁGUA VERMELHA IV	SP	87.173.010,00	15,000	4,000	701.280,00	145,49
AES TIETE	ÁGUA VERMELHA V	SP	174.346.010,00	30,000	7,900	1.385.028,00	145,49
AES TIETÊ	ÁGUA VERMELHA VI	SP	174.346.010,00	30,000	7,900	1.385.028,00	146,66
EGP - ALBA ENERGIA	SAO GONCALO 1	PI	243.678.800,00	30,000	10,200	1.735.668,00	146,67
EGP - ALBA ENERGIA	SAO GONCALO 10	PI	243.678.800,00	30,000	10,200	1.735.668,00	145,50
EGP - ALBA ENERGIA	SAO GONCALO 2	PI	243.678.800,00	30,000	10,200	1.735.668,00	146,67
EGP - ALBA ENERGIA	SAO GONCALO 21	PI	243.678.800,00	30,000	10,200	1.735.668,00	145,99
EGP - ALBA ENERGIA	SAO GONCALO 22	PI	243.678.800,00	30,000	10,200	1.735.668,00	145,00
EGP - ALBA ENERGIA	SAO GONCALO 3	PI	243.678.800,00	30,000	10,200	1.735.668,00	146,67
EGP - ALBA ENERGIA	SAO GONCALO 4	PI	243.678.800,00	30,000	10,200	1.735.668,00	146,67
EGP - ALBA ENERGIA	SAO GONCALO 5	PI	243.678.800,00	30,000	10,200	1.735.668,00	146,67
CONSORCIO SOLAR SALGUEIRO	SOLAR SALGUEIRO	PE	149.000.000,00	30,000	8,600	1.507.752,00	143,70
CONSORCIO SOLAR SALGUEIRO	SOLAR SALGUEIRO II	PE	149.000.000,00	30,000	8,800	1.542.816,00	145,98
CONSORCIO SOLAR SALGUEIRO	SOLAR SALGUEIRO III	PE	149.000.000,00	30,000	8,800	1.542.816,00	146,66
SOLAR DO SERTÃO	SERTAO SOLAR BARREIRAS I	BA	154.652.000,00	28,000	6,800	1.192.176,00	143,50
SOLAR DO SERTÃO	SERTAO SOLAR BARREIRAS II	BA	154.652.000,00	28,000	6,800	1.192.176,00	143,50
SOLAR DO SERTÃO	SERTAO SOLAR BARREIRAS III	BA	154.652.000,00	28,000	6,800	1.192.176,00	146,60

CONTINUAÇÃO							
Empresa Proprietária	Empreendimento	UF	Investimento (R\$)	Potência (MW)	GF (MWm)	Total (MWh)	Preço de Venda (R\$/MWh)
SOLAR DO SERTAO	SERTAO SOLAR BARREIRAS IV	BA	154.652.000,00	28,000	6,800	1.192.176,00	146,60
SOLATIO INDUSTRIAL	BRIGIDA	PE	190.470.790,00	27,000	8,900	1.560.348,00	144,90
SOLATIO INDUSTRIAL	BRIGIDA 2	PE	212.700.770,00	30,000	8,900	1.560.348,00	143,60
	TOTAL		3.854.074.990,00	574,00	172,60	29.839.464,00	

Fonte: Adaptado de (CCEE, [s.d.]).

A Tabela 7 apresenta as principais informações referentes ao resultado do leilão LEN-001/2018 A4 para início de suprimento energético em janeiro de 2022. Salienta-se que os preços praticados nessa edição já se apresentam cerca de 18% abaixo dos valores fechados no leilão LEN-004/2017 que ocorreu num intervalo de aproximadamente quatro meses anteriores ao LEN-001/2018 e os preços de venda sofreram deságio de aproximadamente 62% uma vez analisado os preços iniciais de venda (ANEEL, 2018c).

Tabela 7 - Resumo vendedor do 27º leilão de energia nova A-4 realizado em 04/04/2018.

Empresa Proprietária	Empreendimento	UF	Investimento (R\$)	Potência (MW)	GF (MWm)	Total (MWh)	Preço de Venda (R\$/MWh)
ALEX	ALEX I	CE	146.000.000,00	30,000	10,200	1.753.200,00	118,00
ALEX	ALEX III	CE	137.500.000,00	30,000	10,200	1.753.200,00	118,00
ALEX	ALEX IV	CE	137.500.000,00	30,000	10,200	1.753.200,00	118,00
ALEX	ALEX IX	CE	137.500.000,00	30,000	10,200	1.753.200,00	118,39
ALEX	ALEX V	CE	137.500.000,00	30,000	10,200	1.753.200,00	118,00
ALEX	ALEX VI	CE	137.500.000,00	30,000	10,200	1.753.200,00	118,00
ALEX	ALEX VII	CE	137.500.000,00	30,000	10,200	1.753.200,00	118,39
ALEX	ALEX VIII	CE	137.500.000,00	30,000	10,200	1.753.200,00	118,25
ALEX	ALEX X	CE	137.500.000,00	30,000	10,200	1.753.200,00	118,39
CRB	ETESA 17 SAO JOAO DO PIAUI I	PI	169.885.000,00	29,976	8,400	1.174.644,00	117,80
CRB	ETESA 18 SAO JOAO DO PIAUI II	PI	169.885.000,00	29,976	8,400	1.174.644,00	117,80
CRB	ETESA 19 SAO JOAO DO PIAUI III	PI	169.885.000,00	29,976	8,400	1.174.644,00	117,80
CRB	ETESA 20 SAO JOAO DO PIAUI IV	PI	169.885.000,00	29,976	8,400	1.174.644,00	117,80
CRB	ETESA 21 SAO JOAO DO PIAUI V	PI	169.885.000,00	29,976	8,400	1.174.644,00	117,80
CRB	ETESA 22 SAO JOAO DO PIAUI VI	PI	169.885.000,00	29,976	8,400	1.174.644,00	117,80
FANCISCO SA	FRANCISCO SA 1	MG	131.323.430,00	30,000	9,100	1.595.412,00	117,91
FANCISCO SA	FRANCISCO SA 2	MG	131.323.430,00	30,000	9,100	1.595.412,00	118,35
FANCISCO SA	FRANCISCO SA 3	MG	131.323.430,00	30,000	9,100	1.595.412,00	118,35

CONTINUAÇÃO							
Empresa Proprietária	Empreendimento	UF	Investimento (R\$)	Potência (MW)	GF (MWm)	Total (MWh)	Preço de Venda (R\$/MWh)
JAIBA	SOLAR JAIBA 3	MG	160.381.250,00	29,940	8,400	1.472.688,00	118,40
JAIBA	SOLAR JAIBA 4	MG	160.381.250,00	29,940	8,400	1.472.688,00	118,40
JAIBA	SOLAR JAIBA 9	MG	106.920.830,00	20,000	5,500	964.260,00	117,81
LAVRAS	LAVRAS 1	CE	171.967.150,00	24,000	6,200	1.086.984,00	118,01
LAVRAS	LAVRAS 2	CE	171.967.150,00	24,000	6,200	1.086.984,00	118,02
LAVRAS	LAVRAS 3	CE	171.967.150,00	24,000	6,200	1.086.984,00	118,03
LAVRAS	LAVRAS 4	CE	171.967.150,00	24,000	6,200	1.086.984,00	118,04
LAVRAS	LAVRAS 5	CE	171.967.150,00	24,000	6,200	1.086.984,00	118,05
SPP	SAO PEDRO E PAULO V	PE	105.523.700,00	20,952	5,500	964.260,00	118,23
SPP	SAO PEDRO E PAULO VI	PE	105.523.700,00	20,952	5,500	964.260,00	117,63
SPP I	SAO PEDRO E PAULO I	PE	125.911.250,00	25,000	6,700	1.174.644,00	117,63
TOTAL			4.283.758.020,00	806,64	240,50	40.060.620,00	

Fonte: Adaptado de (CCEE, [s.d.]).

No capítulo 3 serão discutidos os leilões de energia que compõe o Complexo Fotovoltaico Pirapora 2, bem como serão apresentadas suas principais características.

2.4.NORMAS DE CONEXÃO

O Submódulo 3.6 dos procedimentos de conexão do ONS intitulado “Requisitos técnicos mínimos para a conexão às instalações de transmissão” tem por objetivo definir os requisitos técnicos para a conexão às instalações sob responsabilidade de transmissoras e também estabelece os requisitos técnicos mínimos para a conexão de centrais de geração às instalações sob responsabilidade de distribuidoras em nível de tensão superior a 69kV (ONS, 2016a).

O capítulo oitavo do Submódulo 3.6 intitulado “Requisitos técnicos mínimos para conexão de centrais geradoras eólicas e fotovoltaicas” define os requisitos técnicos mínimos aplicáveis a conexão à Rede Básica ou ICG por unidades geradoras eólicas e fotovoltaicas. Onde lê-se ICG deve-se entender, conforme portaria nº 444 de 25 de agosto de 2016 do MME, “Instalação de Transmissão de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração para Conexão Compartilhada” (MME, 2016). Esse mesmo capítulo define ainda que o acessante é responsável por todo e qualquer estudo que avalie o impacto da conexão da central geradora ao SIN e responsável pelos estudos que avaliem os efeitos que o SIN possa provocar sobre as instalações do empreendimento e por tomar ações corretivas.

Estudos de curto-circuito, capacidade de disjuntores e barramentos, adequação dos sistemas de proteção e controle são realizadas pelo acessante a fim de averiguar se há superação de capacidade desses equipamentos e para avaliar se é necessário algum ajuste nos parâmetros de proteção e controle do sistema. Todas essas avaliações devem ser realizadas abrangendo o ponto de conexão da usina e a área de influência do empreendimento.

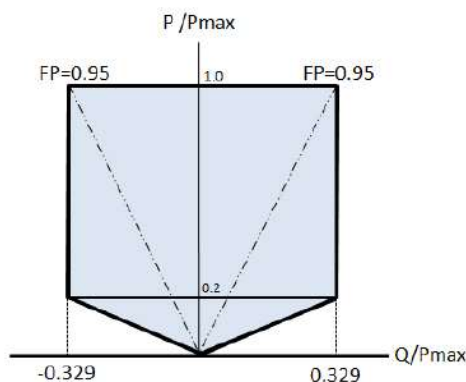
Dentre os requisitos técnicos gerais dispostos no Submódulo 3.6 do ONS, destacam-se, referente a conexão de centrais geradoras fotovoltaicas, o que segue:

- Operação em regime de frequência não nominal;
- Geração/absorção de potência reativa;
- Modos de Controle;
- Operação em regime de tensão não nominal;
- Atendimento do fator de potência em regime de tensão não nominal;
- Participação em SEP;
- Potência ativa de saída.

As ações referentes a geração e absorção de potência reativa das centrais geradoras tem por objetivo aumentar as margens de estabilidade de tensão e melhorar o controle de tensão. Para isso os empreendimentos devem, em regime permanente, operar com fator de potência indutivo ou capacitivo em qualquer ponto da área indicada na Figura 12.

Quando a UFV não estiver produzindo potência ativa ao sistema, a mesma deve dispor de recursos de controle para garantir a capacidade de geração e absorção de potência reativa respeitando os limites apresentados na Figura 13.

Figura 12 – Faixa de geração/absorção de potência reativa no ponto de conexão da central geradora.

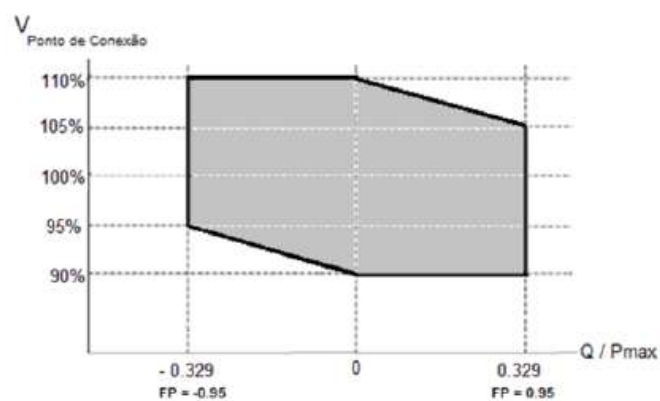


Fonte: (ONS, 2016a).

O terceiro requisito técnico geral disserta sobre os três modos distintos de operação que a central geradora deve ser capaz de atuar: controle de tensão; controle de potência reativa; controle de fator de potência. O modo padrão será o de controle de tensão, o qual possui como objetivo contribuir com os níveis de tensão do sistema. Os modos de controle de potência reativa e fator de potência podem ser solicitados a qualquer momento pelo ONS quando esse julgar necessário. No mais, a UFV que opera sob o controle de tensão deve possuir tensão ajustável entre 95% e 105% do respectivo valor nominal.

Adicionalmente, as UFV devem ser capazes de operar entre 0,85 e 0,90 p.u. da tensão nominal por um período mínimo de 5 segundos ou entre 1,10 e 1,20 p.u. por um período mínimo de 2,5 segundos a fim de evitar o desligamento do empreendimento. Além disso, deve operar por tempo ilimitado quando a central estiver submetida a um nível de tensão na faixa de 0,90 e 1,10 p.u. Para essas faixas de tensão, o quinto requisito geral disserta sobre os meios para garantir os níveis de fator de potência adequados. Para isso, a Figura 13 apresenta os limites dos níveis de tensão que devem ser respeitados para que haja injeção de potência reativa, em regime permanente, e, por consequência, seja possível atender aos requisitos de fator de potência no ponto de conexão da central geradora.

Figura 13 – Requisito para atendimento ao fator de potência na faixa operativa de tensão no ponto de conexão.



Fonte: (ONS, 2016a).

A participação em SEP, por sua vez, apresenta a possibilidade de desconexão da central geradora de maneira automática a partir de comando remoto a fim de mitigar danos caso haja perturbações no sistema e a central venha a operar ilhada e gere sobrefrequência, por exemplo.

O último requisito técnico geral para uma central geradora fotovoltaica disposto no Submódulo 3.6 do ONS disserta sobre a potência ativa injetada na rede e afirma que essa deve

recuperar-se a 85% do valor pré-falta em menos de 4 segundos após a recuperação da tensão a 85% do respectivo valor nominal. Isso é estabelecido para que haja uma adequada recuperação da potência na ocorrência de um distúrbio na rede e para garantir a disponibilidade de potência em situações de subfrequência a fim de minimizar ou até evitar os cortes de carga por atuação do ERAC – esquema regional de alívio de carga.

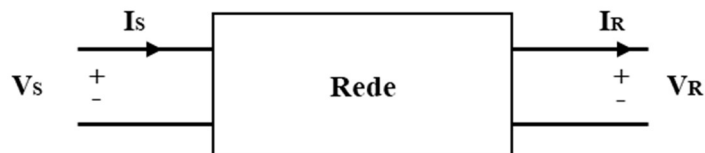
Por fim, o Subcapítulo 3.6 traz mais informações acerca da instabilidade de tensão, requisitos para o sistema de proteção, entre outros. Destes, salienta-se o que diz respeito a variação de tensão em regime permanente no ponto de conexão da UFV com o SIN: a central não deve produzir variação de tensão superior a 5% no caso de manobra parcial ou total, tempestiva ou não, do empreendimento.

2.5. MÉTODOS DE SIMPLIFICAÇÃO DE REDES ELÉTRICAS

Neste trabalho foi necessária a utilização de técnicas de redução do sistema de transmissão utilizando metodologias de agregação de linhas de transmissão. Para que isso seja possível apresenta-se uma revisão de modelos de linhas curtas e médias, bem como trata-se de conceitos básicos do tema como impedância série e admitância *shunt* dos circuitos para então ser apresentado o método utilizado para simplificar redes elétricas em série.

Inicia-se representando um modelo genérico de rede por meio de quadripolo, apresentado na Figura 14 onde V_S e I_S representam a tensão e a corrente nos terminais da fonte do circuito e V_R e I_R representam a tensão e a corrente nos terminais da carga do circuito.

Figura 14 – Representação de rede por quadripolo.



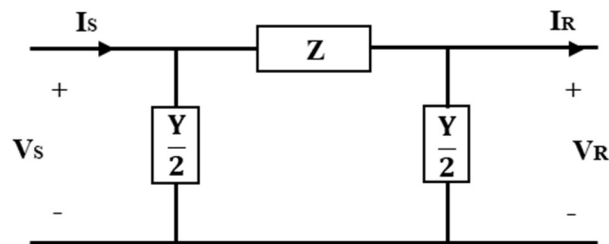
Fonte: Adaptado de (GLOVER; OVERBYE; SARMA, 2017, p. 258).

A relação entre as grandezas da carga e da fonte do quadripolo pode ser descrita matricialmente pela Equação (10).

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (10)$$

Os parâmetros A, B, C e D do quadripolo dependem dos parâmetros elétricos da linha de transmissão como resistência, indutância, capacitância e condutância. Os parâmetros A e D são adimensionais e dados em PU enquanto B é dado em ohms e C em siemens. Para determinar esses parâmetros deve-se primeiro analisar o modelo π de uma linha média de transmissão conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Modelo π de linha de transmissão média.



Fonte: Adaptado de (GLOVER; OVERBYE; SARMA, 2017, p. 260).

A componente série Z é a impedância total da linha de transmissão dada em Ohms e é apresentada na Equação (11).

$$Z = (R + j2\pi fL)l \quad (11)$$

A componente *shunt* Y é a admitância total da linha de transmissão dada em Siemens e é apresentada na Equação (12). Salienta-se que o efeito de G é usualmente desprezado quando se trata de linhas médias de transmissão visto que esse parâmetro é responsável pela representação do efeito corona, o qual, por sua vez, apresenta-se com maior intensidade em linhas longas de ultra alta tensão a partir de 500kV.

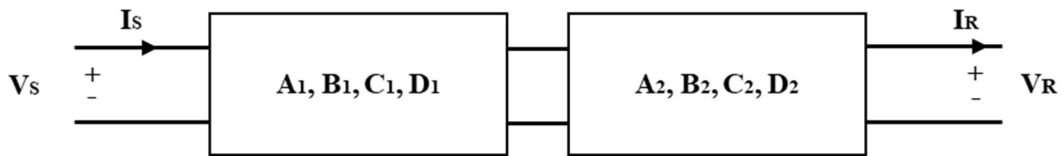
$$Y = (G + j2\pi fC)l \quad (12)$$

Baseado nas Equações (10), (11) e (12) e por meio da análise do circuito π equivalente para uma linha média de transmissão apresentada na Figura 15 torna-se possível definir os parâmetros A, B, C e D do quadripolo conforme apresentado na Equação(13).

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) & Z \\ Y\left(1 + \frac{YZ}{4}\right) & \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (13)$$

Uma vez conhecido os parâmetros do quadripolo analisa-se um exemplo típico onde há linhas de transmissão em série. É possível representar essa situação por dois modelos de rede em série conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Representação de redes elétricas em série por meio de quadripolos.



Fonte: Adaptado de (GLOVER; OVERBYE; SARMA, 2017, p. 261).

É possível representar o sistema apresentado na Figura 16 por meio de um produto das matrizes equivalentes de cada quadripolo conforme apresentado na Equação (14).

$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (A_1A_2 + B_1C_2) & (A_1B_2 + B_1D_2) \\ (C_1A_2 + D_1C_2) & (C_1B_2 + D_1D_2) \end{bmatrix} \quad (14)$$

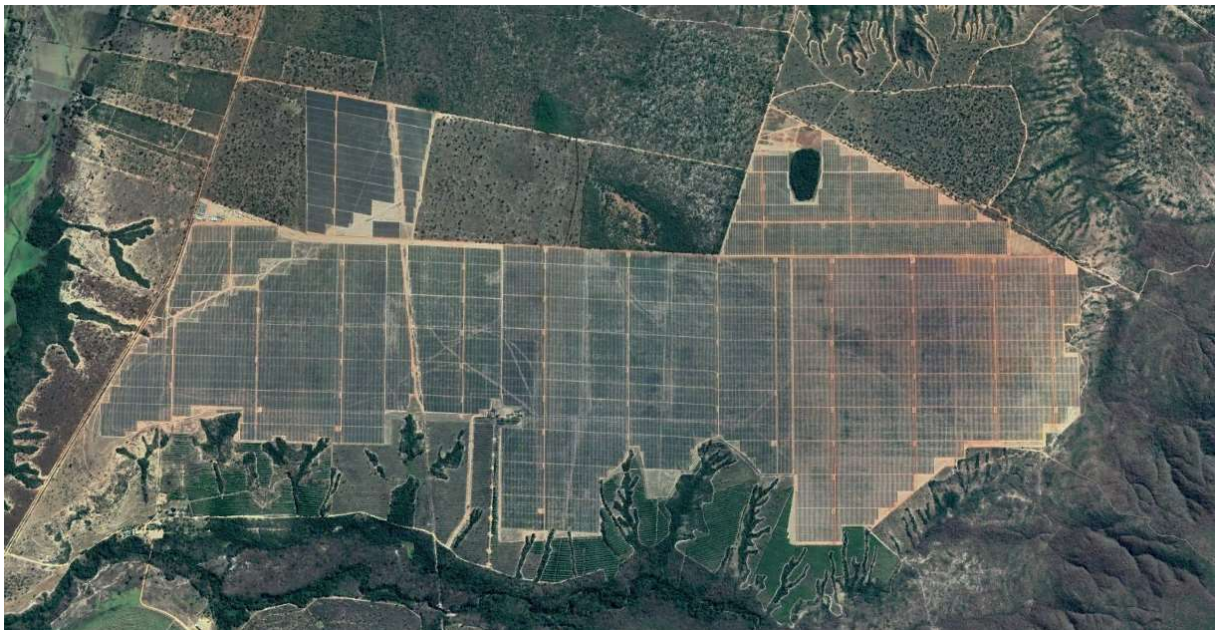
Dessa maneira torna-se possível simplificar duas linhas de transmissão em série e omitir a barra que interconecta essas duas linhas. Esse método faz-se presente nesse trabalho visto que há uma limitação da quantidade de barras permitidas no software Power World[®].

3 COMPLEXO FOTOVOLTAICO PIRAPORA 2

3.1. ASPECTOS GERAIS DO EMPREENDIMENTO

Localizado ao norte do estado brasileiro de Minas Gerais (MG) e cerca de 360 quilômetros de distância da capital Belo Horizonte, a cidade de Pirapora é sede do que é, atualmente (2018), a maior usina fotovoltaica em operação comercial na América Latina. Nas coordenadas de latitude $17^{\circ} 24' 22.3''$ ao sul da linha do equador e de longitude $44^{\circ} 55' 21.5''$ a oeste do Meridiano de Greenwich, o Complexo Fotovoltaico Pirapora 2 ou Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 é uma usina fotovoltaica apresentada na Figura 17 que ocupa cerca de 846 hectares de área com mais de um milhão de módulos fotovoltaicos, todos fornecidos pela fabricante Canadian, e possui perímetro de aproximadamente 18 quilômetros de extensão ultrapassando, na sua totalidade, os 400MWp de potência instalada em módulos fotovoltaicos e 321MW de potência instalada com unidades inversoras.

Figura 17 – Complexo Fotovoltaico Pirapora 2.



Fonte: (GOOGLE, 2018).

Pirapora possui níveis de irradiação global horizontal médio mensal na ordem dos $5,74 \text{ kWh/m}^2$ (SOLARGIS, 2018) que representa cerca de 6,8% a mais de irradiação que o valor médio brasileiro. Anualmente, esse valor chega ao valor médio de 2095 kWh/m^2 , o qual é cerca

de 25% maior que os níveis anuais médios de irradiação global na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, por exemplo.

O Complexo Fotovoltaico Pirapora 2 é composto por onze empreendimentos leiloados nos leilões de energia de reserva 008/2014, 008/2015 e 009/2015 conforme apresentado na Tabela 8 que totalizam um investimento de R\$ 1.409.411.000,00. Desses empreendimentos, salienta-se que apesar dos dados da CCEE referente ao LER-008/2014 apresentar as unidades Vazante 1, Vazante 2 e Vazante 3 como UFV com 30MW de potência leiloadas cada uma, o BIG da ANEEL informa que somente 27MW desses lotes entraram em operação comercial em dezembro de 2017 (ANEEL, 2018d).

Tabela 8 – Empreendimentos que compõe o Complexo Fotovoltaico Pirapora 2 e suas principais características de LER.

Leilão	Empreendimento	Investimento (R\$)	Potência (MW)	GF (MWm)	Total (MWh)	Preço de Venda (R\$/MWh)
LER-008/2014	VAZANTE 1	128.320.000,00	27,000	6,0	1.051.920,00	216,12
LER-008/2014	VAZANTE 2	128.320.000,00	27,000	6,0	1.051.920,00	216,12
LER-008/2014	VAZANTE 3	128.320.000,00	27,000	6,0	1.051.920,00	216,12
LER-008/2015	PIRAPORA 10	128.168.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	296,45
LER-008/2015	PIRAPORA 5	128.165.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	302,00
LER-008/2015	PIRAPORA 6	128.168.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	296,45
LER-008/2015	PIRAPORA 7	128.168.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	299,00
LER-008/2015	PIRAPORA 9	128.168.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	299,00
LER-009/2015	PIRAPORA 2	128.168.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	301,00
LER-009/2015	PIRAPORA 3	127.738.000,00	30,000	8,40	1.472.688,00	299,50
LER-009/2015	PIRAPORA 4	127.738.000,00	30,000	8,400	1.472.688,00	299,50
Total	COMPLEXO FOTOVOLTAICO PIRAPORA 2	1.409.411.000,00	321,00	85,2	14.937.264,00	-

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2018d; CCEE, [s.d.]).

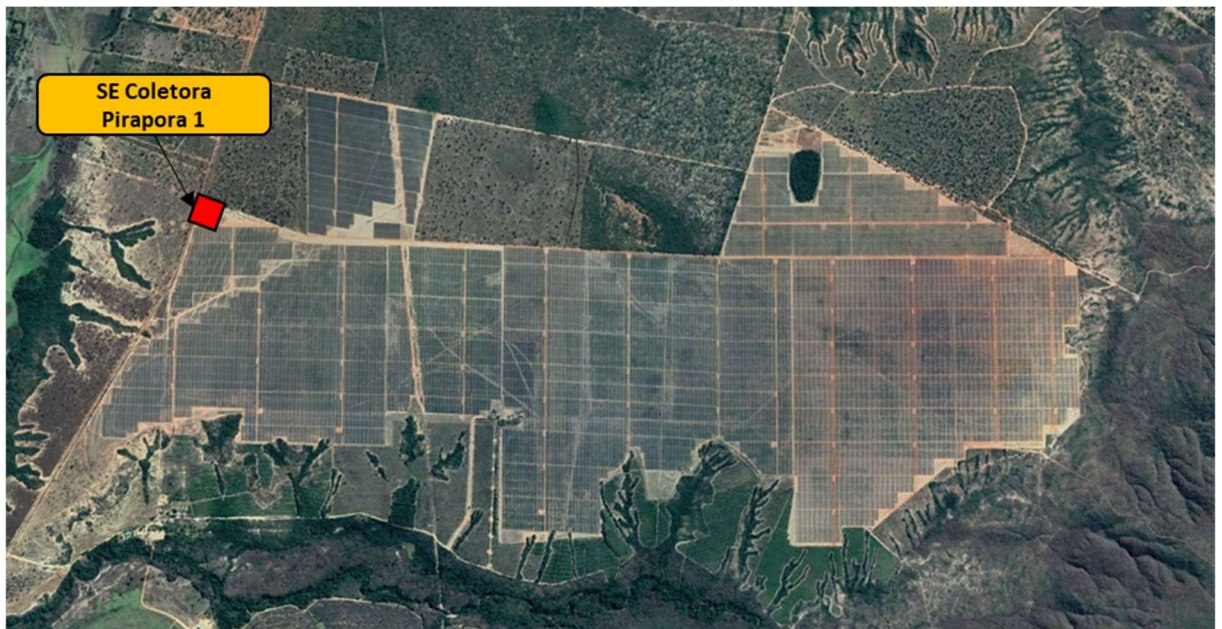
A energia elétrica negociada nos leilões LER-008/2014, LER-008/2015, LER-009/2015 foram objetos de contrato de energia de reserva na modalidade “quantidade de energia” com prazo de suprimento de 20 anos (ANEEL, 2014, 2015b, 2015c). Os empreendimentos associados ao Complexo Fotovoltaico Pirapora 2 possuíam data prevista para entrada em

operação comercial dos empreendimentos em outubro de 2017, agosto de 2017 e novembro de 2018, respectivamente. Salienta-se que todos os empreendimentos do complexo já se encontram em operação comercial.

3.2. SE COLETORA PIRAPORA 1

A SE Coletora Pirapora 1 está localizada no canto noroeste da UFV conforme apresentado na Figura 18. Trata-se de uma unidade transformadora que eleva o nível de tensão de 34,5kV para 138kV e transmite por meio de uma linha de transmissão (LT) de circuito duplo de 10,4km de extensão até a SE Pirapora 2.

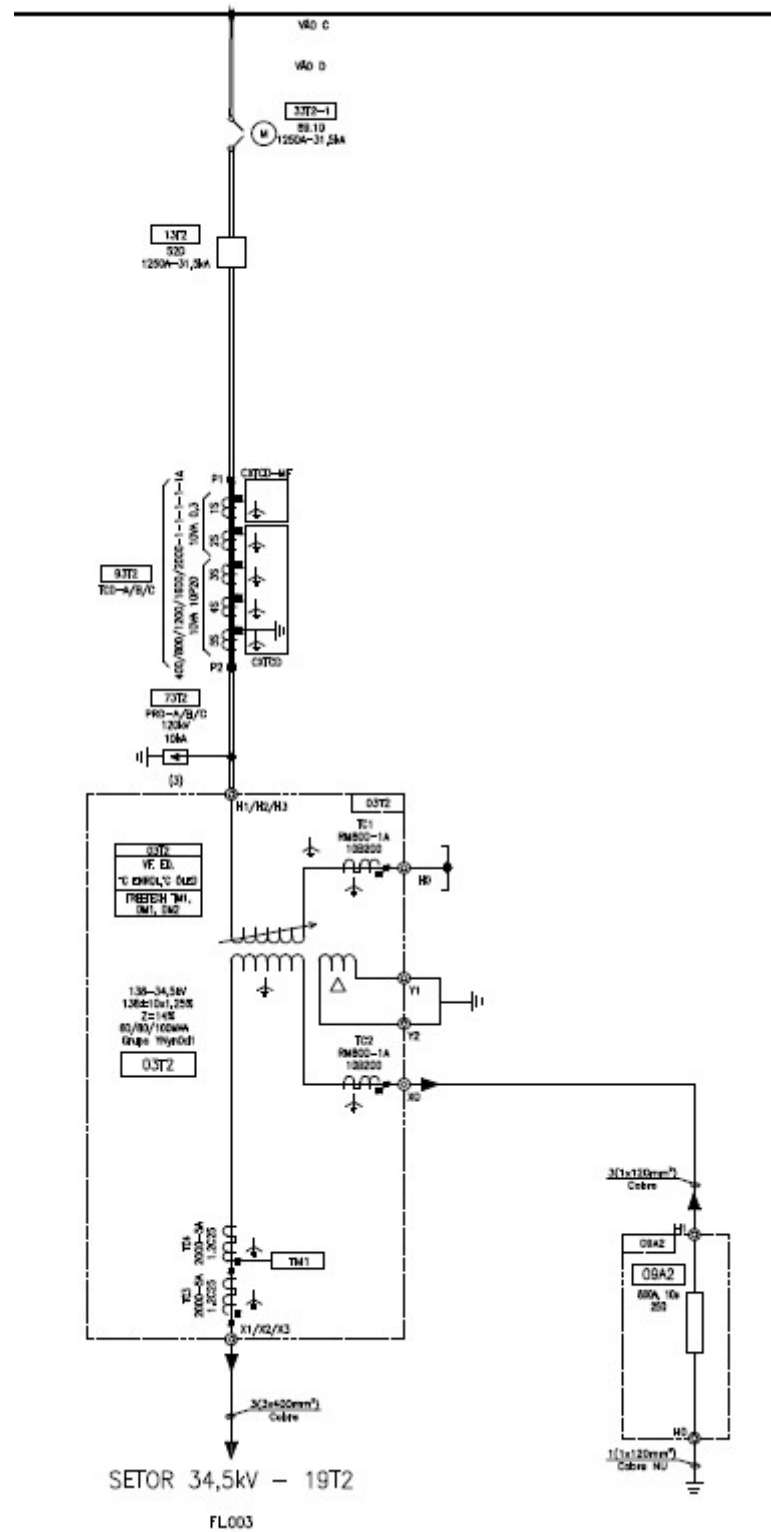
Figura 18 – Localização da SE Coletora Pirapora 1 no Complexo Fotovoltaico Pirapora 2.



Fonte: Adaptado de (GOOGLE, 2018).

A SE Coletora possui três transformadores de 34,5/138 kV dos quais dois possuem potência nominal de 60/80/100MVA e um terceiro com potência 106,5/142,5/178 MVA, todos ligados a um barramento de 138kV. Como forma ilustrativa, a Figura 19 apresenta o diagrama unifilar de um dos transformadores de potência com os respectivos TCs, TPs e demais dispositivos de proteção do circuito.

Figura 19 – Diagrama Unifilar Operacional parcial da SE Coletora 1 do Complexo Fotovoltaico Pirapora 2.

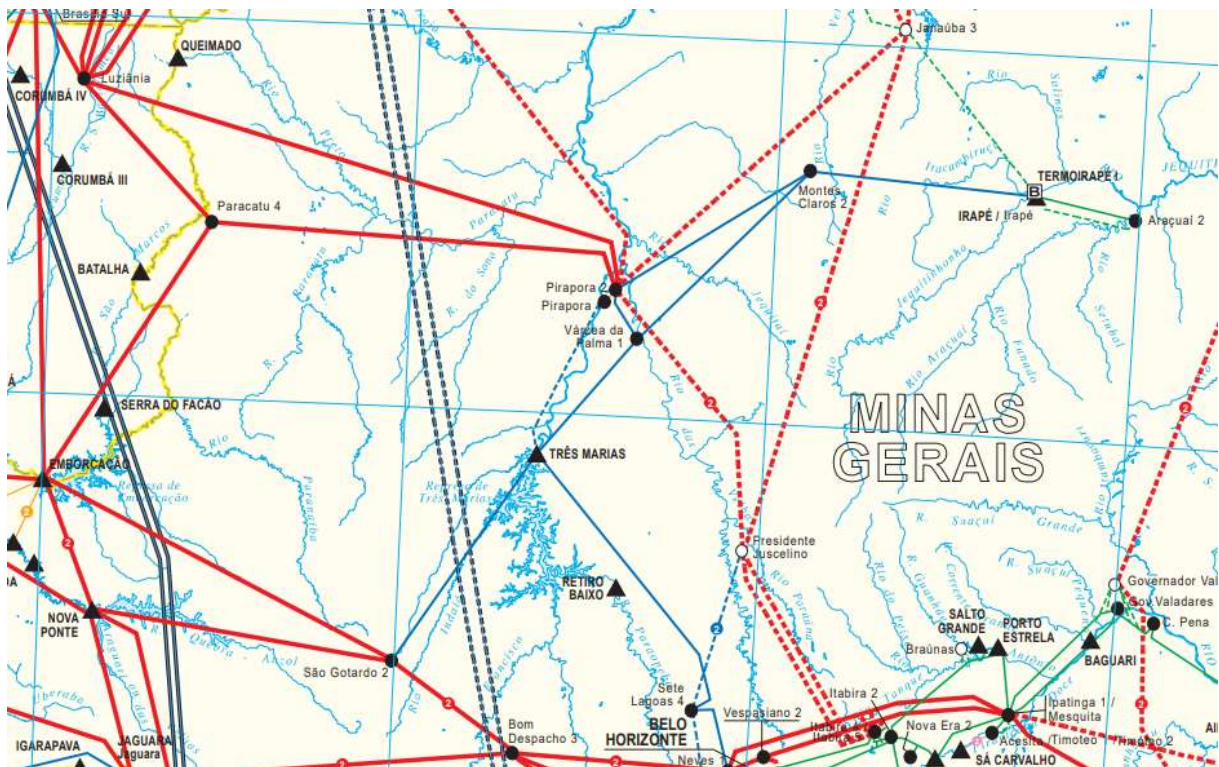


Fonte: Adaptado de (WEG, 2017).

3.3. LOCALIZAÇÃO GEOELÉTRICA E PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO

A SE Coletora Pirapora 1 conecta-se a SE Pirapora 2 por meio de uma LT de 10,4km de 138kV, sendo que essa última possui *bays* de conexão de 138kV, 345kV e 500kV em operação bem como é previsto a expansão dos *bays* para permitir a conexão de novas LTs. A Figura 20 apresenta a localização geoeletrica do empreendimento bem como algumas subestações e unidades geradoras da vizinhança do empreendimento. Salienta-se que as linhas contínuas na cor vermelha são LTs de 500kV, linhas em azul são 345kV, linhas na cor verde são de 230kV e as pontilhadas significam LTs que ainda não entraram em operação.

Figura 20 – Disposição geoeletrica das principais linhas de transmissão e SEs na vizinhança da UFV Pirapora 2.



Fonte: (ONS, [s.d.]).

O ANEXO B apresenta os procedimentos de operação da UFV Pirapora 2 segundo diretrizes do ONS. Deste documento deve-se salientar que o Operador afirma que a unidade geradora Complexo Fotovoltaico Pirapora 2 é um recurso adicional para o controle de tensão devendo disponibilizar potência reativa de -92,7 Mvar até 92,7 Mvar no ponto de conexão quando o despacho de potência ativa for igual ou superior a 20% da sua capacidade nominal.

Destaca-se, ainda, que a UFV Pirapora 2 deve operar em modo de controle de tensão por meio de fornecimento ou absorção de potência reativa na barra de 138kV da SE Pirapora 2.

4 METODOLOGIA

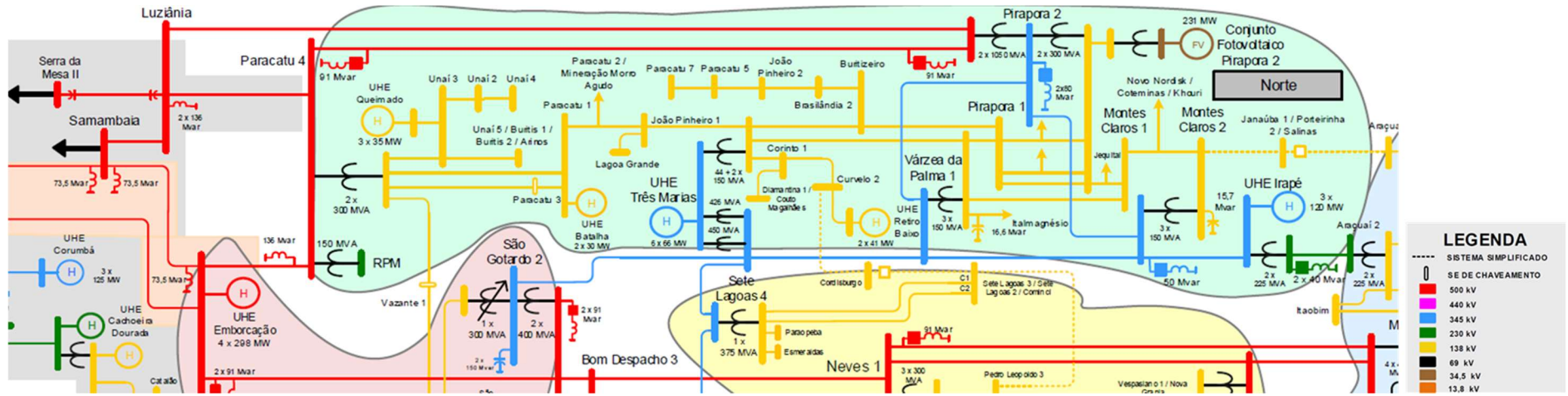
Neste capítulo é apresentada uma descrição do sistema proposto para avaliação do impacto da inserção de usinas fotovoltaicas em redes elétricas via ferramenta computacional Power World[®] de versão 19 (POWER, 2018) e as contingências consideradas para a avaliação do mesmo em regime permanente. Importante salientar que esse trabalho tem por objetivo principal realizar a análise dos níveis de tensão de todas as barras consideradas no sistema proposto. Essas, por sua vez, devem respeitar o que foi apresentado em 2.4, sendo que na ocorrência de irregularidades é apresentado um possível meio de mitigar as violações apresentadas e desta forma manter a estabilidade do SIN.

O sistema elétrico simulado é baseado no sistema elétrico de transmissão do Norte de Minas Gerais conforme a seção demarcada pela região Norte da Figura 21, sendo adicionalmente modeladas algumas barras de 500kV representadas na região do triângulo mineiro. O diagrama na sua íntegra é apresentado no ANEXO C.

O Complexo Fotovoltaico Pirapora 2 encontra-se conectado ao sistema Norte de Minas Gerais por meio de uma linha de transmissão de 138kV à subestação Pirapora 2 e para analisar o impacto da mesma à rede elétrica são simuladas oito contingências em dois cenários de operação da UFV:

- Variação do despacho de potência ativa em cinco níveis graduais, os quais tem por objetivo representar o impacto da presença de nuvens transitórias que impeçam total ou parcialmente a produção de energia do Complexo respeitando os procedimentos de operação do ONS apresentado no ANEXO B;
- Níveis máximos de despacho de potência ativa e reativa indutiva ou capacitiva sem controle de tensão exclusivo conforme os procedimentos do ONS a fim de representar eventual solicitação por parte do Operador.

Figura 21 – Sistema elétrico de transmissão do Norte de MG.



Fonte: Adaptado de (ONS, 2018d).

Salienta-se que para os níveis máximos de despacho de potência ativa e reativa foi considerado em uma primeira etapa despacho integral de ativo, seguido por despacho integral de reativo capacitivo e finalizando com despacho integral de reativo indutivo. Dessa forma se desconsidera a premissa de regulação de tensão da barra 1569 estipulado no ANEXO B. Isso é realizado pois alguns inversores possuem a capacidade de fornecimento e absorção de reativos de maneira integral caso haja interesse por parte do operador conforme exemplificado pelo inversor utilizado na UFV Pirapora 2 e apresentado no ANEXO J.

Salienta-se que ambos cenários são comparados com uma referência posteriormente apresentado em 4.2.3.

Para realizar tais simulações foi adotado o processo apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Diagrama de processos de execução adotado para análise do sistema Norte de MG.



Fonte: O Autor.

Na Figura 22 são apresentadas as etapas realizadas neste trabalho. Os dados foram coletados a partir do Plano de Ampliação e Reforços (PAR) do ONS.

O PAR possui os parâmetros elétricos de todas as linhas de transmissão do SIN, bem como identifica as respectivas barras, transformadores de potência, centrais geradoras e seus níveis de despacho, reatores, bancos de capacitores, entre outros. Este apresenta casos simulados de fluxo de potência convergidos por meio do software ANAREDE para diferentes patamares de carga em períodos de inverno e verão num horizonte temporal de cinco anos.

Uma vez identificadas as barras do sistema Norte de MG, fez-se necessário escolher, no máximo, 40 barras para realizar a simulação em regime permanente via Power World[®] devido a limitação deste software em sua versão educacional.

Como forma de tornar este sistema equivalente o mais próximo do sistema real, foram utilizadas técnicas de redução de redes por meio de quadripolos em série.

Com o sistema elétrico definido e modelado, aplicaram-se contingências como abertura de linhas de transmissão de 138kV a 500kV e abertura de transformadores de potência até a terceira zona de influência da UFV a fim de avaliar os níveis de tensão dessa região.

Salienta-se que os níveis graduais de despacho considerados neste estudo são de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% e que os mesmos representam, de forma discreta, a intermitência da fonte primária de energia da UFV devido à presença de nuvens. Foi utilizado um patamar de carga média, aderente aos casos do PAR. As contingências serão apresentadas na seção 4.3.

Por fim retifica-se que o principal intuito deste trabalho é realizar estudos em um cenário realístico, baseado em dados reais, válidos e utilizados pelo ONS e demais entidades para avaliar o SIN em regime permanente.

4.1. CASO PAR 2019-2023

O caso PAR acessado contém informações do horizonte do ano de 2019 a 2023 com patamares de carga média e pesada para períodos de inverno e verão. Este trabalho utilizou como referência o caso base do PAR de carga patamar média no verão dos anos 2020/2021. Foi escolhido o uso de um caso com carga média ao invés de carga pesada devido ao intervalo horário ao qual cada patamar é alocado segundo o ONS.

Os patamares de carga são definidos no Submódulo 5.6 do ONS e é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Intervalos horários dos patamares de carga de energia.

Patamar de Carga	Sem horário de verão		Com horário de verão	
	2ª feira a Sábado	Domingo/Feriado	2ª feira a Sábado	Domingo/Feriado
Pesada	18h às 21h	-	19h às 22h	-
Média	07h às 18h 21h às 24h	17h às 22h	07h às 19h 22h às 24h	18h às 23h
Leve	00h às 07h	00h às 17h 22h às 24h	00h às 07h	00h às 18h 23h às 24h

Fonte: Adaptado de (ONS, 2016b).

Uma vez analisada a Tabela 9 fica claro que, para cargas pesadas, não faz sentido a análise proposta neste trabalho visto que a geração de energia elétrica proveniente de fonte solar é predominante no patamar de carga média.

Os ANEXO D, ANEXO E, ANEXO F, ANEXO G, ANEXO H e ANEXO I apresentam, respectivamente, os dados da barras, circuitos de linhas de transmissão, transformadores de potência, banco de capacitores e reatores com controle de tensão, reatores fixos e dados de geração do PAR considerado.

4.2.MODELAGEM DO SISTEMA PROPOSTO

Utilizando-se os dados disponíveis no arquivo do PAR, foi necessário avaliar meios de reduzir a quantidade de barras do sistema das então 86 unidades para o limite permitido pela ferramenta computacional de 40 barras. No processo de readequação das barras e na definição do sistema a ser simulado foram adotadas as seguintes premissas:

- Algumas linhas de transmissão de 138kV foram reduzidas por meio de modelos π equivalentes em série com demais trechos;
- Cargas em barras omitidas foram distribuídas nas barras vizinhas de maneira a manter a carga total do cenário estudado próximo ao caso do PAR;
- Limites de despacho de potência ativa de todas centrais geradoras foram mantidas de acordo com o apresentado no ANEXO I;

- Limites de despacho de potência reativa de todas centrais geradoras foram mantidas de acordo com o apresentado no ANEXO D;
- Todas as centrais geradoras conectadas ao sistema devem ter capacidade de regulação de tensão na sua barra terminal;
- O estado (ligado/desligado) de todos bancos de capacitores e reatores foram inicialmente dispostos conforme o ANEXO G e o ANEXO H;
- Todos transformadores de potência, salve exceções apresentadas no transcórre dessa seção, foram considerados de acordo com o ANEXO F;
- Alguns banco de capacitores que encontravam-se em barras então omitidas foram realocados a barras vizinhas contendo as mesmas características apresentadas no ANEXO G com referência de controle de tensão na barra a qual os mesmos encontram-se conectados;
- Nenhuma linha de transmissão de 230kV, 345kV ou 500kV sofreu qualquer modificação nos seus parâmetros elétricos frente ao ANEXO E;
- A UFV Pirapora 2 foi conectada integralmente à barra 4348 e interconectada por meio do transformador de potência apresentado no ANEXO F entre as barras 4348 e 4366;
- A barra 4370 possui a UFV Paracatu, LER-009/2015 apresentado na Tabela 5, de 120MW nominais conectada;
- O despacho de potência ativa considerado para a UFV Paracatu foi igual ao apresentado no ANEXO D;
- O limite de potência reativa considerada para despacho da UFV Paracatu foi mantido conforme apresentado em 2.4;
- A barra 233 de 500kV foi selecionada para representar a referência do sistema como barra *Slack*.

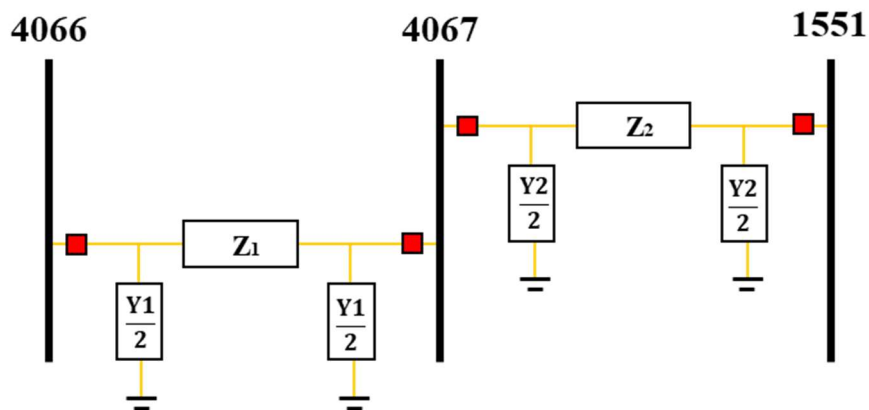
4.2.1. Readequação de linhas de transmissão

Para reduzir a quantidade de barras apresentadas no ANEXO D utilizam-se os métodos apresentados na seção 2.5. Em uma primeira etapa analisam-se todas as linhas de transmissão que operam com tensão nominal de 138kV e por meio da Equação (13) são determinados os parâmetros dos quadripolos equivalentes de cada uma das linhas. O APÊNDICE A apresenta uma tabela com os parâmetros elétricos de todas linhas de 138kV. Salienta-se que para a

realização desses cálculos foi utilizada a ferramenta computacional MICROSOFT EXCEL; base de potência do sistema de 100MVA; base de tensão de 138kV; impedância de base de $190,44 \Omega$ e admitância de base de $5,251 \text{mS}$.

A Figura 23 apresenta duas linhas de transmissão de 138kV em série com os parâmetros elétricos representados pela impedância total Z e admitância total Y de cada linha. A fim de realizar a simplificação da linha e reduzir o número de barras para duas unidades utiliza-se a Equação (14) e os dados dos parâmetros A, B, C e D dessas linhas apresentadas no APÊNDICE A.

Figura 23 – Representação de linhas 4066-4067 e 4067-1551.



Fonte: O Autor.

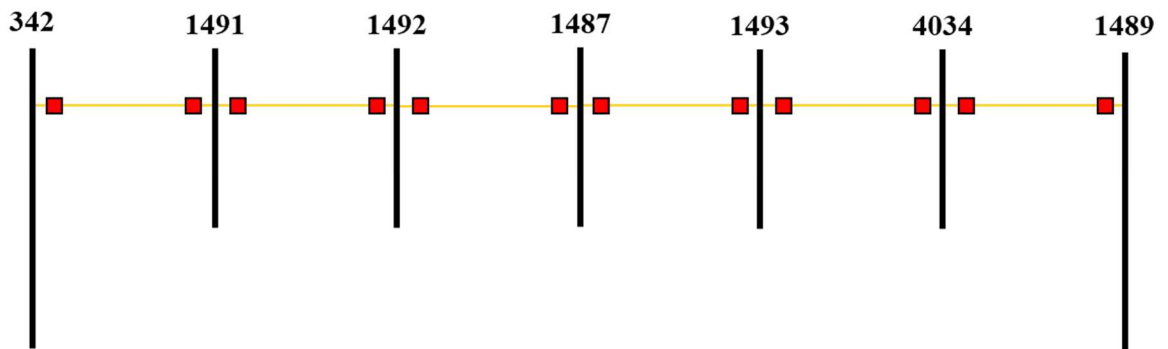
A Tabela 10 apresenta os parâmetros A, B, C e D das duas linhas e da linha equivalente 4066-1551. Essa nova linha será considerada no estudo deste trabalho.

Tabela 10 – Parâmetros ABCD das linhas 4066-4067, 4067-1551 e equivalente da linha 4066-1551.

LT	A (PU)	B (Ω)	C (S)	D (PU)
4066-4067	$0,9991 < 0,02^\circ$	$17,1635 < 68,93^\circ$	$1,08E - 04 < 90,01^\circ$	$0,9991 < 0,02^\circ$
4067-1551	$1,000 < 0,00^\circ$	$3,8052 < 68,57^\circ$	$2,50E - 05 < 90,00^\circ$	$1,000 < 0,00^\circ$
4066-1551	$0,9987 < 0,03^\circ$	$20,9646 < 68,87^\circ$	$1,33E - 04 < 90,01^\circ$	$0,9987 < 0,03^\circ$

A Figura 24 apresenta uma parte do sistema de transmissão de 138kV do caso do PAR que se deseja simplificar para duas barras. Nessa situação serão realizadas múltiplas simplificações consecutivas conforme método apresentado pela Equação (14).

Figura 24 – Representação das linhas de transmissão entre as barras 342 e 1489 na íntegra.



Fonte: O Autor.

A Tabela 11 apresenta os parâmetros A, B, C e D do primeiro processo de equivalência de linhas para a Figura 24. Em uma primeira etapa se apresenta os dados da equivalência da linha 342-1492, 1492-1493 e 1493-1489.

Tabela 11 - Parâmetros ABCD das linhas equivalentes 342-1492, 1492-1493 e 1493-1489.

LT	A (PU)	B (Ω)	C (S)	D (PU)
342-1492	$0,9907 < 0,21^\circ$	$55,8812 < 68,80^\circ$	$3,55E - 04 < 90,08^\circ$	$0,9907 < 0,21^\circ$
1492-1493	$0,9873 < 0,29^\circ$	$65,5526 < 68,90^\circ$	$4,15E - 04 < 90,11^\circ$	$0,9873 < 0,29^\circ$
1493-1489	$0,9990 < 0,03^\circ$	$18,8156 < 65,64^\circ$	$1,14E - 04 < 90,01^\circ$	$0,9990 < 0,03^\circ$

Na Tabela 12 é apresentada a equivalência da linha 342-1493 por meio da simplificação das duas linhas 342-1492 e 1492-1493 cujos dados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 12 - Parâmetros ABCD da linha equivalente 342-1493.

LT	A (PU)	B (Ω)	C (S)	D (PU)
342-1493	$0,9565 < 1,01^\circ$	$120,1070 < 69,10^\circ$	$7,62E - 04 < 90,34^\circ$	$0,9565 < 1,01^\circ$

Na Tabela 13 é apresentada a equivalência final por meio da linha 342-1489 onde se simplifica as duas linhas 342-1493 e 1493-1489 cujos dados são apresentados na Tabela 11 e na Tabela 12.

Tabela 13 - Parâmetros ABCD da linha equivalente 342-1489.

LT	A (PU)	B (Ω)	C (S)	D (PU)
342-1489	$0,9428 < 1,35^\circ$	$137,9733 < 68,80^\circ$	$8,70E - 04 < 90,45^\circ$	$0,9428 < 1,35^\circ$

Por meio das Equações (10) e (13) é possível obter a impedância total e a admitância total da linha de transmissão equivalente 342-1489 para que, por meio das Equações (11) e (12), sejam apresentados os parâmetros elétricos da LT com suas respectivas grandezas elétricas e também em PU. A Tabela 14 apresenta esses dados para a linha 342-1489 baseados nos parâmetros de quadripolo da Tabela 13.

Tabela 14 – Parâmetros elétricos da linha equivalente 342-1489.

LT	Z (Ω)	R (Ω)	X (Ω)	Y (S)
342-1489	$137,9733 < 68,80^\circ$	49,89	128,64	$8,92E - 04$
			-	
	R (PU)	X (PU)	Y (PU)	Y (Mvar)
	0,2620	0,6755	0,1699	16,99

Salienta-se que a Tabela 14 apresenta os parâmetros elétricos em PU pois toda modelagem de linhas de transmissão no Power World[®] é realizada inserindo esses dados em PU.

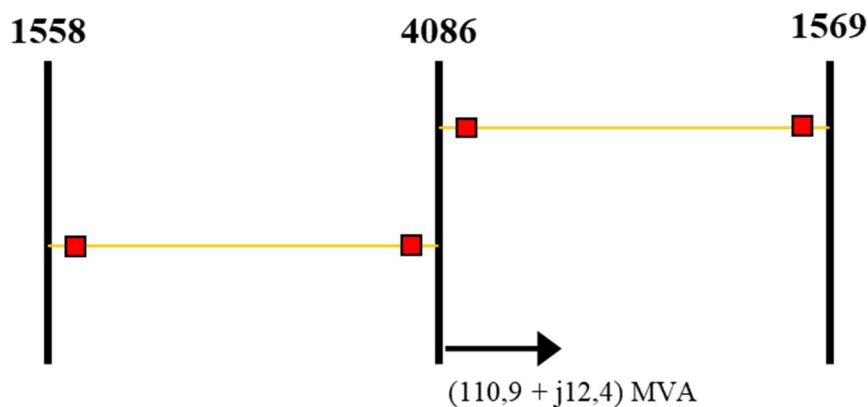
Foram realizados 25 processos de simplificações de linhas de transmissão de todas redes de 138kV apresentadas no ANEXO E. O APÊNDICE B apresenta os parâmetros de quadripolo das linhas equivalentes consideradas nesse estudo e o APÊNDICE C apresenta os parâmetros elétricos de todas linhas equivalentes consideradas nesse estudo. Ambos apêndices tratam de linhas de 138kV que foram submetidas a algum processo de simplificação.

4.2.2. Redistribuição de cargas

Ao passo que barras são omitidas quando se realiza a simplificação das linhas de transmissão conforme apresentado em 4.2.1 tornou-se necessário distribuir as cargas das respectivas barras nas demais da vizinhança. Para esse procedimento foram adotados métodos dentre os quais o primeiro foi optar por dividir os valores então existentes de carga na barra omitida igualmente entre as demais a jusante e a montante.

A Figura 25 apresenta a distribuição de carga da barra 4086 entre as barras 1558 e 1569. A barra 4086 possui 110,9MW de potência ativa e 12,4Mvar de potência reativa capacitiva conectadas.

Figura 25 – Distribuição de carga de sistema radial.



Fonte: O Autor.

Essa operação, apresentada na tabela M do APÊNDICE D e ilustrada pela Figura 26, distribuiu 55,45MW de potência ativa e 6,2Mvar de potência reativa capacitiva para as barras 1558 e 1569 que são a primeira vizinhança. Vale salientar que a operação referente a linha de transmissão seguiu de acordo com o apresentado na seção 4.2.1 e os resultados dessa simplificação encontram-se no APÊNDICE C.

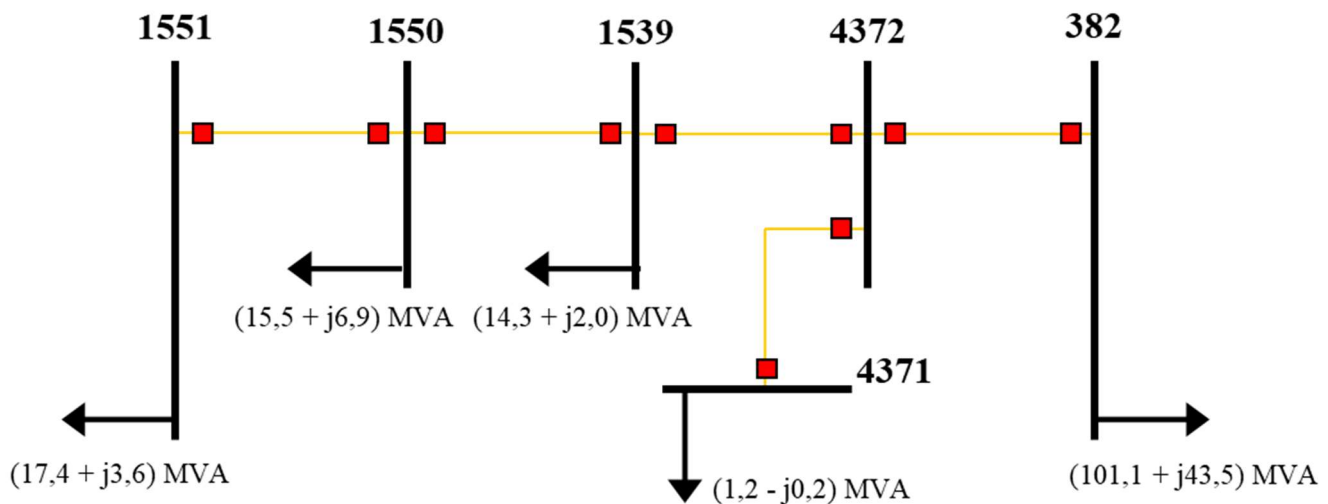
Figura 26 – Distribuição de carga entre barras 1558 e 1569.



Fonte: O Autor.

O processo de redistribuição não foi realizado de mesma forma com as barras cujas linhas de transmissão não seguiam radialmente. Esses casos foram tratados individualmente. A Figura 27, por exemplo, apresenta a barra 4371 como um ramo entre as barras 382 e 1551 e as demais barras, linhas e cargas entre essas.

Figura 27 - Distribuição de carga de sistema não radial.

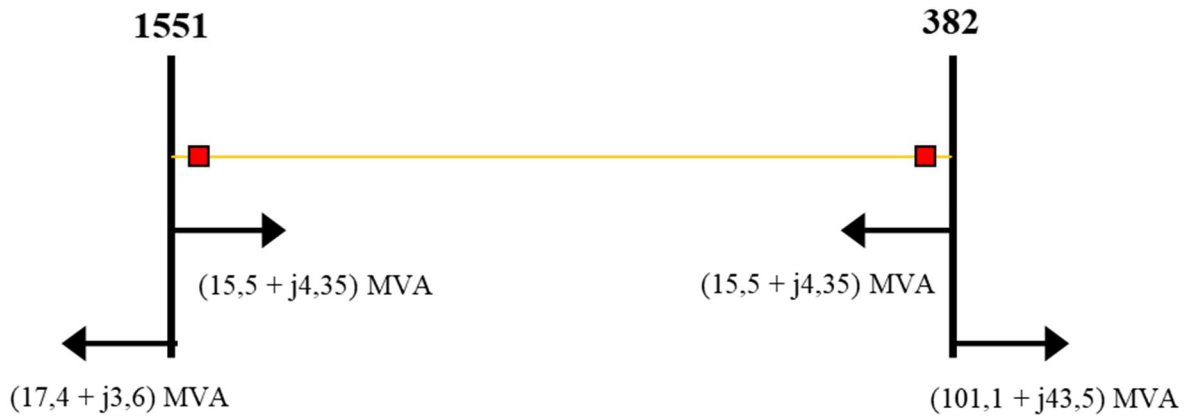


Fonte: O Autor.

O processo realizado na Figura 27 e apresentado na tabela F do APÊNDICE D consiste em distribuir a carga da barra 4371 nas barras 382 e 1551 omitindo os parâmetros da linha de transmissão entre a barra 4372 e a barra 4371 e, num segundo momento, é realizado a distribuição das demais barras entre as barras 1551 e 382 e a simplificação de linhas de transmissão em série por meio do que foi apresentado na seção 4.2.1. A Figura 28 apresenta o

sistema resultante dessa operação e o APÊNDICE C apresenta os parâmetros elétricos equivalentes dessa operação.

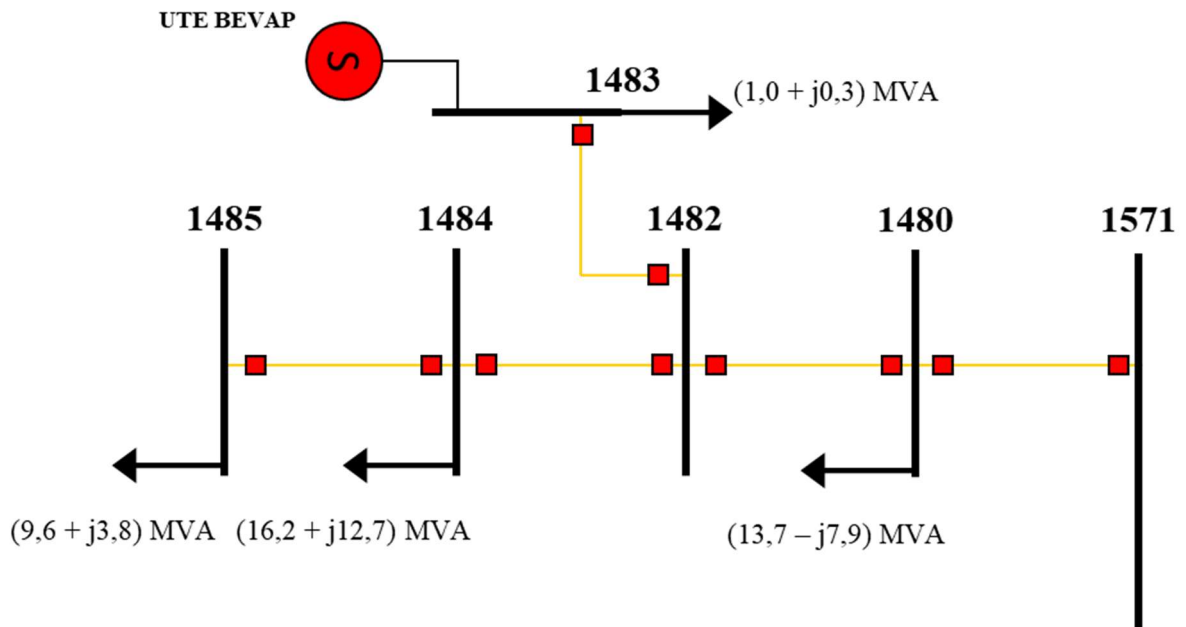
Figura 28 - Distribuição de carga entre barras 1551 e 382.



Fonte: O Autor.

As tabelas L e P do APÊNDICE D apresentam os resultados obtidos pós distribuição de carga do sistema da Figura 29.

Figura 29 – Distribuição de carga na presença de uma unidade geradora.

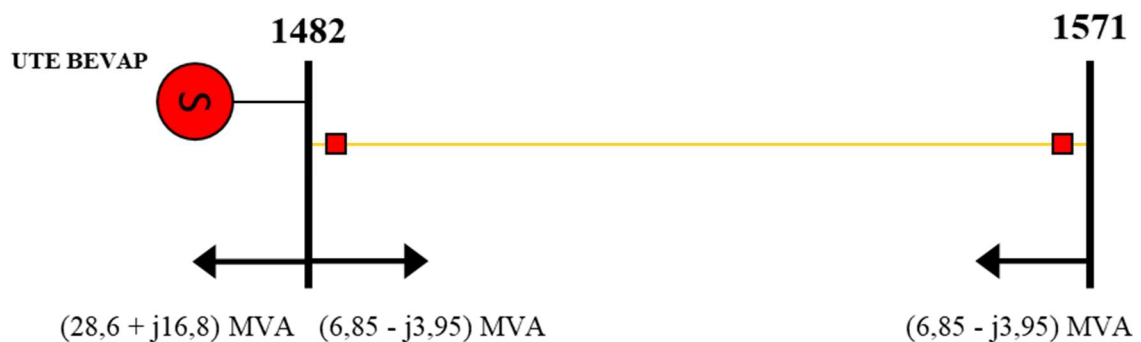


Fonte: O Autor.

A simplificação da Figura 29 foi realizada de maneira a manter as barras 1482 e 1571 no cenário da simulação. Para tal, realizou-se uma redução radial da carga da barra 1480 entre a

1482 e 1571 conforme mostrado na Figura 25 e num segundo momento foi transferida toda carga das barras 1483, 1484 e 1485 para a barra 1482. A conexão da central geradora UTE Bevap também foi transferida para a barra 1482, sendo realizada uma simplificação de linha de transmissão entre as barras 1571 e 1483 conforme apresentado no APÊNDICE C, sendo omitidos os trechos entre as barras 1482 e 1485 e o trecho entre as barras 1483 e 1482 da simulação. A Figura 30 ilustra o resultado dessa operação.

Figura 30 - Distribuição de carga entre barras 1571 e 1482.



Fonte: O Autor.

Todos os resultados das operações apresentadas nessa seção e das demais cargas que foram realocadas devido a simplificação de linhas de transmissão encontram-se no APÊNDICE D. Realizaram-se ao todo 18 operações indicadas por tabelas de A à R, onde cada uma apresenta os dados das cargas conectadas às barras analisadas e a distribuição final da carga entre as barras que são apresentadas no modelo utilizado para o estudo deste trabalho.

4.2.3. Disposição do sistema proposto via Power World[®]

Seguindo as premissas descritas em 4.2, os métodos de simplificação de redes e redistribuição de cargas em 4.2.1 e 4.2.2, respectivamente, é possível representar o sistema do caso PAR de 4.1 conforme restrições do software Power World[®] no que diz respeito ao número de barras.

A Tabela 15 apresenta as 40 barras consideradas nas simulações deste trabalho, os respectivos nomes, tensão nominal e cargas conectadas em cada uma.

Tabela 15 – Barras utilizadas na simulação proposta via *Power World*®.

Barra	Nome	Tensão Nominal (kV)	P1 (MW)	Q1 (Mvar)
233	CSAMAMB-DF500	500	0	0
300	VEMBORCUHE004	4	0	0
304	VT.MAR-UHE006	6	0	0
320	CEMBORC-MG500	500	0	0
341	EMCLARO-MG345	345	0	0
342	GMCLAR2-MG138	138	164,75	42,25
380	ETMARIA-MG345	345	0	0
381	YTMARIA-MG289	289	0	0
382	GTMARIA-MG138	138	147,35	46,55
390	CSGOTAR-MG500	500	0	0
391	ESGOTA2-MG345	345	0	0
398	EVPALMA-MG345	345	0	0
399	GVPALM-PCH138	138	58,75	24,7
1481	GJANAU1-MG138	138	47,3	0,9
1482	GJOAOP2-MG138	138	33,65	12,85
1489	GMANGA5BIO138	138	50,2	-1,6
1542	GMCLAR1PCH138	138	104,85	28,8
1551	GPARAC1-MG138	138	32,9	7,95
1558	GPIRAPO-MG138	138	129	1,7
1569	GPIRAP2-MG138	138	110,7	8,25
1571	GBURITI-MG138	138	6,85	-3,95
3007	CLUZIAN-GO500	500	0	0
3008	CPARAC4-MG500	500	145	29,4
4039	VQUEIMAUHE003	3	0	0
4041	GQUEIMA-MG138	138	46,45	1,3
4049	CPIRAP2-MG500	500	0	0
4051	EPIRAP2-MG345	345	0	0
4064	VIRAPE-UHE003	3	0	0
4065	EIRAPE--MG345	345	0	0
4066	GPARAC4-MG138	138	88,75	-13,5
4068	VR.BAIXUHE002	2	0	0
4069	GR.BAIX-MG138	138	30,75	-1,3
4070	FARACUA-MG230	230	0	0
4071	FIRAPE--MG230	230	0	0
4081	GARACUA-MG138	138	37,15	0,7
4348	GVAZAN-UFV138	34,5	0	0
4366	GPIRAP2UFV138	138	0	0
4370	GPARAC4UFV138	138	0	0
9445	GBATALH-MG138	138	0	0
9446	VBATALHUHE002	2	0	0

A Tabela 16 apresenta as características elétricas das 39 linhas de transmissão consideradas nas simulações.

Tabela 16 – Linhas de transmissão utilizadas na simulação proposta via Power World[®].

LT	Tensão Nominal (kV)	R (PU)	X (PU)	B (PU)
233-320	500	0,00274	0,03867	3,4403
233-3007	500	0,00046	0,0072	1,0357
320-390	500	0,0022	0,0342	2,748
320-3008	500	0,00125	0,01996	2,909
398-341	345	0,004	0,0447	0,1826
341-4051	345	0,0043	0,0456	0,76
341-4065	345	0,0041	0,042	0,759
1481-342	138	0,11778	0,3089	0,0366
1481-342	138	0,11604	0,30651	0,07418
1489-342	138	0,26198	0,67547	0,16988
1542-342	138	0,0067	0,0152	0,014
391-380	345	0,0048	0,0518	0,8774
380-398	345	0,0027	0,02914	0,07305
399-382	138	0,0854	0,2351	0,05497
382-1551	138	0,37479	0,60245	0,13611
382-1571	138	0,1174	0,3107	0,0588
4069-382	138	0,12716	0,35855	0,23399
398-4051	345	0,0016	0,0111	0,181
399-1542	138	0,21073	0,36389	0,90907
1558-399	138	0,0515	0,0968	0,0228
399-1569	138	0,0363	0,08662	0,02224
1481-1489	138	0,10308	0,26729	0,06592
4081-1481	138	0,17742	0,55749	0,14119
1482-1571	138	0,15362	0,3925	0,01883
1569-1542	138	0,1428	0,3788	0,0907
1551-4066	138	0,046	0,142	0,035
1551-4066	138	0,03968	0,10268	0,02556
1551-9445	138	0,0753	0,1954	0,0479
1558-1569	138	0,0061	0,0159	0,0038
1558-1569	138	0,0111	0,03591	0,01011
1558-1569	138	0,01062	0,03576	0,00998
1558-1571	138	0,01848	0,047	0,00957
1569-4366	138	0,0024	0,02093	0,00939
3008-3007	500	0,00076	0,01185	1,709
4049-3007	500	0,00222	0,03588	5,4076
4049-3008	500	0,00231	0,03356	2,96
4066-4041	138	0,16153	0,42062	0,10421
4066-4370	138	0,0024	0,0209	0,00939
4071-4070	230	0,0099	0,0603	0,1157

A Tabela 17 apresenta os 30 transformadores de potência considerados nas simulações deste trabalho. Salienta-se que LTC se refere a *load tap changing*, do inglês mudança de tap sob carga.

Tabela 17– Transformadores de potência utilizados na simulação proposta via Power World[®].

Transformador	X (PU)	CTRL	Tap (PU)	Tap Mín (PU)	Tap Máx (PU)	BCTRL	Cn (MVA)	Ce (MVA)
300-320	0,010180	Fixo	1,05	0,51	1,5	-	1200	1200
381-304	0,027000	Fixo	1,025	0,51	1,5	-	400	400
341-342	0,047000	LTC	0,9863	0,825	1,038	342	150	164,3
342-341	0,047000	LTC	0,9863	0,825	1,038	342	150	182,3
341-342	0,051000	LTC	0,9863	0,825	1,038	342	150	190,3
381-380	0,011500	Fixo	0,999	0,51	1,5	-	407	448
381-380	0,011700	Fixo	0,999	0,51	1,5	-	450	540
382-381	0,077000	Fixo	1,012	0,51	1,5	-	150	183
382-381	0,077000	Fixo	1,012	0,51	1,5	-	150	183
382-381	0,279000	Fixo	1,005	0,51	1,5	-	40	51
390-391	0,027500	Fixo	1,075	0,51	1,5	-	400	452
390-391	0,024000	Fixo	1,075	0,51	1,5	-	400	496
398-399	0,043500	LTC	0,9626	0,825	1,038	399	150	200,3
398-399	0,044500	LTC	0,9626	0,825	1,038	399	150	202,3
399-398	0,050500	LTC	0,9627	0,825	1,038	399	150	202,3
1569-4051	0,047000	LTC	1	0,9	1,1	1569	300	390,3
1569-4051	0,047000	LTC	1	0,9	1,1	1569	300	390,3
4066-3008	0,040000	LTC	0,9649	0,95	1,05	4066	300	390
4066-3008	0,040000	LTC	0,9649	0,95	1,05	4066	300	390
4041-4039	0,081080	Fixo	1,025	0,51	1,5	-	112	112
4051-4049	0,011400	Fixo	1,05	0,51	1,5	4051	1050	1365
4051-4049	0,011400	Fixo	1,05	0,51	1,5	-	1050	1365
4065-4064	0,027800	Fixo	1,025	0,51	1,5	4065	360	360
4065-4071	0,053000	Fixo	1	0,51	1,5	4065	225	293
4065-4071	0,049700	Fixo	1	0,51	1,5	-	225	293
4069-4068	0,075450	Fixo	1	0,51	1,5	-	90	90
4070-4081	0,053000	LTC	0,9774	0,9	1,1	4081	225	270,3
4070-4081	0,053000	LTC	0,9774	0,9	1,1	4081	225	270,3
4366-4348	0,000010	Fixo	1	0,51	1,5	-	378	378
9445-9446	0,152170	Fixo	1,05	0,51	1,5	-	60	60

A Tabela 18 apresenta todos os reatores que possuem controle fixo ou discreto do nível de tensão das barras as quais estão conectadas considerados no transcórre deste trabalho. Salienta-se que CTRL se refere ao tipo de controle – fixo ou discreto; Vmin e Vmáx são os limites de

tensão controlada de barra em PU referente ao valor mínimo e máximo, respectivamente; BCTRL é a barra controlada; Qi é o valor inicial do reator em Mvar; U é a quantidade de reatores conectados; Uop é a quantidade de reatores que se encontram em estado de operação ativo; Sh é o valor nominal do reator em Mvar.

Tabela 18 - Reatores com controle de tensão utilizados na simulação proposta via Power World[®].

Barra		CTRL	Vmin (PU)	Vmax (PU)	BCTRL	Qi (Mvar)	U	Uop	Sh (Mvar)
De	Para								
320	390	D	0,95	1,1	320	-90,7	1	1	-90,7
390	-	F	0,95	1,1	390	-91	2	1	-91
391	-	D	0,95	1,05	391	150	2	1	150
341	4065	D	0,95	1,05	341	-50	1	1	-50
3007	-	D	0,95	1,1	3007	-272	2	2	-136
3008	4049	D	1	1,1	3008	-91	1	1	-91
3008	4049	D	1	1,1	4049	-100	1	1	-100
4051	-	D	0,95	1,05	4051	-160	2	2	-80
4071	-	D	0,95	1,05	4071	-40	2	1	-40

A Tabela 19 apresenta os reatores que não possuem controle de tensão. Os valores de despacho de potência reativa são fixos e identificados na tabela por Sh e dados em Mvar.

Tabela 19 - Reatores sem controle de tensão utilizados na simulação proposta via Power World[®].

Barra		Sh (Mvar)	
De	Para	De	Para
233	320	-73,5	-73,5
3007	4049	-200	-200
3008	320	-136	0
320	390	-90,7	0

A Tabela 20 apresenta todos os bancos de capacitores que possuem controle fixo ou discreto do nível de tensão das barras. Salienta-se que CTRL se refere ao tipo de controle – fixo ou discreto; Vmin e Vmáx são os limites de tensão controlada de barra em PU referente ao valor mínimo e máximo, respectivamente; BCTRL é a barra controlada; Qi é o valor inicial do banco de capacitor em Mvar; U é a quantidade de bancos de capacitores conectados; Uop é a quantidade de bancos de capacitores que se encontram em estado de operação ativo; Sh é o valor nominal do banco de capacitor em Mvar.

Tabela 20 – Bancos de capacitores utilizados na simulação proposta via Power World[®].

Barra		CTRL	Vmin (PU)	Vmax (PU)	BCTRL	Qi (Mvar)	U	Uop	Sh (Mvar)
De	Para								
1588	-	D	0,8	1,2	1588	16,4	1	0	16,4
4037	-	D	0,95	1,05	4037	16,4	1	0	16,4
4074	-	D	0,95	1,05	4074	16,4	1	1	16,4
4073	-	D	0,95	1,05	4073	4,8	2	1	4,8
399	-	D	1	1,05	399	0	1	0	16,6
1558	-	D	0,95	1,05	1558	15,7	1	0	15,7
1558	-	D	0,95	1,05	1558	0	1	0	17,1
1493	-	D	0,95	1,05	1493	0	1	0	16,4
1486	-	D	0,95	1,05	1486	0	1	0	16,4
342	-	D	0,95	1,05	342	0	1	0	15,7
391	-	D	0,95	1,05	391	150	2	1	150
1551	-	D	0,95	1,05	1551	0	1	0	10,8
1551	-	D	0,95	1,05	1551	0	1	0	17,1
1588	-	D	0,8	1,2	1588	0	1	0	16,4
1571	-	D	0,95	1,05	1571	0	1	0	17,1

A Tabela 21 apresenta todas unidades geradoras consideradas. Por fim, o despacho da UFV Paracatu foi adequado ao nível de potência ativa apresentado no ANEXO D e o despacho da UFV Pirapora 2 não é apresentado visto que essa é a variável de estudo deste trabalho.

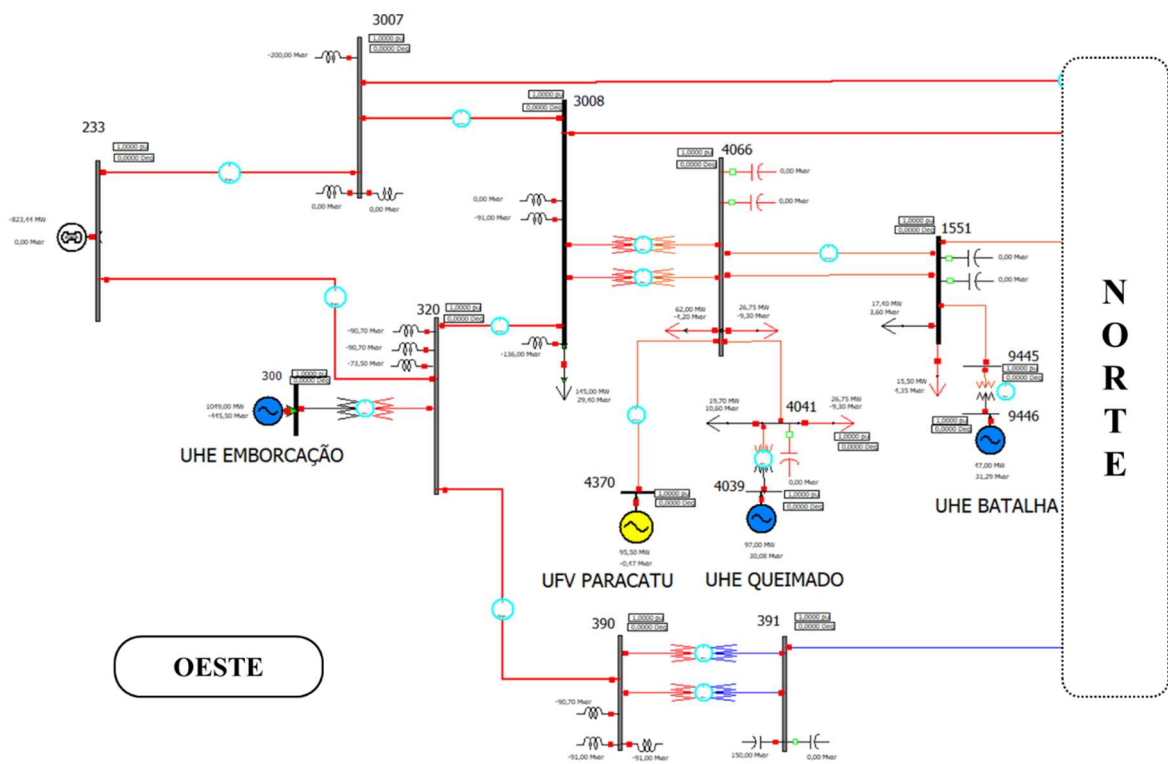
Tabela 21 – Unidades geradoras utilizadas na simulação proposta via Power World[®].

Barra	Nome	Despacho (MW)	Pmín (MW)	Pmáx (MW)	Qmín (Mvar)	Qmáx (Mvar)
233			SLACK			
300	UHE Emborcação	1049	0	1130	-440	392
304	UHE Três Marias	351,9	351	370	-90	90
1482	UTE Bevap	58,8	0	24,8	-18	18
1489	UTE São Judas Tadeu	0	0	8	-2,4	2,4
4039	UHE Queimado	97	97	97	-46,5	52,5
4064	UHE Irapé	314	314	359	-189	143,1
4068	UHE Retiro Baixo	81	76	81	-82	60
4348	UFV Pirapora 2	-	0	321	-92,75	92,75
4370	UFV Paracatu	95,5	0	120	-46,5	52,5
9446	UHE Batalha	47	40	49	-29	26

O nível de despacho de potência ativa apresentado no software Power World[®] para cada unidade geradora é equivalente ao apresentado na Tabela 21. Os níveis de despacho de potência reativa são adequados de maneira a manter a barra a qual os mesmos encontram-se conectados na tensão de 1 PU.

A Figura 31 apresenta o setor Oeste do sistema modelado via Power World[®] com quatro unidades geradoras e a barra *slack* – barra 233. Salienta-se que a UFV Paracatu se encontra conectada a barra 4066 por meio de uma linha de transmissão de 138kV e a UHE Emborcação possui cerca de 43% da capacidade instalada no sistema proposto.

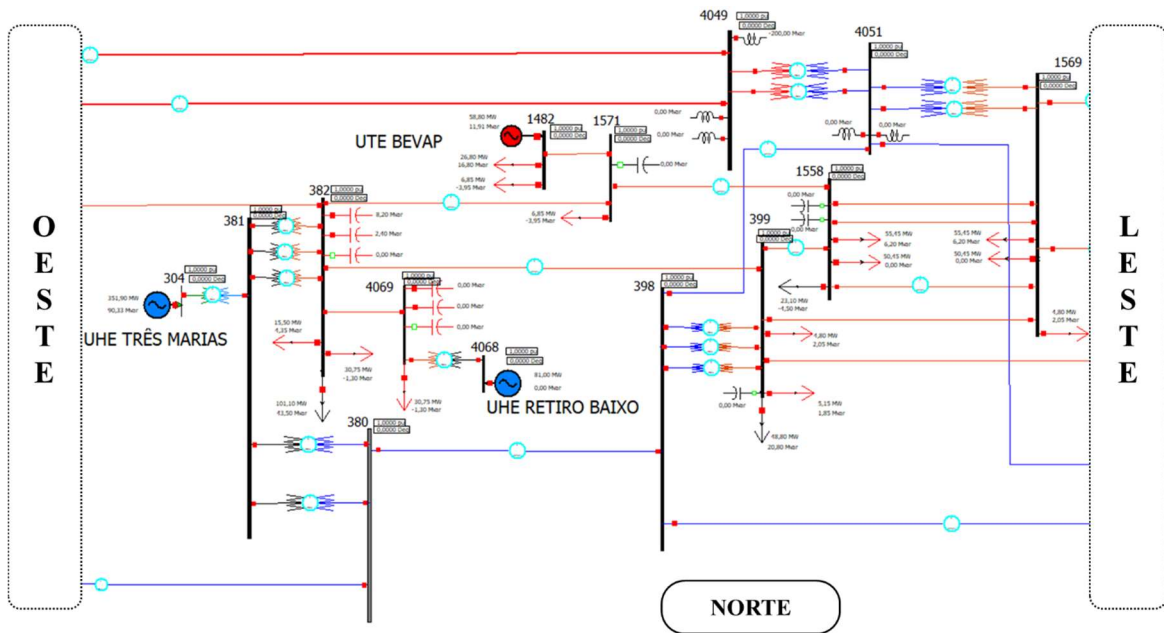
Figura 31 – Detalhamento do setor Oeste do sistema proposto via Power World[®].



Fonte: O Autor.

A Figura 32 apresenta o setor Norte do sistema modelado via Power World[®] com três unidades geradoras. Salienta-se que todas as barras a direita da 398 no setor Norte encontram-se na primeira ou segunda zona de influência da UFV Pirapora 2.

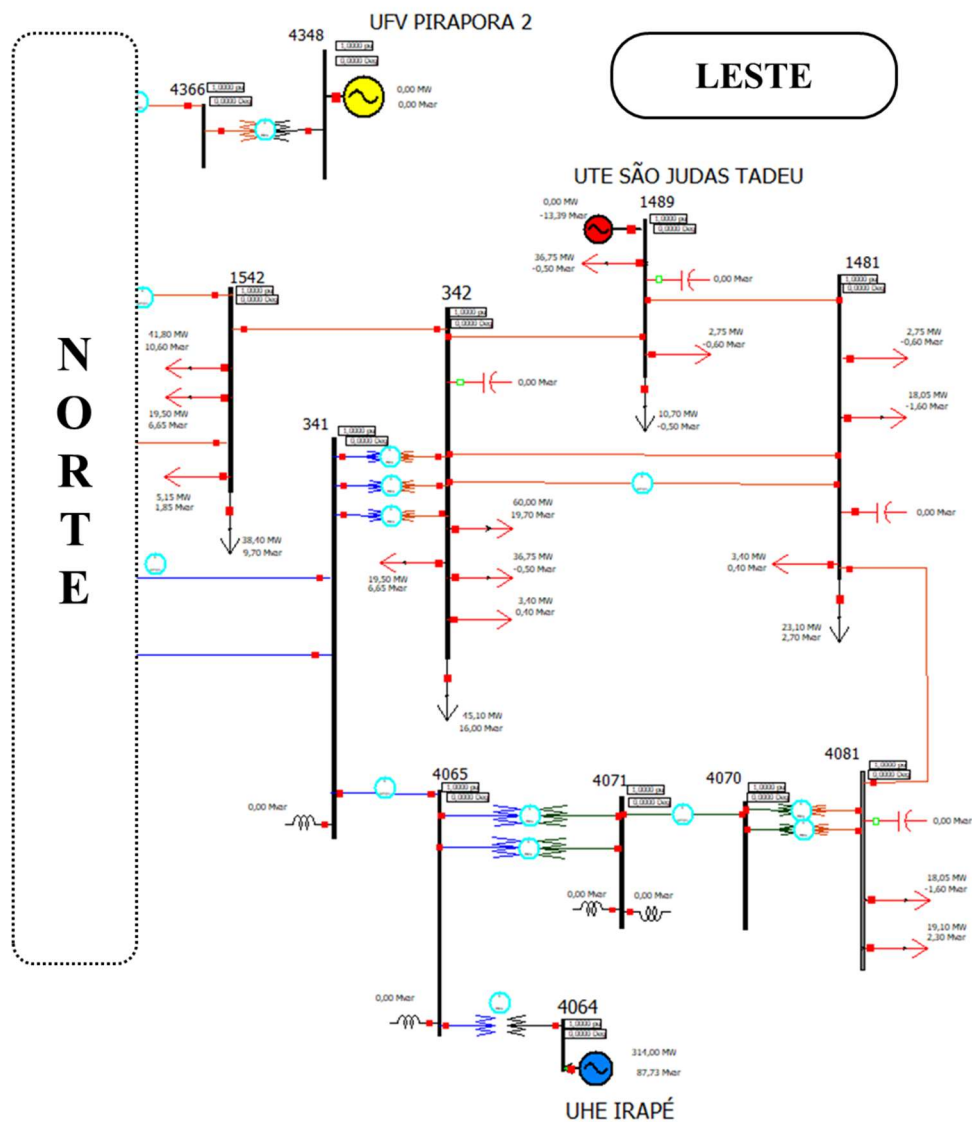
Figura 32 – Detalhamento do setor Norte do sistema proposto via Power World[®].



Fonte: O Autor.

A Figura 33 apresenta o setor Leste do sistema modelado via Power World[®] com três unidades geradoras. Salienta-se que a UFV Pirapora se encontra conectada ao sistema por meio da barra 4348 onde o transformador elevador interconectado à barra 4366 eleva a tensão de 34,5kV para 138kV e transmite por meio de linha de transmissão exclusiva nessa tensão nominal até a barra 1569 localizada no setor Norte.

Figura 33 – Detalhamento do setor Leste do sistema proposto via Power World[®].



Fonte: O Autor.

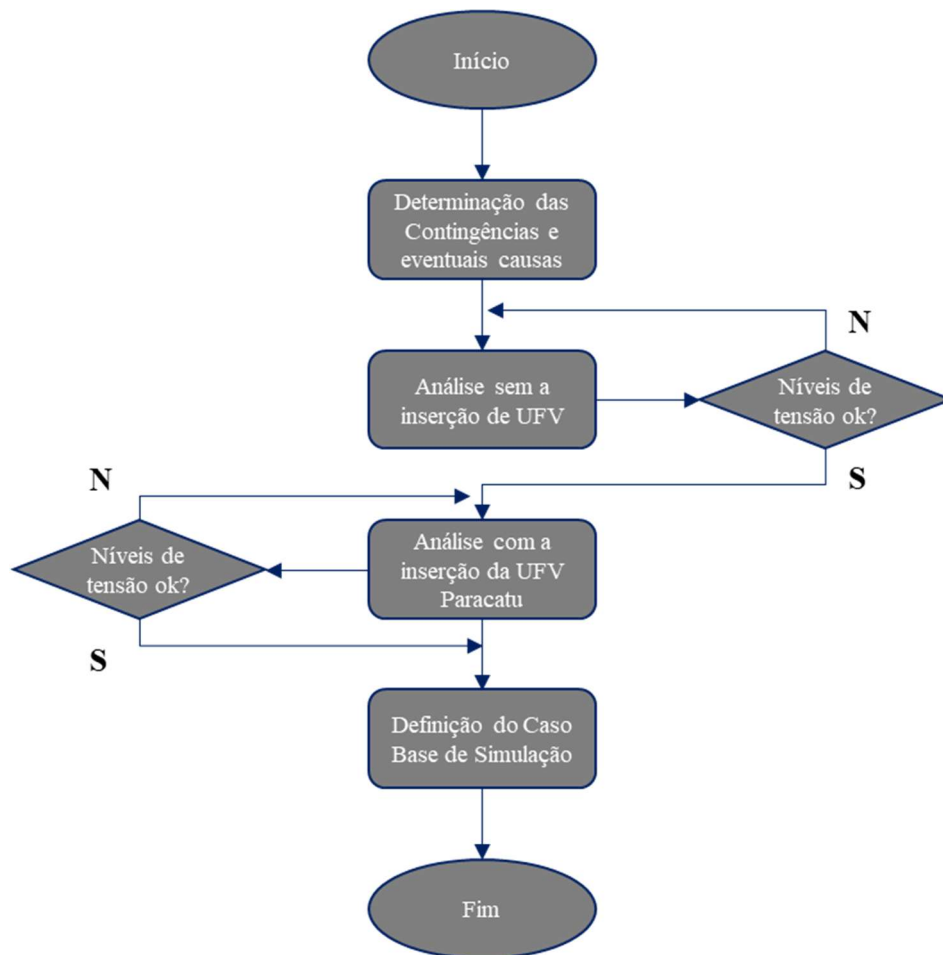
O sistema modelado via Power World[®] é apresentado na íntegra no APÊNDICE E. Os parâmetros apresentados nessa seção são utilizados como base para todas as simulações. Salienta-se que nenhum parâmetro elétrico das linhas de transmissão, transformadores de potência, reatores e capacitores foram modificados no transcorrer deste trabalho, salvo casos expressamente comentados.

4.3.SIMULAÇÃO E ANÁLISE EM REGIME PERMANENTE

Uma vez modelado todo o sistema de geração e transmissão torna-se necessário definir os processos a fim de averiguar um caso base de simulação que servirá como referência às demais

simulações do estudo de impacto de UFVs. Para tal, a Figura 34 apresenta um fluxograma onde são definidas as primeiras ações tomadas para determinar esse caso.

Figura 34 - Diagrama de processos de elaboração do caso base para o sistema proposto.



Fonte: O Autor.

No transcorrer da modelagem do sistema se optou por simular oito contingências em linhas de transmissão e transformadores em regime permanente de operação conforme apresentado na Tabela 22, para os dois cenários apresentados na Figura 35.

Tabela 22 – Contingências consideradas na análise do sistema proposto.

#	Contingência	LT/TR
1	Abertura de LT 138kV	1569-1542
2	Abertura de LT 345kV	341-4051
3	Abertura de TR 345kV/138kV	4051-1569
4	Abertura de LT 138kV	1558-1569
5	Abertura de TR 500kV/345kV	4051-4049
6	Abertura de LT 345kV	398-4051
7	Abertura de LT 500kV	4049-3008
8	Abertura de LT 500kV	4049-3007

Figura 35 – Cenários analisados na presença das contingências.

#	CENÁRIOS	NÍVEIS	POSSÍVEL CAUSA
1	DESPACHO DE POTÊNCIA ATIVA	0% 25% 50% 75% 100%	INTERMITÊNCIA DE FONTE PRIMÁRIA
2	DESPACHO MÁXIMO DE POTÊNCIA ATIVA OU REATIVA INDUTIVA/CAPACITIVA	100%	COMANDO EXPRESSO DO OPERADOR

Fonte: O Autor.

Na sequência foi simulado um caso de fluxo de potência no software Power World[®] com os parâmetros e características apresentados em 4.2.3 sem a presença de qualquer empreendimento solar fotovoltaico. Isso foi realizado pois entende-se que toda UFV deve operar, conforme apresentado no ANEXO B, como recurso adicional para controle de tensão. Isso significa que o sistema proposto não deve violar os princípios apresentados em 2.4 no que diz respeito aos limites dos níveis de tensão em regime permanente iguais a 0,95 PU e 1,05 PU, para condição normal sem as UFVs.

Salienta-se que para representar a ausência da UFV Pirapora 2 e a UFV Paracatu abriram-se as linhas de transmissão 1569-4366 e 4066-4370 de 138kV, respectivamente. Isso foi

realizado pois essas linhas de transmissão são exclusivas aos empreendimentos e, portanto, devem ser retiradas da simulação junto das UFVs.

A Tabela 23 apresenta os níveis de tensão em todas as barras do sistema proposto uma vez simulado o fluxo de potência para o caso sem a inserção das usinas fotovoltaicas.

Tabela 23 – Níveis de tensão nas barras sem a presença de usinas fotovoltaicas.

Barra	Tensão (PU)	Barra	Tensão (PU)
233	1,00000	1571	1,02707
300	1,01871	3007	1,01144
304	1,00000	3008	1,01122
320	1,00000	4039	1,00000
341	1,0262	4041	1,02716
342	1,03041	4049	0,99672
380	1,02303	4051	1,03435
381	1,02065	4064	0,95709
382	1,02597	4065	1,00000
390	1,03192	4066	0,97963
391	0,99264	4068	1,00000
398	1,03078	4069	1,01891
399	1,04711	4070	1,00756
1481	1,02484	4071	1,0049
1482	1,00000	4081	1,03376
1489	1,00461	4348	0
1542	1,02777	4366	0
1551	0,99035	4370	0
1558	1,02902	9445	1,03738
1569	1,03208	9446	1,00000

Visto que não houve violações, realiza-se uma simulação com a inserção da UFV Paracatu com níveis de despacho, conforme apresentado no ANEXO D, iguais a 95,5MW de potência ativa, sendo os limites de despacho de reativo de 35Mvar capacitivo e 35Mvar indutivo, os quais representam uma relação de despacho de reativo com despacho máximo de potência ativa próxima de 29,2%. Essa faixa apresentada é inferior ao limite estabelecido pelo submódulo 3.6 do ONS citado em 2.4 e ilustrado pela Figura 12 iguais a 32,9% e que representa uma solicitação hipotética por parte do Operador que aproxima-se ao apresentado em 2.4 para a UFV Pirapora 2: relação de 28,9%, aproximadamente. Por fim salienta-se que a UFV Paracatu despacha potência reativa necessária a fim de manter a barra 4370 em 1 PU.

A Tabela 24 apresenta os níveis de tensão em todas as barras do sistema proposto uma vez simulado o fluxo de potência para o caso com a inserção da UFV Paracatu.

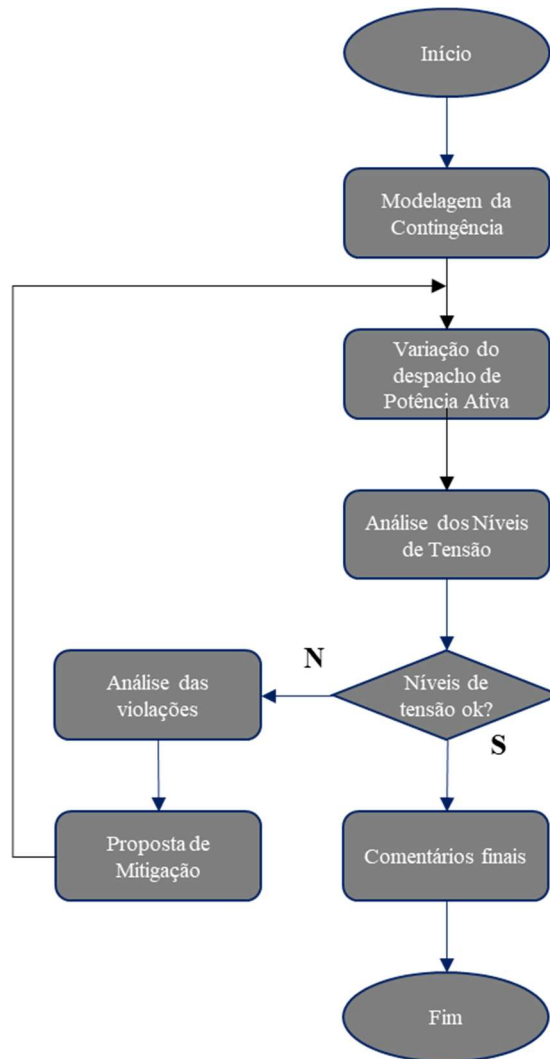
Tabela 24 – Níveis de tensão nas barras com a presença da UFV Paracatu.

Barra	Tensão (PU)	Barra	Tensão (PU)
233	1,00000	1571	1,02728
300	1,01737	3007	1,01230
304	1,00000	3008	1,01397
320	1,00000	4039	1,00000
341	1,02565	4041	1,02852
342	1,02904	4049	0,99750
380	1,02315	4051	1,03482
381	1,02075	4064	0,95786
382	1,02602	4065	1,00000
390	1,03198	4066	0,98806
391	0,9927	4068	1,00000
398	1,03100	4069	1,01892
399	1,04729	4070	1,00634
1481	1,01526	4071	1,00453
1482	1,00000	4081	1,03214
1489	1,00000	4348	0
1542	1,02650	4366	0
1551	0,99746	4370	0,99760
1558	1,02929	9445	1,04060
1569	1,03236	9446	1,00000

Uma vez analisada a Tabela 24 percebe-se que a inserção da UFV Paracatu com as condições pré-determinadas de despacho de ativo e reativo não acarreta violação das premissas estabelecidas pelo módulo 3.6 do ONS. Salienta-se que, para esse caso simulado, a UFV Paracatu despacha 35Mvar de potência reativa e que os dados apresentados na Tabela 24 serão utilizados como caso base para comparar os dados das simulações no transcórrer deste trabalho.

A Figura 36 apresenta um fluxograma dos processos adotados para a execução das simulações referentes ao cenário número 1 da Figura 35. Salienta-se que o processo apresentado é realizado para as oito contingências.

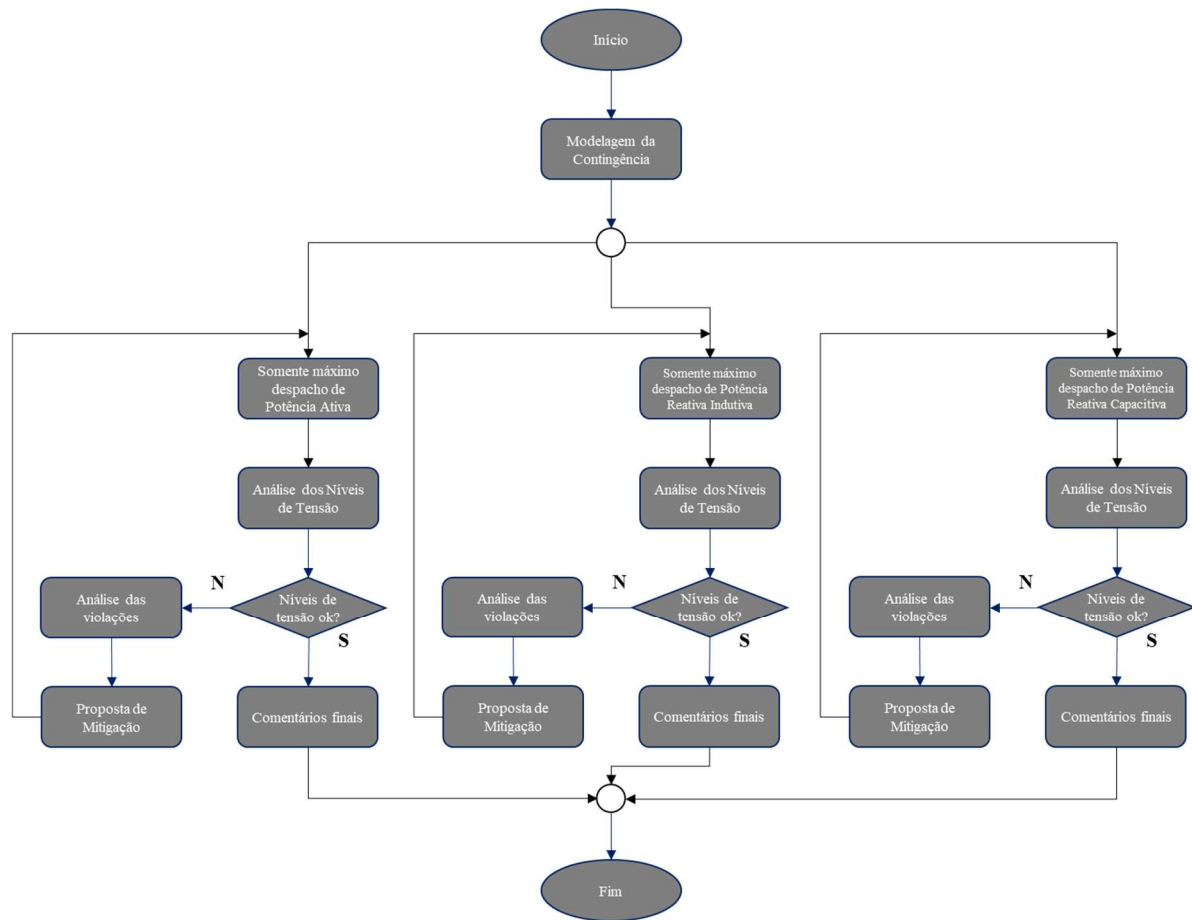
Figura 36 - Diagrama de processos de execução das simulações com variação de despacho de potência ativa.



Fonte: O Autor.

A Figura 37 apresenta um fluxograma das ações adotadas para a execução das simulações referentes ao cenário número 2 da Figura 35.

Figura 37 - Diagrama de processos de execução das simulações com níveis máximo de despacho de potência ativa e reativa.



Fonte: O Autor.

Salienta-se que os processos apresentados são realizados para as oito contingências críticas propostas neste trabalho.

CONTINUAÇÃO								
Barra	Cont. 1	Cont. 2	Cont. 3	Cont. 4	Cont. 5	Cont. 6	Cont. 7	Cont. 8
382	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
390	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
391	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
398	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
399	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	OK	OK
1481	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1482	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1489	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1542	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1551	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1558	NOK	OK	NOK	OK	OK	OK	OK	NOK
1569	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	OK	NOK
1571	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
3007	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
3008	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4039	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4041	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4049	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NOK	NOK
4051	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4064	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4065	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4066	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4068	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4069	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4070	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4071	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4081	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4348	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK
4366	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK
4370	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
9445	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
9446	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Salienta-se que as violações apresentadas para a primeira à sexta contingência estão grifadas na cor azul e são caracterizadas por sobretensões, enquanto que e para a sétima e a oitava ocorrem subtensões nas respectivas barras sinalizadas por NOK grifadas com a cor vermelha.

5.1. CENÁRIO 1 – DESPACHO DE POTÊNCIA ATIVA

Essa seção apresenta os resultados para as contingências 1, 2, 3, 6 e 8 para o primeiro cenário. Todas as análises, exceto a que se refere a oitava contingência, não apresentam violações nos níveis de tensão das barras do modelo.

5.1.1. Análise das contingências 1, 2, 3 e 6

Os resultados do fluxo de potência simulado para as contingências 1, 2, 3 e 6 são apresentados, respectivamente, nas Tabela 27, Tabela 28, Tabela 29 e Tabela 30.

Tabela 27 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa para a 1ª contingência.

Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
233	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
300	1,01737	1,01756	1,01981	1,02002	1,02045	1,02098
304	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99999	1,00000
320	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
341	1,02565	1,02426	1,0166	1,0169	1,01658	1,01585
342	1,02904	1,02716	1,01943	1,01968	1,01927	1,01846
380	1,02315	1,02256	1,01688	1,01721	1,01706	1,01659
381	1,02075	1,02023	1,01524	1,0155	1,01535	1,01492
382	1,02602	1,02534	1,01835	1,01849	1,01808	1,01734
390	1,03198	1,03178	1,02996	1,03017	1,03017	1,03003
391	0,9927	0,99242	0,98982	0,98995	0,98982	0,98952
398	1,031	1,02984	1,01869	1,01912	1,01868	1,01766
399	1,04729	1,04586	1,03121	1,03106	1,02989	1,02815
1481	1,01526	1,01414	1,00912	1,00935	1,00899	1,00824
1482	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99998	1,00000
1489	1,00000	1,00000	0,99859	0,99883	0,99843	0,99761
1542	1,0265	1,02358	1,01542	1,01565	1,01519	1,01431
1551	0,99746	0,99723	0,99442	0,9941	0,99352	0,99286
1558	1,02929	1,02746	1,00395	1,0053	1,00518	1,00396
1569	1,03236	1,03044	1,00536	1,00672	1,00656	1,00524
1571	1,02728	1,02578	1,00658	1,00773	1,00764	1,00663
3007	1,0123	1,01212	1,01007	1,00996	1,00963	1,0092
3008	1,01397	1,01373	1,01102	1,01101	1,01071	1,01026
4039	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4041	1,02852	1,02849	1,02806	1,02803	1,02797	1,02788
4049	0,9975	0,99665	0,98776	0,98835	0,98816	0,98739
4051	1,03482	1,03371	1,02191	1,02254	1,02221	1,02122
4064	0,95786	0,95884	0,9642	0,96399	0,96421	0,96475
4065	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99999	1,00000
4066	0,98806	0,98783	0,9852	0,98503	0,98462	0,98408

CONTINUAÇÃO						
Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
4066	0,98806	0,98657	0,9838	0,98365	0,98325	0,98271
4068	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4069	1,01892	1,01826	1,01706	1,01709	1,01704	1,01692
4070	1,00634	1,0048	1,00381	1,00382	1,00377	1,00367
4071	1,00453	1,00409	1,0038	1,0038	1,00378	1,00375
4081	1,03214	1,03014	1,02884	1,02886	1,02879	1,02865
4348	0	0	0,98217	0,98504	0,98622	0,98577
4366	0	0	0,98217	0,98505	0,98623	0,98578
4370	0,9976	0,99613	0,99338	0,99323	0,99283	0,9923
9445	1,0406	1,03994	1,03862	1,03848	1,03822	1,03792
9446	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

Tabela 29 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa para a 3ª contingência.

Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
233	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
300	1,01737	1,01741	1,01942	1,01972	1,02015	1,0207
304	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
320	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
341	1,02565	1,02529	1,01784	1,01778	1,01747	1,01662
342	1,02904	1,02873	1,02041	1,02013	1,01957	1,01847
380	1,02315	1,02278	1,01744	1,01756	1,01747	1,01697
381	1,02075	1,02042	1,01568	1,01576	1,01565	1,01519
382	1,02602	1,02559	1,01861	1,01846	1,01809	1,01726
390	1,03198	1,03183	1,03015	1,03029	1,03031	1,03016
391	0,9927	0,99252	0,99008	0,99012	0,99001	0,98969
398	1,031	1,03039	1,0201	1,0201	1,01976	1,0187
399	1,04729	1,04669	1,03183	1,031	1,02979	1,02782
1481	1,01526	1,01507	1,01002	1,00977	1,00927	1,00827
1482	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
1489	1,00000	1,00000	0,99957	0,99929	0,99874	0,99762
1542	1,0265	1,02598	1,01655	1,01631	1,01577	1,01461
1551	0,99746	0,99748	0,99492	0,99446	0,99386	0,99316
1558	1,02929	1,02437	0,99907	1,00048	1,00159	1,00103
1569	1,03236	1,02715	1,00000	1,00141	1,00255	1,00194
1571	1,02728	1,02327	1,00273	1,00393	1,00483	1,00432
3007	1,0123	1,01225	1,01049	1,0103	1,00999	1,00956
3008	1,01397	1,01393	1,01161	1,01148	1,0112	1,01075
4039	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4041	1,02852	1,02852	1,02815	1,0281	1,02803	1,02794
4049	0,9975	0,99724	0,98977	0,99	0,98987	0,98912
4051	1,03482	1,03446	1,02452	1,02468	1,02445	1,02347
4064	0,95786	0,95811	0,96333	0,96338	0,96361	0,96423

CONTINUAÇÃO						
Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
4065	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4066	0,98806	0,98806	0,98575	0,98546	0,98504	0,98449
4068	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4069	1,01892	1,01884	1,01767	1,01764	1,01758	1,01744
4070	1,00634	1,00631	1,00564	1,00561	1,00555	1,00542
4071	1,00453	1,00452	1,00433	1,00432	1,0043	1,00427
4081	1,03214	1,03211	1,03124	1,0312	1,03112	1,03095
4348	0	0	0,98308	0,98504	0,98741	0,98757
4366	0	0	0,98309	0,98505	0,98742	0,98758
4370	0,9976	0,9976	0,99531	0,99503	0,99461	0,99406
9445	1,0406	1,04061	1,03945	1,03925	1,03897	1,03865
9446	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

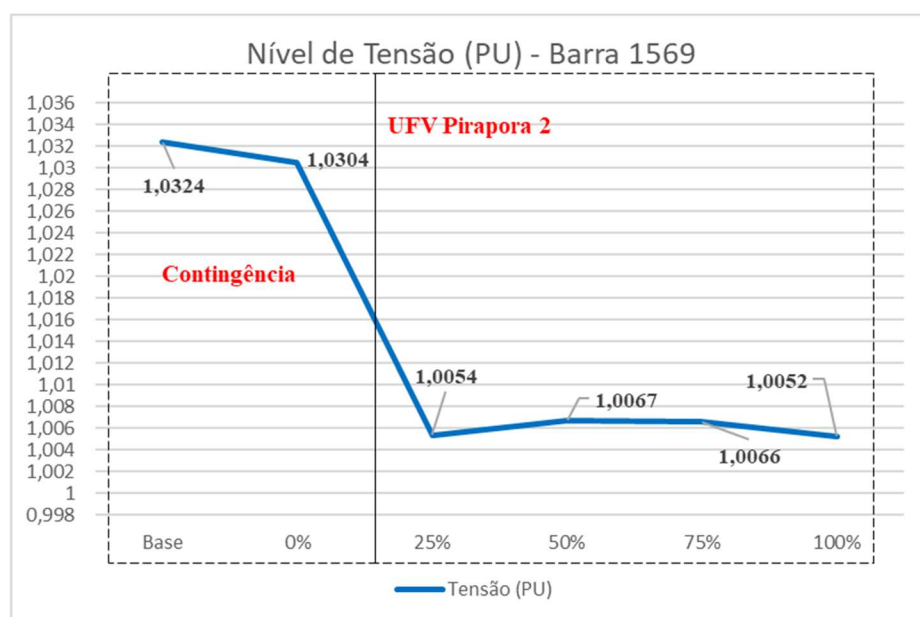
Tabela 30 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa para a 6ª contingência.

Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
233	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
300	1,01737	1,0179	1,02019	1,02043	1,0209	1,02147
304	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99999	1,00000
320	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
341	1,02565	1,02294	1,01485	1,01511	1,01474	1,01396
342	1,02904	1,0262	1,01734	1,01747	1,01691	1,01593
380	1,02315	1,01934	1,01412	1,01435	1,01416	1,01369
381	1,02075	1,01762	1,01302	1,01321	1,01302	1,0126
382	1,02602	1,02319	1,01666	1,01678	1,01642	1,01575
390	1,03198	1,03085	1,02914	1,02926	1,02918	1,02898
391	0,9927	0,99095	0,9885	0,98851	0,98828	0,98791
398	1,031	1,02217	1,01203	1,01225	1,01174	1,01078
399	1,04729	1,04136	1,02764	1,02753	1,02651	1,02498
1481	1,01526	1,01358	1,00724	1,00735	1,00685	1,00596
1482	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99998	1,00000
1489	1,00000	1,00000	0,99649	0,99662	0,99606	0,99508
1542	1,0265	1,02339	1,01359	1,01376	1,01318	1,01213
1551	0,99746	0,99683	0,99396	0,99361	0,99301	0,99231
1558	1,02929	1,02543	1,00246	1,00377	1,00365	1,00245
1569	1,03236	1,02891	1,00435	1,00567	1,00549	1,00418
1571	1,02728	1,0238	1,0051	1,00623	1,00615	1,00518
3007	1,0123	1,01243	1,01032	1,01025	1,00996	1,00955
3008	1,01397	1,01403	1,01124	1,01127	1,01101	1,01058
4039	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4041	1,02852	1,02849	1,02805	1,02803	1,02796	1,02787
4049	0,9975	0,99845	0,98924	0,99001	0,98994	0,98924
4051	1,03482	1,03621	1,02399	1,02482	1,02464	1,02372

CONTINUAÇÃO						
Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
4064	0,95786	0,95976	0,96546	0,96528	0,96553	0,96611
4065	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99999	1,00000
4066	0,98806	0,98786	0,98514	0,985	0,98459	0,98405
4068	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,99999	1,00000
4069	1,01892	1,01844	1,01734	1,01736	1,01729	1,01718
4070	1,00634	1,00611	1,00528	1,0053	1,00523	1,00512
4071	1,00453	1,00447	1,00423	1,00423	1,0042	1,00418
4081	1,03214	1,03185	1,03077	1,03079	1,0307	1,03056
4348	0	0	0,98653	0,98938	0,99041	0,98986
4366	0	0	0,98654	0,98939	0,99042	0,98987
4370	0,9976	0,9974	0,99471	0,99456	0,99416	0,99363
9445	1,0406	1,04032	1,03902	1,03886	1,03859	1,03827
9446	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

As Figura 38, Figura 39, Figura 40 e Figura 41 discriminam a região de influência da 1ª, 2ª, 3ª e 6ª contingência, respectivamente, e o impacto que a conexão da UFV Pirapora 2 implica à barra 1569, ou seja, a área detalhada pela contingência se refere ao caso base sem a presença da contingência e o caso com a presença da contingência, mas sem a conexão da UFV Pirapora 2. Os casos seguintes se referem ao despacho gradual, de maneira discreta, de 25% de potência ativa até atingir plena capacidade.

Figura 38 – Nível de tensão na barra 1569 para a 1ª contingência.



Fonte: O Autor.

Figura 39 - Nível de tensão na barra 1569 para a 2ª contingência.

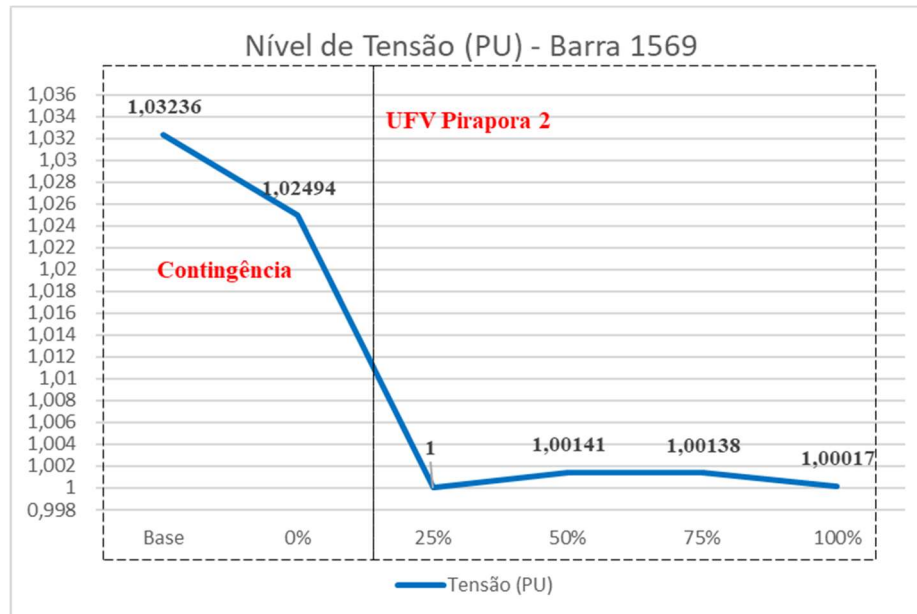


Figura 40 – Nível de tensão na barra 1569 para a 3ª contingência.

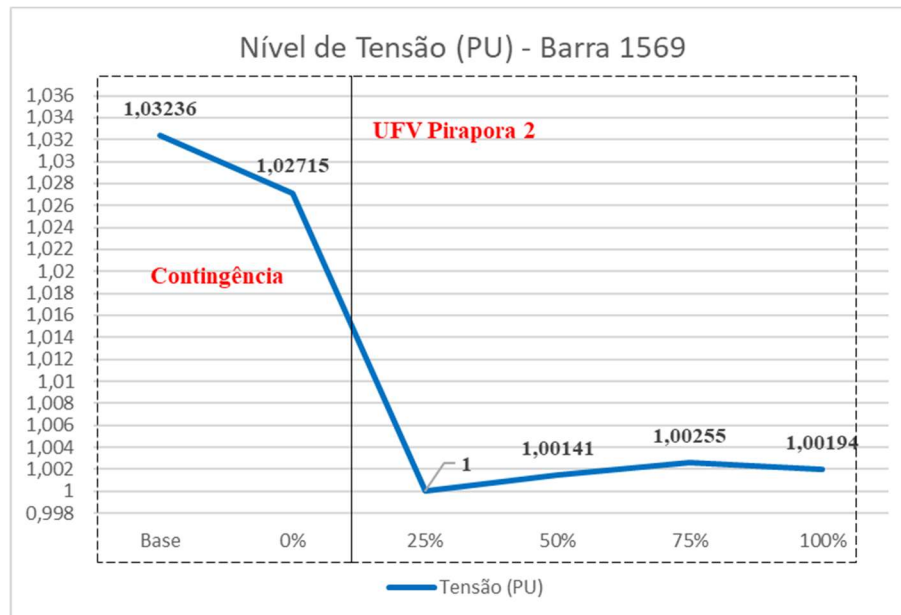
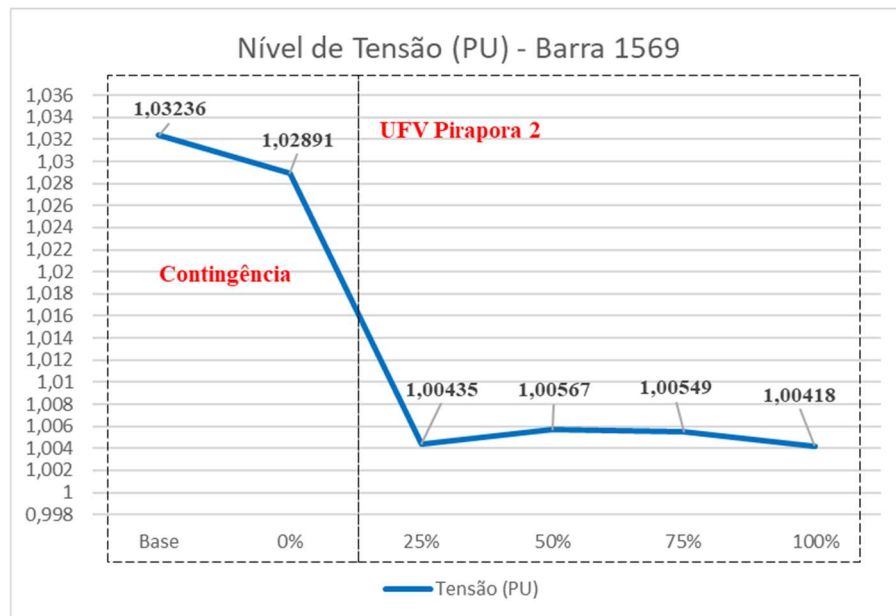


Figura 41 - Nível de tensão na barra 1569 para a 6ª contingência.



Fonte: O Autor.

É possível verificar que ocorre uma variação no nível de tensão na barra 1569 de 0,19%, 0,72%, 0,50% e 0,33% quando ocorrem as contingências 1, 2, 3 e 6, respectivamente, e não há despacho de potência ativa pela UFV Pirapora 2. À medida que se conecta o empreendimento fotovoltaico há absorção de reativo e o nível de tensão da barra 1569 aproxima-se de 1 PU.

5.1.2. Contingência 8 – Abertura de LT 500kV 4049-3007

A Tabela 31 apresenta os níveis de tensão em PU nas 40 barras do sistema proposto para a oitava contingência variando os níveis de despacho de potência ativa da UFV Pirapora 2.

Tabela 31 – Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa para a 8ª contingência.

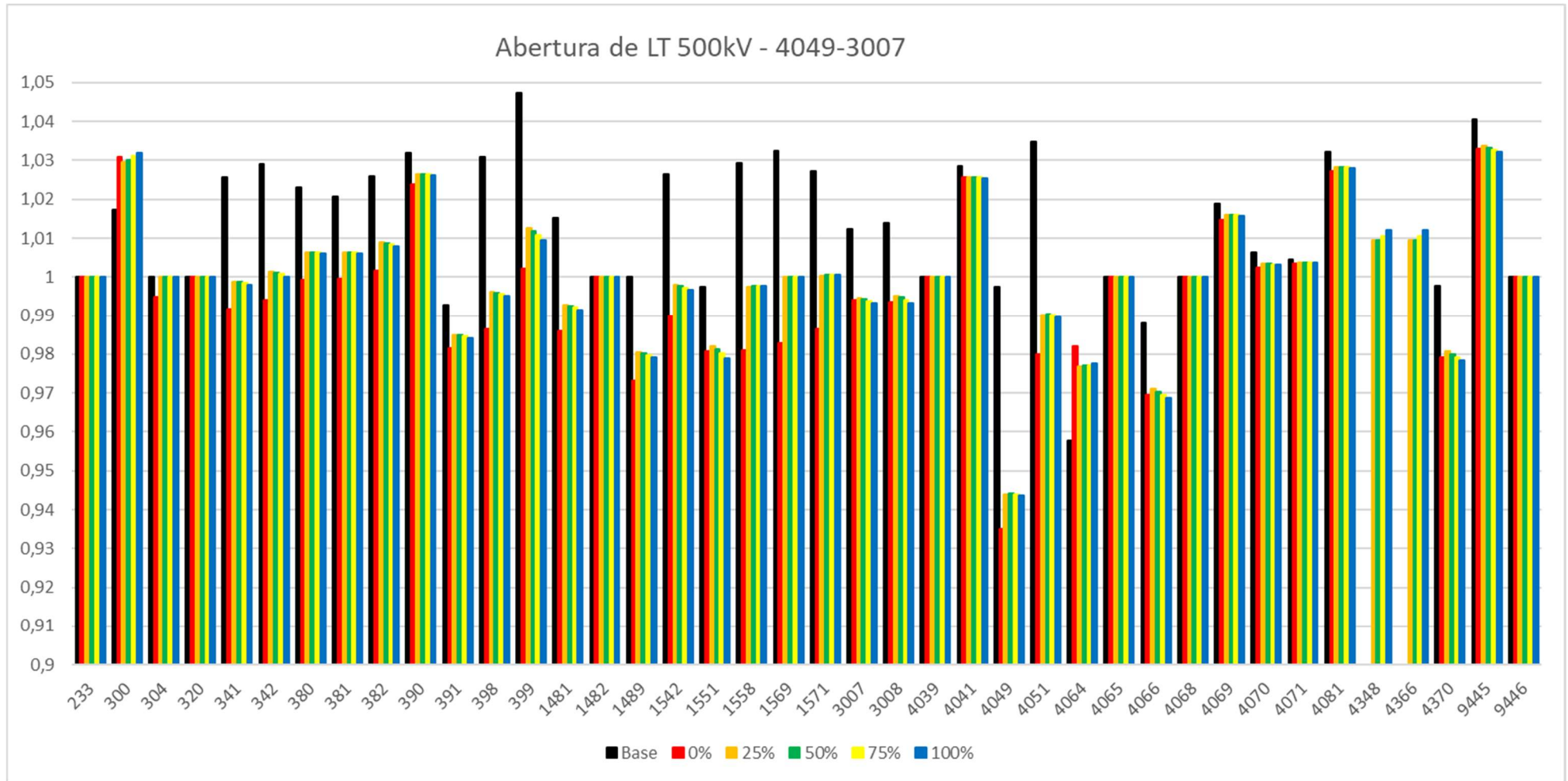
Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
233	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
300	1,01737	1,03092	1,0296	1,03022	1,03103	1,03201
304	1,00000	0,9948	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
320	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
341	1,02565	0,99169	0,99877	0,99869	0,99841	0,99797
342	1,02904	0,99394	1,00146	1,00119	1,00074	1,00011
380	1,02315	0,99915	1,00625	1,00636	1,00628	1,00601
381	1,02075	0,99946	1,00633	1,0064	1,0063	1,00605

CONTINUAÇÃO						
Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
382	1,02602	1,00152	1,00886	1,00871	1,00836	1,00783
390	1,03198	1,02382	1,02642	1,02652	1,02647	1,02626
391	0,9927	0,98161	0,98488	0,98482	0,98456	0,98413
398	1,031	0,9864	0,99605	0,99599	0,99568	0,99514
399	1,04729	1,00203	1,01253	1,01172	1,01069	1,00947
1481	1,01526	0,986	0,99277	0,99253	0,99211	0,99155
1482	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
1489	1,00000	0,97318	0,9805	0,98023	0,97977	0,97914
1542	1,0265	0,98982	0,99796	0,99768	0,99721	0,99656
1551	0,99746	0,98075	0,98206	0,98123	0,9802	0,97901
1558	1,02929	0,98108	0,99756	0,99765	0,9977	0,99772
1569	1,03236	0,9828	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
1571	1,02728	0,98652	1,00044	1,00057	1,00062	1,00061
3007	1,0123	0,99413	0,99457	0,9942	0,99373	0,99316
3008	1,01397	0,99347	0,99515	0,99475	0,99414	0,99334
4039	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4041	1,02852	1,02553	1,02575	1,02565	1,02553	1,02537
4049	0,9975	0,93507	0,94392	0,94414	0,94402	0,94357
4051	1,03482	0,97986	0,99017	0,99028	0,9901	0,98964
4064	0,95786	0,98192	0,97688	0,97695	0,97715	0,97747
4065	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4066	0,98806	0,96958	0,97094	0,97034	0,96955	0,96859
4068	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4069	1,01892	1,01479	1,01603	1,016	1,01594	1,01585
4070	1,00634	1,0025	1,00339	1,00336	1,00331	1,00324
4071	1,00453	1,00342	1,00368	1,00367	1,00365	1,00363
4081	1,03214	1,02714	1,0283	1,02826	1,02819	1,0281
4348	0	0	1,00938	1,00947	1,01042	1,01215
4366	0	0	1,00937	1,00947	1,01041	1,01215
4370	0,9976	0,97929	0,98064	0,98004	0,97926	0,97831
9445	1,0406	1,03304	1,03363	1,03325	1,03279	1,03225
9446	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

A Tabela 31 apresenta violação de nível de tensão para a barra 4049 de 500kV, para as células marcadas na cor vermelha, uma vez que a LT 4049-3007 é aberta e a Figura 42 apresenta o impacto que a inserção da UFV causa no sistema uma vez que ocorre a abertura da LT de 500kV e há afundamento de tensão.

A LT 4049-3007 é caracterizada, conforme apresentado na Tabela 16, por uma susceptância shunt de 5,4076 PU ou 540,76 Mvar. Para compensar essa potência reativa gerada pela linha

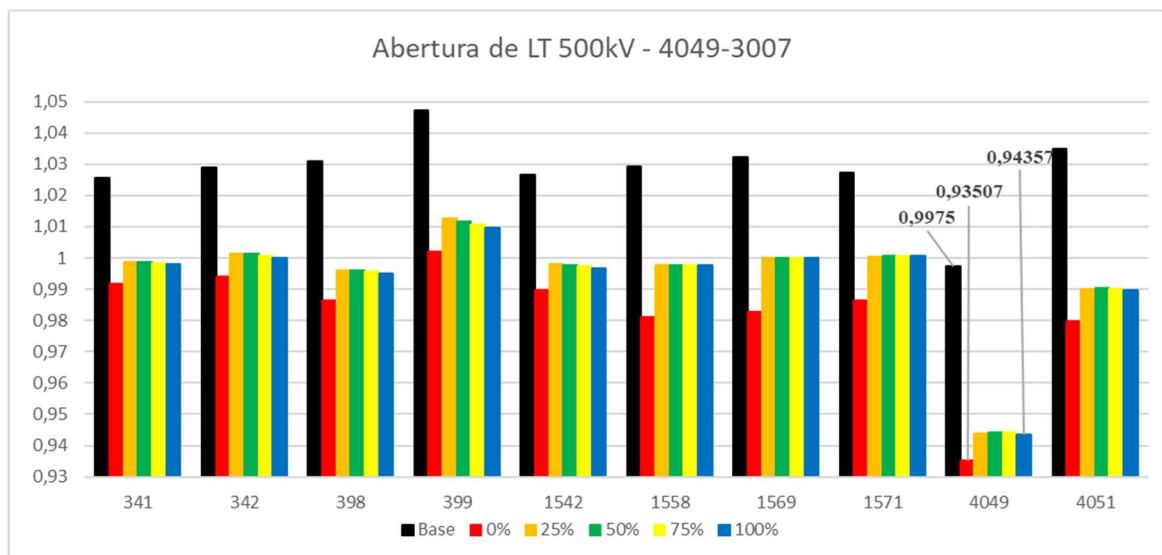
Figura 42 – Impacto da inserção de UFV no sistema com abertura da linha 4049-3007.



Fonte: O Autor.

longa de 500kV, existem reatores nas duas extremidades da linha. A fim de mitigar a violação de tensão causada pela 8ª contingência, é proposto desligar o reator conectado a barra 4049 de potência reativa nominal de 91 Mvar indutivo, apresentado na Tabela 18. Ainda, a Figura 43 apresenta com maiores detalhes o afundamento de tensão causado pela abertura da LT de 500kV às barras até a segunda vizinhança da UFV Pirapora 2. Salienta-se que a barra 4049 teve um afundamento de 6,25 % no seu nível de tensão à medida que ocorre a contingência e não há despacho por parte da UFV, o que implica na violação apresentada via Tabela 31 quando não há despacho de ativo.

Figura 43 - Níveis de tensão nas barras até a segunda vizinhança da UFV para a 8ª contingência.



Fonte: O Autor.

A Tabela 32 apresenta os níveis de tensão em PU nas 40 barras uma vez proposto o desligamento do reator de 91 Mvar.

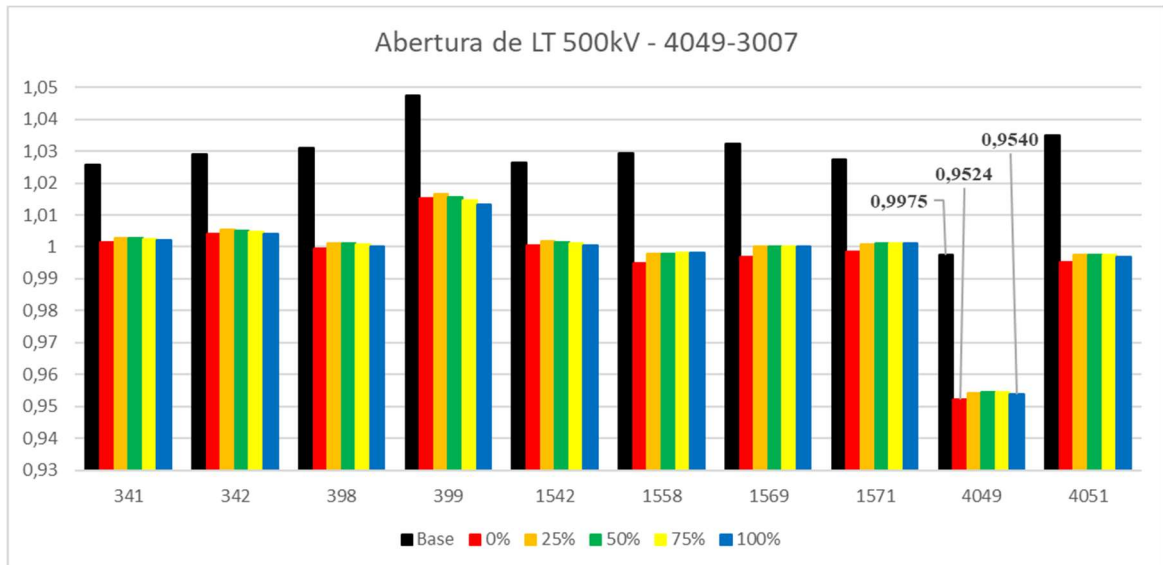
Tabela 32 - Níveis de tensão sem reator de 91 Mvar para diferentes despachos de ativo para a 8ª contingência.

Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
233	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
300	1,01737	1,02795	1,02811	1,02872	1,02953	1,0305
304	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
320	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
341	1,02565	1,00155	1,00279	1,0027	1,00243	1,00199
342	1,02904	1,00425	1,00543	1,00516	1,00471	1,00409
380	1,02315	1,00754	1,00863	1,00873	1,00865	1,00839
381	1,02075	1,0074	1,00831	1,00838	1,00828	1,00803
382	1,02602	1,00994	1,01087	1,01071	1,01036	1,00984
390	1,03198	1,02669	1,02723	1,02734	1,02729	1,02708

CONTINUAÇÃO						
Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
391	0,9927	0,98549	0,98599	0,98592	0,98567	0,98525
398	1,031	0,99943	1,00112	1,00106	1,00075	1,00021
399	1,04729	1,01526	1,01648	1,01567	1,01464	1,01343
1481	1,01526	0,99531	0,99639	0,99615	0,99574	0,99517
1482	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
1489	1,00000	0,98331	0,9845	0,98423	0,98378	0,98315
1542	1,0265	1,00058	1,00186	1,00157	1,0011	1,00046
1551	0,99746	0,98422	0,98388	0,98306	0,98204	0,98087
1558	1,02929	0,99495	0,99791	0,99799	0,99804	0,99806
1569	1,03236	0,997	1,00001	1,00001	1,00001	1,00001
1571	1,02728	0,99841	1,00095	1,00108	1,00113	1,00112
3007	1,0123	0,9956	0,99545	0,99508	0,99461	0,99405
3008	1,01397	0,99735	0,99748	0,99708	0,99647	0,99568
4039	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4041	1,02852	1,02611	1,02609	1,02599	1,02587	1,02571
4049	0,9975	0,95239	0,95434	0,95456	0,95444	0,954
4051	1,03482	0,99539	0,99745	0,99756	0,99737	0,99691
4064	0,95786	0,9749	0,97403	0,9741	0,9743	0,97462
4065	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4066	0,98806	0,97314	0,97302	0,97242	0,97164	0,97069
4068	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4069	1,01892	1,01621	1,01636	1,01634	1,01628	1,01619
4070	1,00634	1,00372	1,00387	1,00384	1,00379	1,00372
4071	1,00453	1,00377	1,00382	1,00381	1,0038	1,00377
4081	1,03214	1,02873	1,02892	1,02888	1,02881	1,02872
4348	0	0	1,0011	1,00124	1,00222	1,00399
4366	0	0	1,00111	1,00124	1,00222	1,00399
4370	0,9976	0,98281	0,9827	0,98211	0,98133	0,98039
9445	1,0406	1,03461	1,03446	1,03408	1,03362	1,03309
9446	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

O desligamento do reator de 91 Mvar nominal conectado a barra 4049 mitiga as violações dos níveis de tensão provocados pela abertura da LT de 500kV 4049-3007. Os impactos causados às barras até a segunda vizinhança da UFV uma vez realizada a ação proposta são apresentados na Figura 44.

Figura 44 - Níveis de tensão nas barras até a segunda vizinhança da UFV para a 8ª contingência corrigidos.



Fonte: O Autor.

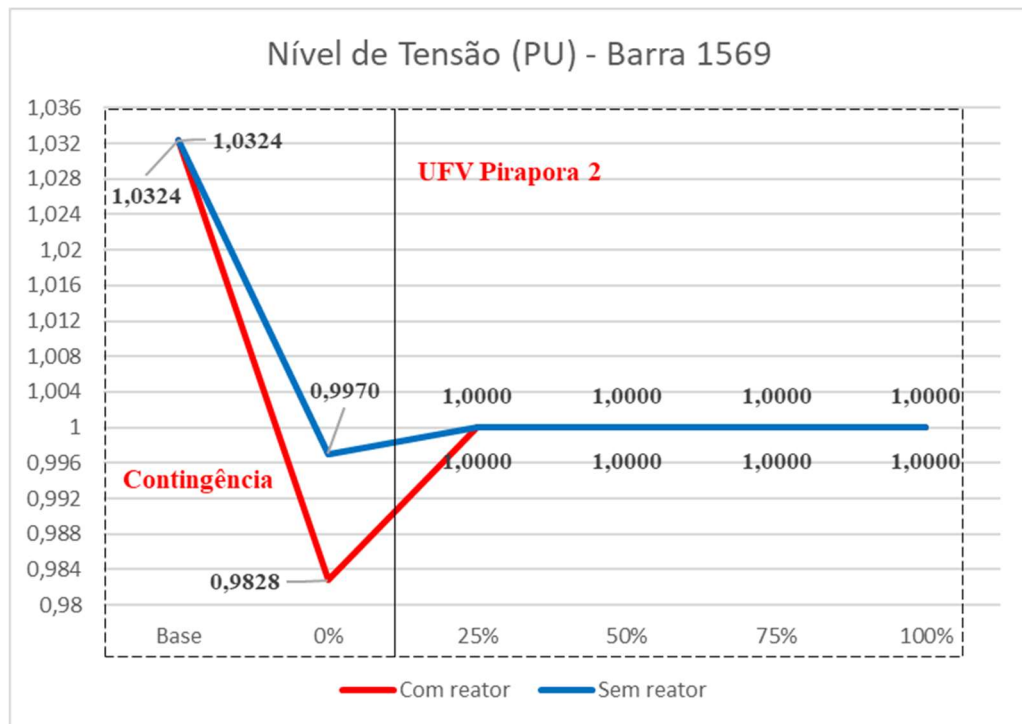
Percebe-se que ao se desligar o reator o nível de tensão da barra 4049 com despacho de 0% não infringe o limite mínimo de tensão, e essa afunda 4,52% comparado ao caso base. À medida que se despacha ativo a tensão eleva-se de 0,9524 PU referente a 0% de despacho para 0,9540 PU com 100% de despacho.

A Tabela 33 apresenta os níveis de despacho de reativo de todas as centrais geradoras consideradas neste trabalho. Quando ocorre a contingência, os níveis de tensão em todas as barras do sistema proposto tendem a ser reduzidas devido a quantidade de reativo retirada do sistema proveniente da admitância shunt da LT de 500kV, mas a UFV Pirapora 2 consegue garantir que o nível de tensão na barra 1569 mantenha-se igual a 1 PU por meio de entrega e absorção de reativo ao sistema conforme apresentado na Figura 45 onde é comparado o cenário com a conexão do reator sem a presença do mesmo.

Tabela 33 – Despacho de potência reativa para todas usinas na presença da 8ª contingência com variação de potência ativa.

Barra	Nome	Com Violação					Sem Violação				
		0%	25%	50%	75%	100%	0%	25%	50%	75%	100%
233	SLACK	-40,11	-34,75	-17,63	1,26	21,46	-60,65	-47,04	-29,97	-11,14	9
300	UHE Emborcação	-118,07	-129,84	-124,36	-117,08	-108,25	-144,57	-143,15	-137,73	-130,55	-121,83
304	UHE Três Marias	90	84,51	84,27	84,63	85,55	80,63	77,33	77,09	77,45	78,36
1482	UTE Bevap	6,96	3,54	3,51	3,5	3,5	4,04	3,42	3,39	3,37	3,38
1489	UTE São Judas Tadeu	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
4039	UHE Queimado	3,18	2,91	3,03	3,18	3,37	2,48	2,51	2,62	2,78	2,96
4064	UHE Irapé	36,65	18,87	19,11	19,82	20,94	11,97	8,9	9,15	9,85	10,96
4068	UHE Retiro Baixo	-17,16	-18,8	-18,77	-18,69	-18,57	-19,04	-19,25	-19,21	-19,14	-19,02
4348	UFV Pirapora 2	0	36,12	29,34	28,03	31,98	0	-3,77	-10,28	-11,37	-7,31
4370	UFV Paracatu	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
9446	UHE Batalha	12,33	11,95	12,19	12,48	12,82	11,34	11,44	11,67	11,96	12,29

Figura 45 - Nível de tensão na barra 1569 para a 8ª contingência.



Fonte: O Autor.

Salienta-se que apesar do nível de tensão na barra 1569 se manter igual a 1 PU para todos níveis de despacho de potência ativa a partir de 25% da capacidade máxima do mesmo conforme apresentado na Figura 45, o despacho de reativo da UFV passa de capacitivo para indutivo uma vez que o reator conectado a barra 4049 é desconectado. Ou seja, num primeiro momento o sistema perde reativo devido a abertura da LT de 500kV e a UFV fornece reativo a fim de mitigar essa queda de tensão e num segundo momento quando o reator é retirado do sistema os níveis de tensão das barras sobem e a UFV precisa regular o nível de tensão na barra 1569 por meio de absorção de reativo. Há uma variação de 1,75% na tensão da barra 1569 quando o reator está conectado e ocorre a ocorrência sem qualquer despacho de ativo por parte da UFV e 0,30% quando o reator é desconectado. Salienta-se ainda que há um afundamento de 4,80% no nível de tensão da barra 1569 enquanto o reator está conectado e ocorre a contingência sem qualquer participação por parte da UFV Pirapora 2 e esse valor é reduzido para 3,42% quando se desconecta o reator de 91 Mvar nominais da barra 4049.

5.2. CENÁRIO 2 – DESPACHO MÁXIMO DE POTÊNCIA ATIVA OU REATIVA

5.2.1. Contingência 1 – Abertura de LT 138kV 1569-1542

A Tabela 34 apresenta os níveis de tensão em PU nas 40 barras do sistema proposto para a primeira contingência para o despacho máximo de potência ativa, reativo indutivo e reativo capacitivo pela UFV Pirapora 2 sem controle de tensão na barra 1569.

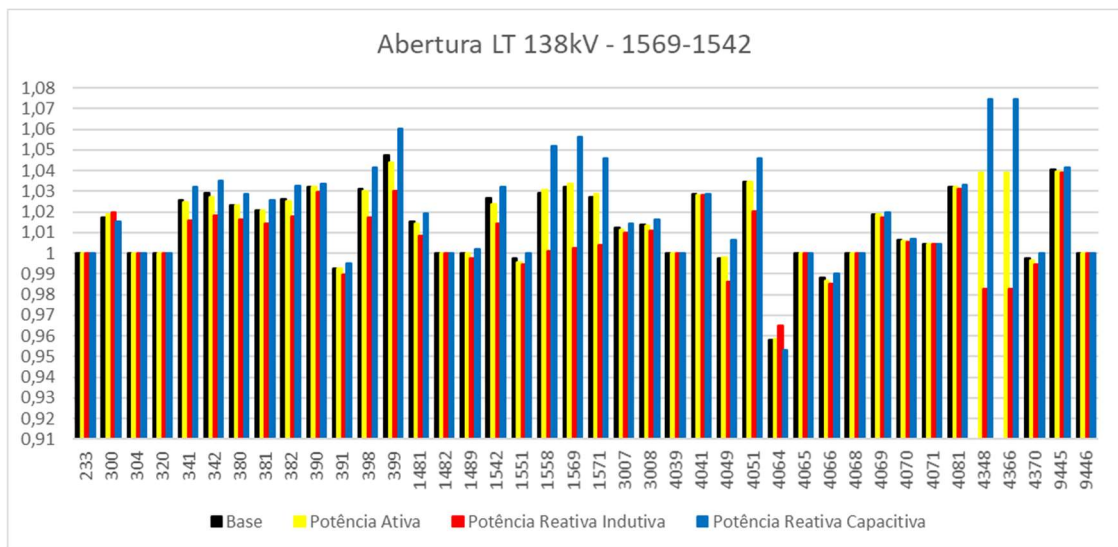
Tabela 34 - Níveis de tensão das barras com máximo despacho de potência ativa e reativa para a 1ª contingência.

Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
233	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
300	1,01737	1,01874	1,01983	1,01544
304	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
320	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
341	1,02565	1,02456	1,01567	1,03226
342	1,02904	1,02721	1,01853	1,0352
380	1,02315	1,02317	1,01607	1,0286
381	1,02075	1,02067	1,01456	1,02552
382	1,02602	1,02509	1,01767	1,03249
390	1,03198	1,03228	1,02956	1,03384
391	0,9927	0,99255	0,98942	0,99522
398	1,031	1,03027	1,01739	1,04144
399	1,04729	1,04384	1,03033	1,06036
1481	1,01526	1,01417	1,0083	1,01952
1482	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
1489	1,00000	1,00000	0,99768	1,00202
1542	1,0265	1,02348	1,01452	1,03201
1551	0,99746	0,99556	0,99449	0,99978
1558	1,02929	1,03079	1,0011	1,05205
1569	1,03236	1,03373	1,00244	1,05655
1571	1,02728	1,02861	1,00418	1,04592
3007	1,0123	1,01134	1,00996	1,01413
3008	1,01397	1,01324	1,01076	1,01649
4039	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4041	1,02852	1,02832	1,02804	1,0289
4049	0,9975	0,99783	0,98637	1,00623
4051	1,03482	1,03479	1,02033	1,04617
4064	0,95786	0,95864	0,96486	0,95324
4065	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4066	0,98806	0,98679	0,9851	0,99038
4068	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4069	1,01892	1,01876	1,01751	1,02
4070	1,00634	1,00619	1,00541	1,00689

CONTINUAÇÃO				
Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
4071	1,00453	1,00449	1,00427	1,00469
4081	1,03214	1,03195	1,03095	1,03287
4348	0	1,03922	0,98277	1,07472
4366	0	1,03922	0,98278	1,07471
4370	0,9976	0,99635	0,99467	0,9999
9445	1,0406	1,03974	1,03926	1,04165
9446	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

A Tabela 34 apresenta violação de nível de tensão para as barras 399, 1558, 1569, 4348 e 4366 para as células marcadas na cor vermelha uma vez que a LT 1569-1542 de 138kV é aberta. A Figura 46 apresenta os níveis de tensão para todas as barras na presença da primeira contingência e máximos níveis de despacho ativo e reativo.

Figura 46 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa e reativa para a 1ª contingência.



Fonte: O Autor.

A Figura 47 apresenta os níveis de tensão em parte do sistema uma vez alterado o tipo de controle de tensão de reator conectado a barra 4049 de 100 Mvar nominais. Em condições normais de operação, conforme Tabela 18, esse reator absorve reativo caso a tensão na barra de controle, barra 4049, esteja acima de 1,1 PU. É proposto, então, alterar o modo de operação desse reator e, dessa forma, retira-se o controle automático inicialmente aplicado ao reator durante a modelagem do sistema e o mesmo passa a absorver 98,50 Mvar de potência reativa.

A solução proposta reduziu o nível de tensão das barras 1558 e 1569 abaixo do limite máximo de tensão aceitável para condições normais de operação em regime permanente, mas não das demais violadas na Tabela 34.

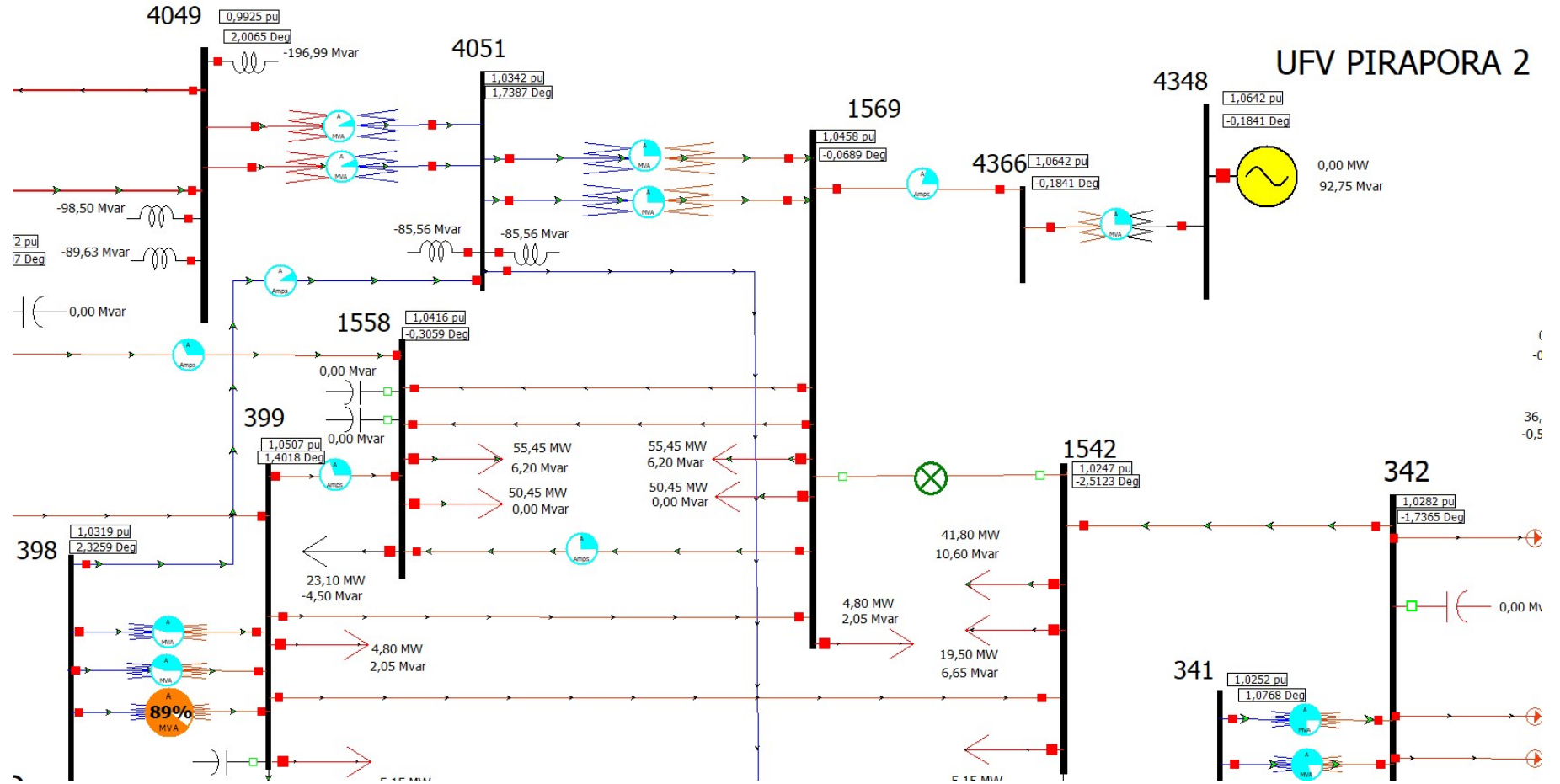
Visto que a solução adotada não foi o suficiente para mitigar as violações de tensão é proposto uma série de ações a fim de baixar o nível de tensão das barras 399, 4366 e 4348. Para isso torna-se necessário reduzir o despacho de reativo capacitivo por unidades geradoras e analisar a possibilidade de desligar eventuais bancos de capacitores sem que haja novas violações dos níveis de tensão.

A primeira ação tomada foi desligar os bancos de capacitores conectados à barra 382 de 8,7 Mvar e 2,4 Mvar nominais visto que os níveis de tensão nessa região também estão elevados. Essa solução reduziu o nível de tensão da barra 399 dos então 1,0507 PU para 1,0496 PU o que já está abaixo do limite superior de 1,05 PU. Isso significa um impacto de 0,10% no nível de tensão dessa barra. No entanto, a barra 4366 e 4348 sofreram uma redução inferior equivalente a 0,08% e mantêm níveis de tensão iguais 1,0633 PU, ou seja, acima do limite.

Num segundo momento é proposto absorver o máximo de reativo pelas unidades geradoras UTE Bevap, conectada a barra 1482, e UHE Retiro Baixo, conectada a barra 4068 sem que haja violações nos níveis de tensão dessas barras. Para tal ação foi modificada a tensão de controle de cada unidade geradora dos então 1 PU para 0,95 PU.

A UTE Bevap que antes dessa ação absorvia 5,16 Mvar de reativo passa a absorver 13,86 Mvar. a UHE Retiro Baixo que antes dessa ação absorvia 22,08 Mvar de reativo passa a absorver 29,23 Mvar. Um incremento de 268% e 132%, respectivamente. Salienta-se que, conforme apresentado na Tabela 21, esses níveis de absorção de reativo encontram-se dentro dos limites de cada unidade geradora. Essa ação resultou numa redução de 0,36% nos níveis de tensão das barras 4366 e 4348 referentes aos 1,0633 PU atingidos pelo desligamento dos bancos

Figura 47 – Sistema proposto via Power World[®] com mitigação inicial para a 1ª contingência.



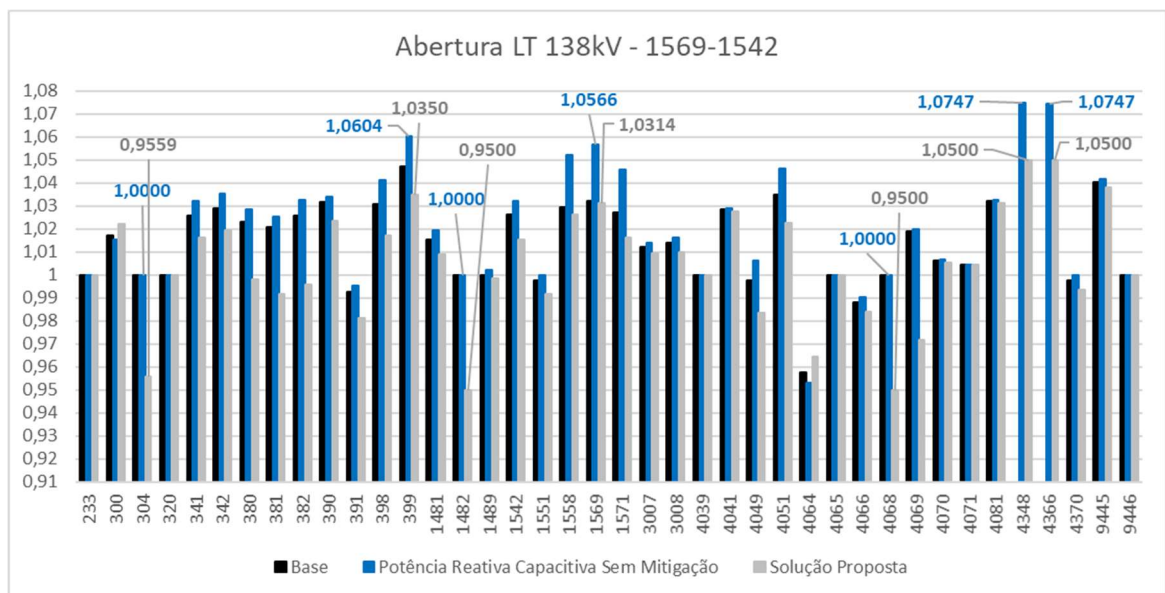
Fonte: O Autor.

de capacitores. A tensão nas barras se mantém superior ao limite de 1,05 PU num valor igual a 1,0594 PU.

Analisa-se, então, a UHE Três Marias, conectada a barra 304, a qual mantém o nível de tensão a barra a qual está conectada em 1 PU por meio de 43,90 Mvar de potência reativa capacitiva despachados uma vez já realizadas as operações descritas até então nessa seção. Visto que essa unidade geradora possui a capacidade de absorver 90 Mvar indutivo e despachar 90 Mvar capacitivo, conforme apresentado na Tabela 21, propõe-se avaliar qual a quantidade mínima de absorção de reativo que a UHE deve despachar a fim de manter a tensão nas barra 4366 e 4348 iguais a 1,05 PU.

Para manter as barras com violação de tensão no mínimo igual ao limite superior de 1,05 PU a UHE Três Marias deve passar de estado sobreexcitado para sub excitado e absorver 24,11 Mvar de reativo indutivo. Nessa operação o nível de tensão da barra 304 a qual a UHE encontra-se conectada passa dos então 1 PU para 0,9559 PU e isso implica num cenário onde não há mais qualquer violação de nível de tensão conforme apresentado na Figura 48.

Figura 48 - Níveis de tensão no sistema com violação e solução adotada para a 1ª contingência.



Fonte: O Autor.

A Tabela 35 apresenta a quantidade de potência reativa despachada por cada unidade geradora do sistema uma vez considerado o cenário com violação de máximo despacho de potência reativa capacitiva da Tabela 34 pela UFV Pirapora 2 e o cenário final da solução adotada.

Tabela 35 - Despacho de potência reativa para todas usinas na presença da 1ª contingência.

Barra	Nome	Com violação	Sem violação
233	SLACK	-320,28	-253,07
300	UHE Emborcação	-254,59	-194,74
304	UHE Três Marias	14,88	-24,11
1482	UTE Bevap	-7,61	-11,47
1489	UTE São Judas Tadeu	-2,4	2,4
4039	UHE Queimado	-0,89	0,39
4064	UHE Irapé	-61,95	-24,63
4068	UHE Retiro Baixo	-24,08	-24,69
4348	UFV Pirapora 2	92,75	92,75
4370	UFV Paracatu	35	35
9446	UHE Batalha	6,92	9,17

Além das UTEs que participaram ativamente da mitigação das violações causadas pelo máximo despacho de reativo capacitivo pela UFV Pirapora 2 na presença da abertura da LT 1569-1542 percebe-se que a UHE Emborcação responde a essas ações reduzindo sua absorção de reativo em 23,50% e a UTE São Judas Tadeu e a UHE Queimado passaram a operar sobrecarregadas.

5.2.2. Contingência 2 – Abertura de LT 345kV 341-4051

A Tabela 36 apresenta os níveis de tensão em PU nas 40 barras do sistema proposto para a segunda contingência para o despacho máximo de potência ativa, reativo indutivo e reativo capacitivo pela UFV Pirapora 2 sem controle de tensão na barra 1569.

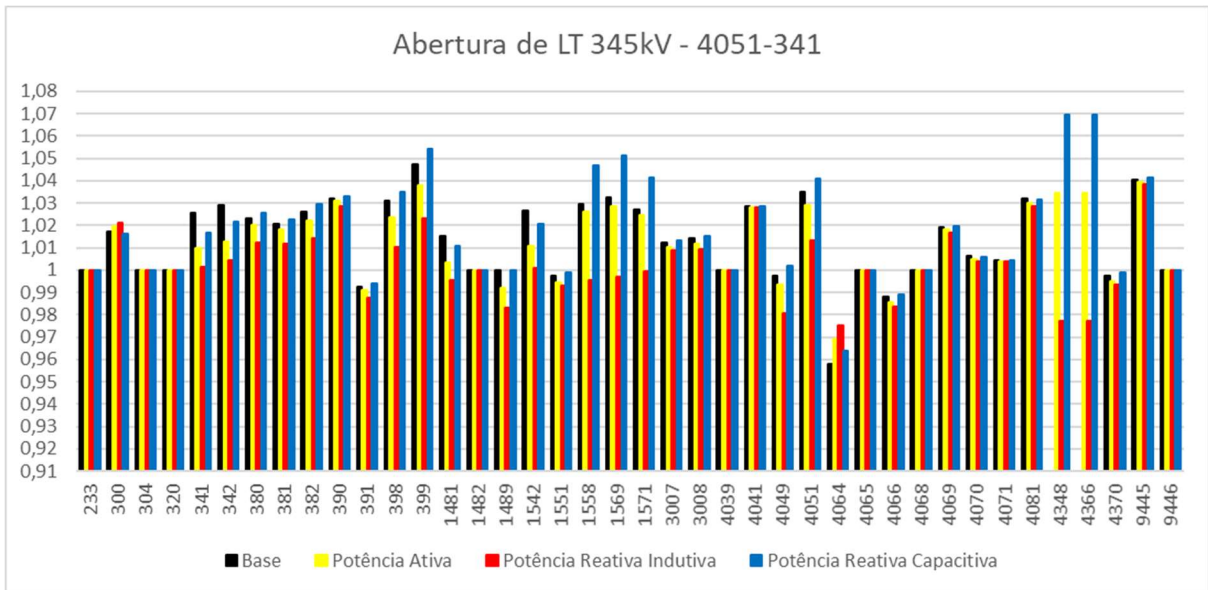
Tabela 36 - Níveis de tensão das barras com máximo despacho de potência ativa e reativa para a 2ª contingência.

Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
233	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
300	1,01737	1,01977	1,02105	1,01642
304	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
320	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
341	1,02565	1,00954	1,00147	1,0168
342	1,02904	1,01289	1,00418	1,02161
380	1,02315	1,02003	1,01248	1,02546
381	1,02075	1,01802	1,01153	1,02285
382	1,02602	1,02214	1,01423	1,02945
390	1,03198	1,03121	1,02832	1,03276
391	0,9927	0,9911	0,98776	0,99376
398	1,031	1,0238	1,01005	1,03501

CONTINUAÇÃO				
Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
399	1,04729	1,03774	1,0233	1,05414
1481	1,01526	1,0032	0,99527	1,01087
1482	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
1489	1,00000	0,99202	0,98329	1,00000
1542	1,0265	1,01074	1,00076	1,02044
1551	0,99746	0,9944	0,9931	0,99869
1558	1,02929	1,02582	0,99548	1,04664
1569	1,03236	1,02878	0,99682	1,05111
1571	1,02728	1,02435	0,99935	1,0413
3007	1,0123	1,01039	1,0088	1,01325
3008	1,01397	1,01193	1,00917	1,01528
4039	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4041	1,02852	1,02813	1,02781	1,02872
4049	0,9975	0,99329	0,98083	1,002
4051	1,03482	1,0289	1,01312	1,04066
4064	0,95786	0,9692	0,97496	0,964
4065	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4066	0,98806	0,9856	0,98367	0,98927
4068	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4069	1,01892	1,01826	1,01693	1,01949
4070	1,00634	1,00476	1,00372	1,00576
4071	1,00453	1,00407	1,00377	1,00437
4081	1,03214	1,03008	1,02873	1,03139
4348	0	1,03428	0,97704	1,06937
4366	0	1,03428	0,97705	1,06936
4370	0,9976	0,99517	0,99325	0,9988
9445	1,0406	1,03922	1,03863	1,04116
9446	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

A Tabela 36 apresenta violação de nível de tensão para as barras 399, 1569, 4348 e 4366 para o máximo nível de despacho de reativo capacitivo para as células marcadas na cor vermelha uma vez que a LT 341-4051 de 345kV é aberta e a Figura 49 apresenta os níveis de tensão para todas barras do sistema proposto.

Figura 49 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa e reativa para a 2ª contingência.

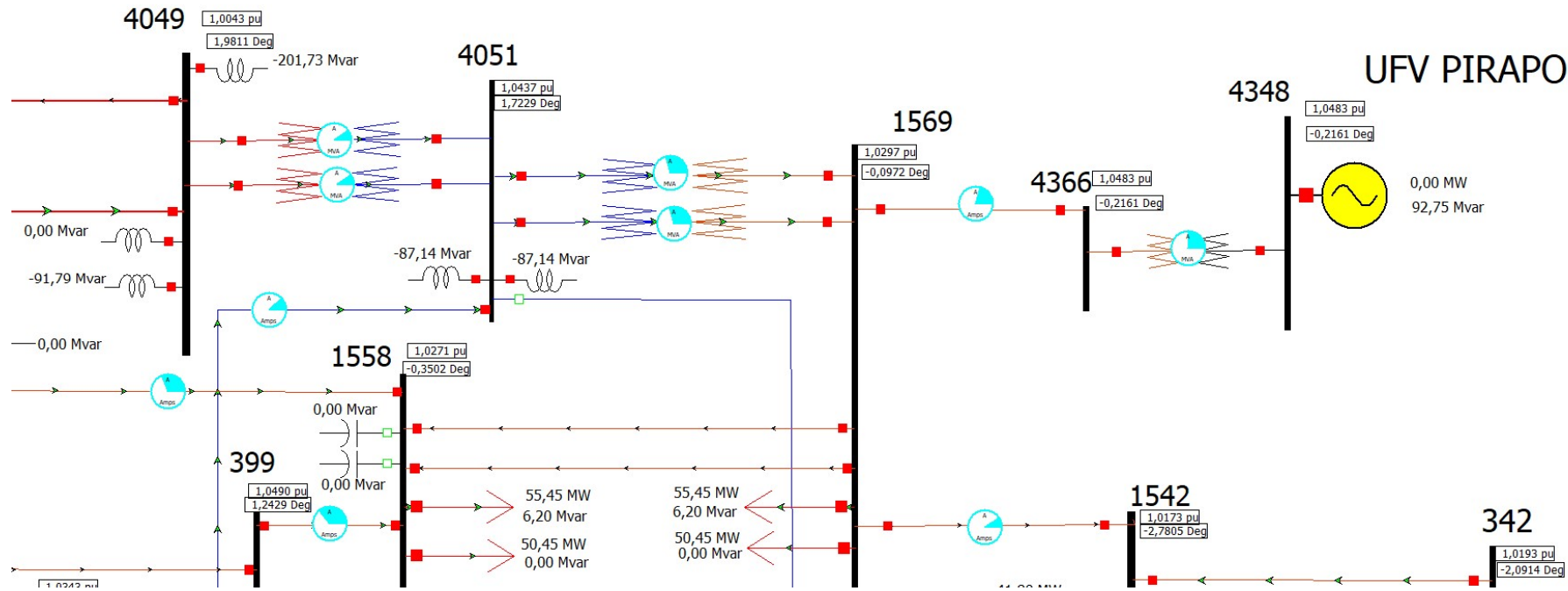


Fonte: O Autor.

Para mitigar as violações apresentadas na Tabela 36 sugere-se alterar o *tap* dos transformadores 4051-1569 dos então 1 PU de relação apresentados na Tabela 17 para a primeira relação que reduza os níveis de tensão das barras violadas a, no mínimo, o limite máximo de 1,05 PU. Visto que esses transformadores possuem 32 *taps* de excursão e esses variam, para cada *tap*, 0,006250 PU e a relação do TR 4051-1569 é de 1 PU estima-se que o mesmo esteja na posição central, ou seja, posição 16.

Por meio de métodos de tentativa e erro via Power World[®] foi possível verificar que uma vez que os *taps* dos dois transformadores 4051-1569 estiverem na posição 11 com uma relação de 0,96875 PU torna-se possível mitigar todas as violações então presentes na Tabela 36 e o resultado dessa operação é apresentada na Figura 50.

Figura 50 - Sistema proposto via Power World[®] com mitigação inicial para a 2ª contingência.



Fonte: O Autor.

2
36
-0,

5.2.3. Contingência 3 – Abertura de TR 345kV/138kV 4051-1569

A Tabela 37 apresenta os níveis de tensão em PU nas 40 barras do sistema proposto para a terceira contingência para o despacho máximo de potência ativa, reativo indutivo e reativo capacitivo pela UFV Pirapora 2 sem controle de tensão na barra 1569.

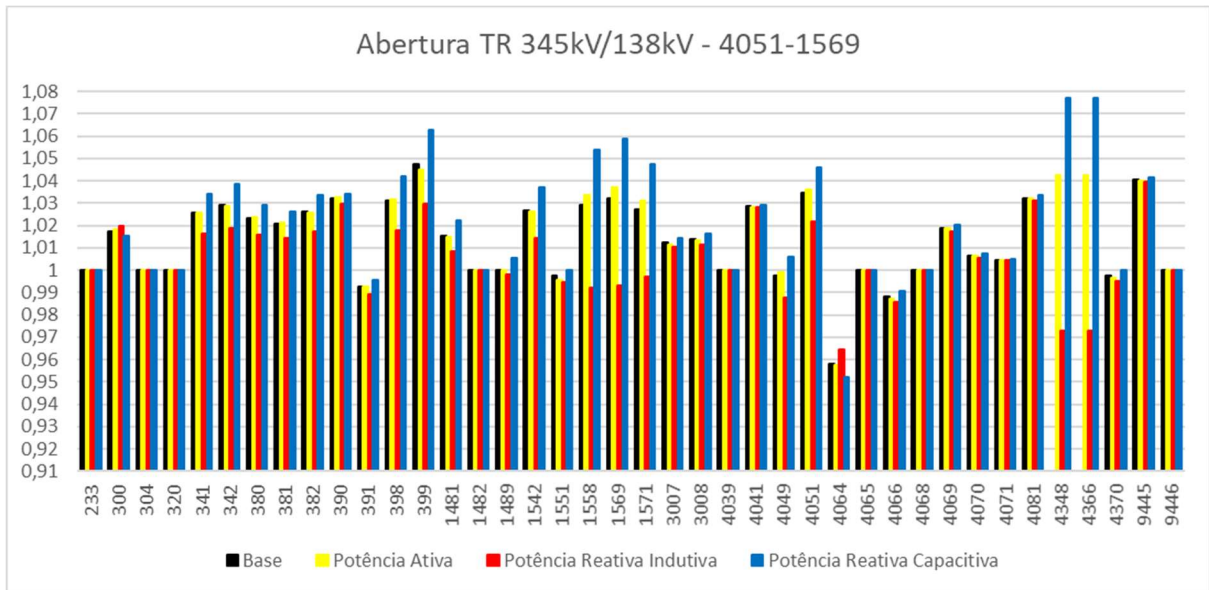
Tabela 37 - Níveis de tensão das barras com máximo despacho de potência ativa e reativa para a 3ª contingência.

Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
233	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
300	1,01737	1,01853	1,01962	1,01536
304	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
320	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
341	1,02565	1,02594	1,01609	1,03396
342	1,02904	1,02866	1,01866	1,03835
380	1,02315	1,02382	1,01602	1,02906
381	1,02075	1,02123	1,01446	1,02596
382	1,02602	1,02577	1,01717	1,0334
390	1,03198	1,03251	1,02951	1,03397
391	0,9927	0,99285	0,98939	0,99542
398	1,031	1,03157	1,01769	1,0422
399	1,04729	1,04514	1,02953	1,06262
1481	1,01526	1,01504	1,00843	1,0224
1482	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
1489	1,00000	1,00000	0,99781	1,00522
1542	1,0265	1,02621	1,01454	1,03685
1551	0,99746	0,99577	0,99481	0,99997
1558	1,02929	1,03373	0,99228	1,05402
1569	1,03236	1,03685	0,99289	1,05881
1571	1,02728	1,031	0,99709	1,04745
3007	1,0123	1,01156	1,01023	1,01413
3008	1,01397	1,01352	1,01114	1,01651
4039	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4041	1,02852	1,02836	1,02811	1,02891
4049	0,9975	0,99886	0,98762	1,00616
4051	1,03482	1,03614	1,02196	1,04607
4064	0,95786	0,95768	0,96457	0,95197
4065	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4066	0,98806	0,98703	0,98548	0,99045
4068	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4069	1,01892	1,01887	1,01742	1,02016
4070	1,00634	1,00632	1,00543	1,00727
4071	1,00453	1,00452	1,00427	1,0048
4081	1,03214	1,0321	1,03097	1,03336

CONTINUAÇÃO				
Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
4348	0	1,04233	0,97302	1,07695
4366	0	1,04233	0,97303	1,07694
4370	0,9976	0,99659	0,99505	0,99997
9445	1,0406	1,03984	1,0394	1,04174
9446	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

A Tabela 37 apresenta violação de nível de tensão para as barras 399, 1558, 1569, 4348 e 4366 para o máximo nível despacho de reativo capacitivo para as células marcadas na cor vermelha uma vez que o TR 4051-1569 de 345kV/138kV é aberto e a Figura 51 apresenta os níveis de tensão para todas barras do sistema proposto.

Figura 51 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa e reativa para a 3ª contingência.



Fonte: O Autor.

A Figura 52 apresenta parte do sistema proposto uma vez que se modifica o tap do transformador 1569-4051 remanescente da relação adotada via Tabela 17 igual a 1 PU para 0,9125 PU. Essa relação de tap é equivalente ao segundo nível dos 32 taps existentes no transformador. Com essa alteração de tap mitiga-se as violações de tensão nas barras 399, 4348, 4366, 1569 e 1558, mas a tensão da barra 4051 passa para 1,0507 PU. Move-se, portanto, a posição do tap da posição 2 para a posição 6 a fim de atingir uma relação de 0,9375 PU e se

obtem uma tensão na barra 1569 igual a 1,0496 PU e 1,0538 PU na barra 399. Os níveis de tensão nas demais barras estão dentro dos limites permitidos.

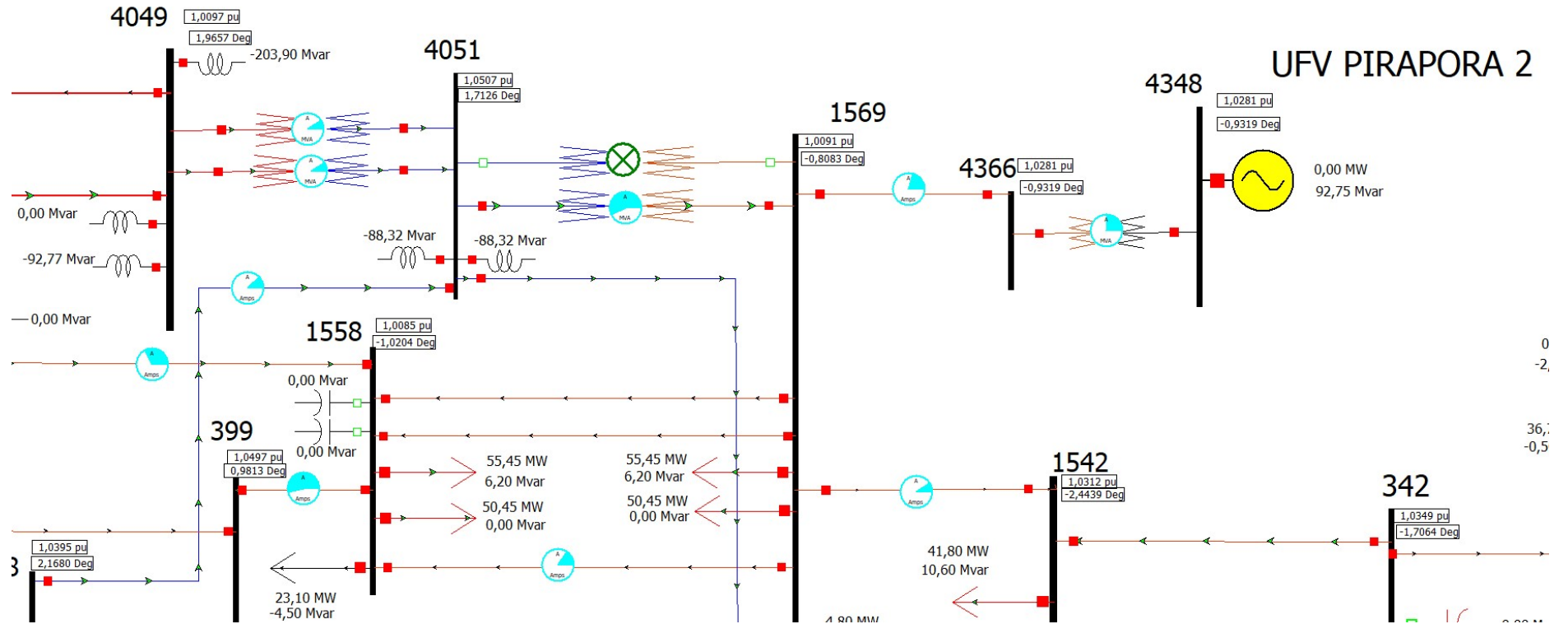
A fim de mitigar a violação do nível de tensão na barra 399 é proposto, num momento inicial, alterar o tap dos transformadores entre as barras 398 e 399 de 345kV/138kV. No entanto, uma vez realizada essa alteração percebeu-se que os níveis de tensão da barra 398 e 4051 passaram do limite de 1,05 PU com pequenas variações de *tap*. Logo, essa solução foi descartada.

A solução proposta foi modificar o despacho de reativo da UHE Três Marias dos então 19,44 Mvar capacitivo para um valor menor que impacte numa redução de tensão de tal maneira que essa se torne inferior ao limite máximo para a barra 399 que está, neste caso, em 1,0538 PU. Para verificar o valor mínimo de despacho a fim de atingir o limite de 1,05 PU se modificou a referência de controle da UHE Três Marias da sua barra de conexão 304 para a barra 399 e alterou-se a referência de 1 PU para 1,05 PU. Essa operação passou esse gerador de uma operação sobrecitada para subexcitada onde o mesmo absorve 2,85 Mvar.

Verifica-se, então, o nível de absorção de reativo à medida que se determina que a tensão no ponto de conexão da UHE é igual ao limite mínimo de tensão de operação igual a 0,95 PU. Esse valor é igual a 55,81 Mvar reativo indutivo absorvido. Isso é realizado a fim de verificar qual a máxima excursão de reativo que a UHE Três Marias pode operar respeitando os limites apresentados na Tabela 21.

A Figura 53 apresenta os níveis de tensão nas 40 barras do sistema quando analisado o despacho da UHE Três Marias igual a 2,85 Mvar, 55,81 Mvar e igual ao valor médio entre esses despachos de 29,33 Mvar indutivo. Salienta-se ainda que na Figura 53 são apresentados o caso base deste trabalho e os níveis de tensão que sofrem violação na Tabela 37, bem como estão destacados os valores de tensão nas barras 304, 399 e 1569. Por meio da Figura 53 é possível analisar cada ação realizada a fim de corrigir as violações da Tabela 37 conforme foi apresentado nessa seção.

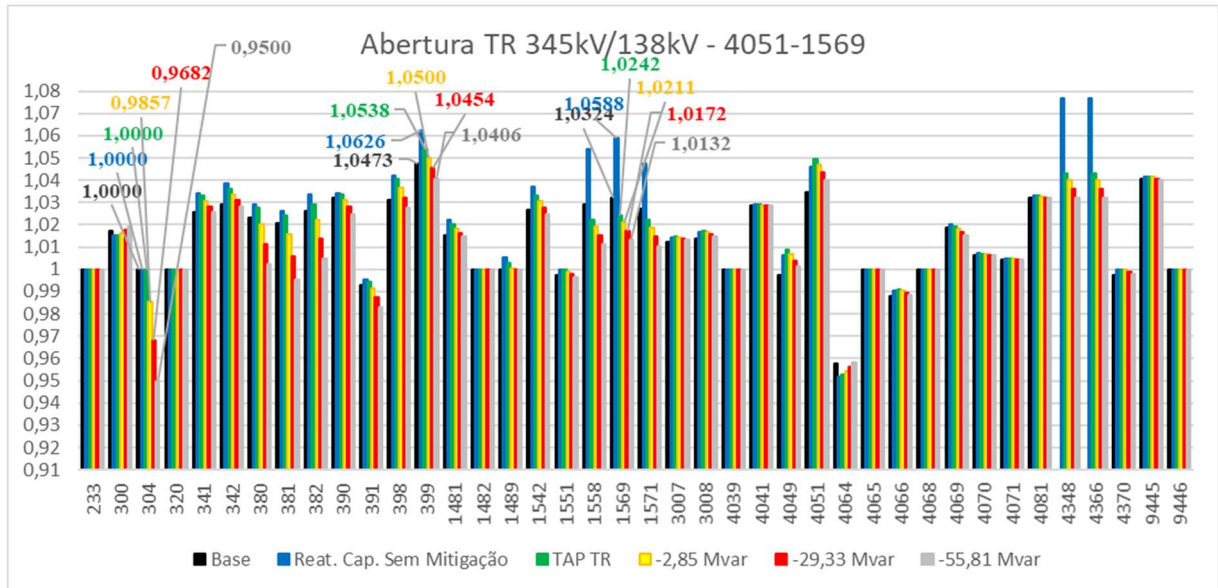
Figura 52 – Sistema proposto via Power World® com mitigação inicial para a 3ª contingência.



Fonte: O Autor.

A Tabela 38, por fim, apresenta a quantidade de potência reativa despachada por cada unidade geradora do sistema uma vez considerado o cenário com violação de máximo despacho de potência reativa capacitiva da Tabela 37 pela UFV Pirapora 2 e o cenário final da solução adotada onde a UHE Três Marias absorve 29,33 Mvar.

Figura 53 – Níveis de tensão nas barras do sistema proposto para a 3ª contingência e respectiva solução.



Fonte: O Autor.

Tabela 38 - Despacho de potência reativa para todas usinas na presença da 3ª contingência.

Barra	Nome	Com violação	Sem violação
233	SLACK	-320,51	-313,68
300	UHE Emborcação	-255,26	-235,45
304	UHE Três Marias	13,28	-29,33
1482	UTE Bevap	-7,98	0,06
1489	UTE São Judas Tadeu	-2,4	-1,54
4039	UHE Queimado	-0,9	-0,71
4064	UHE Irapé	-66,15	-52,36
4068	UHE Retiro Baixo	-24,29	-19,89
4348	UFV Pirapora 2	92,75	92,75
4370	UFV Paracatu	35	35
9446	UHE Batalha	6,87	7,5

Além da UHE Três Marias que teve sua operação passada de sobreexcitada para subexcitada se destaca a UTE Bevap que passou de sub para sobreexcitada.

5.2.4. Contingência 6 – Abertura de LT 345kV 398-4051

A Tabela 39 apresenta os níveis de tensão em PU nas 40 barras do sistema proposto para a sexta contingência para o despacho máximo de potência ativa, reativo indutivo e reativo capacitivo pela UFV Pirapora 2 sem controle de tensão na barra 1569.

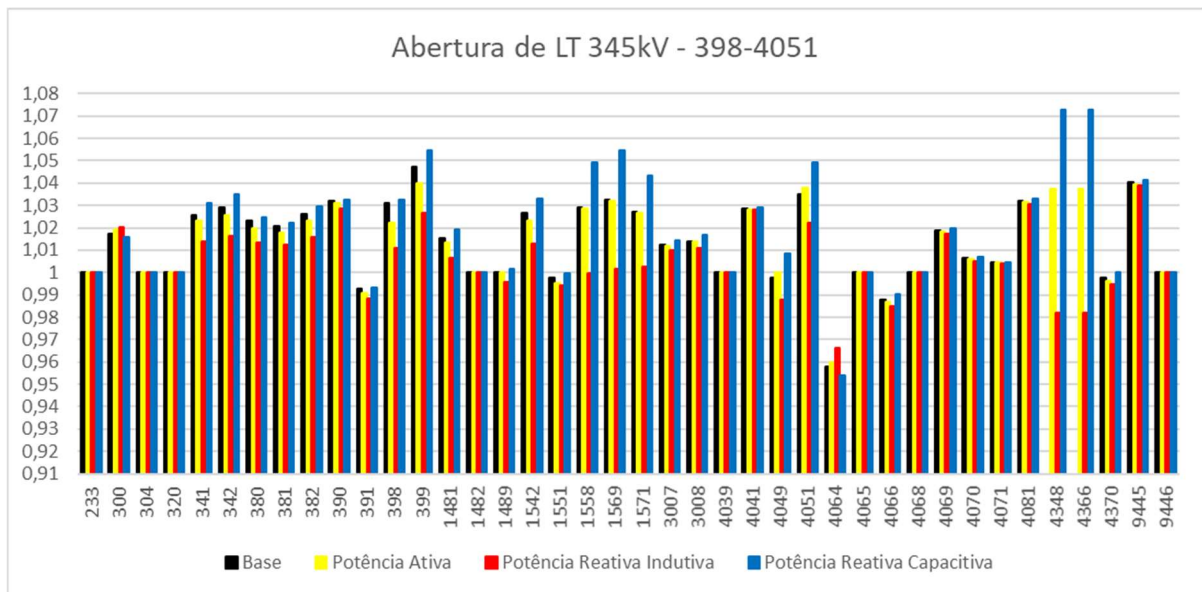
Tabela 39 - Níveis de tensão das barras com máximo despacho de potência ativa e reativa para a 6ª contingência.

Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
233	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
300	1,01737	1,01923	1,02018	1,01579
304	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
320	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
341	1,02565	1,0231	1,01395	1,03117
342	1,02904	1,02578	1,01652	1,03497
380	1,02315	1,01964	1,01348	1,02477
381	1,02075	1,01783	1,01247	1,0224
382	1,02602	1,02299	1,01604	1,02983
390	1,03198	1,03101	1,02884	1,03271
391	0,9927	0,99063	0,98824	0,99347
398	1,031	1,02204	1,01107	1,03244
399	1,04729	1,0397	1,02683	1,05484
1481	1,01526	1,01334	1,00649	1,01933
1482	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
1489	1,00000	1,00000	0,99567	1,0018
1542	1,0265	1,02304	1,01269	1,03314
1551	0,99746	0,99505	0,99405	0,99941
1558	1,02929	1,02865	0,9997	1,04938
1569	1,03236	1,03209	1,0015	1,05442
1571	1,02728	1,02661	1,00276	1,04337
3007	1,0123	1,01181	1,01016	1,01454
3008	1,01397	1,01371	1,01092	1,01692
4039	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4041	1,02852	1,02833	1,02803	1,02892
4049	0,9975	1,00026	0,98763	1,0085
4051	1,03482	1,03805	1,02213	1,04929
4064	0,95786	0,95965	0,96609	0,95398
4065	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4066	0,98806	0,98688	0,98502	0,99049
4068	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4069	1,01892	1,01841	1,01723	1,01956
4070	1,00634	1,00609	1,00518	1,00687
4071	1,00453	1,00446	1,0042	1,00469
4081	1,03214	1,03181	1,03064	1,03283

CONTINUAÇÃO				
Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
4348	0	1,03758	0,98181	1,07263
4366	0	1,03758	0,98182	1,07262
4370	0,9976	0,99643	0,99459	1,00001
9445	1,0406	1,03951	1,03906	1,04149
9446	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

A Tabela 39 apresenta violação de nível de tensão para as barras 399, 1569, 4348 e 4366 para o máximo nível de despacho de reativo capacitivo para as células marcadas na cor vermelha uma vez que a LT 398-4051 de 345kV é aberta e a Figura 54 apresenta os níveis de tensão para todas barras do sistema proposto.

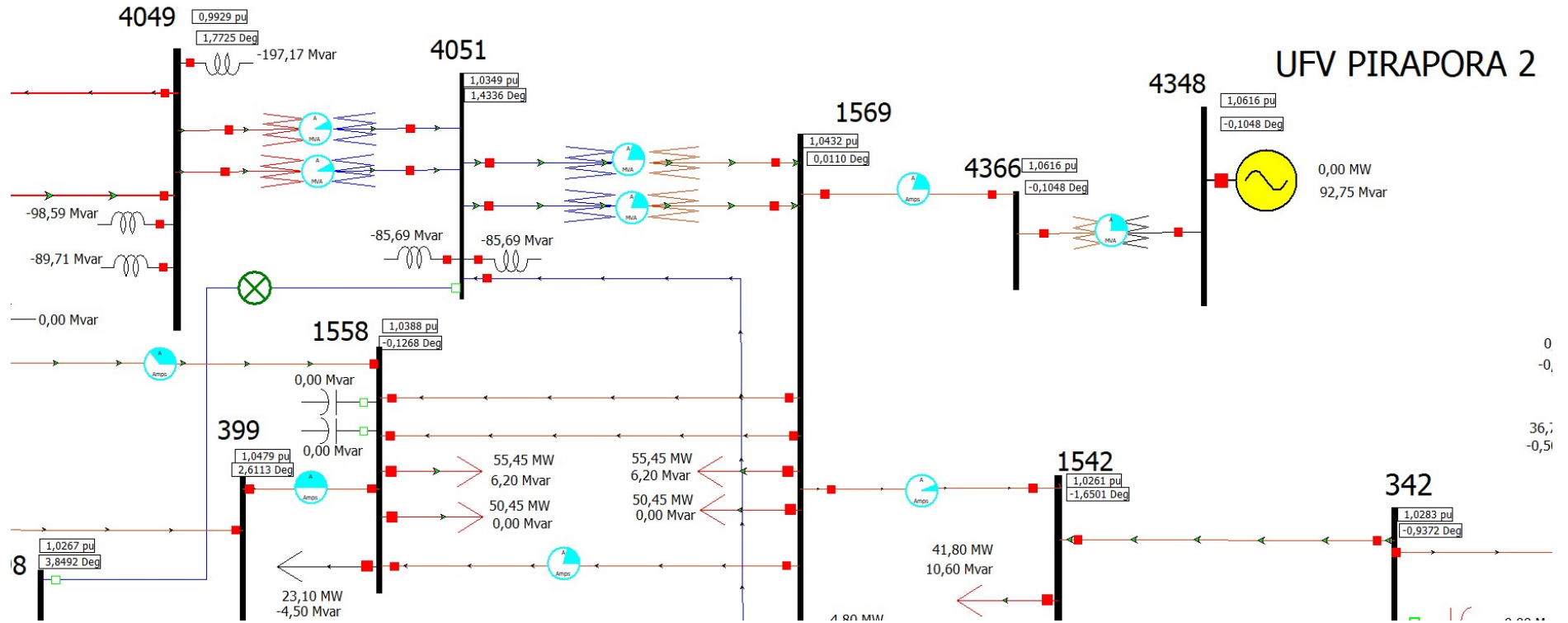
Figura 54 - Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa e reativa para a 6ª contingência.



Fonte: O Autor.

Para mitigar as violações apresentadas na Tabela 39 inicia-se alterando o modo de controle do reator de 100 Mvar nominal conectado a barra 4049 conforme realizado em 5.2.1. A Figura 55 apresenta parte do sistema proposto uma vez realizada essa modificação onde o reator passa a absorver 98,59 Mvar de reativo e a tensão da barra 4049 cai 1,54%, o nível de tensão na barra

Figura 55 - Sistema proposto via Power World[®] com mitigação inicial para a 6ª contingência.

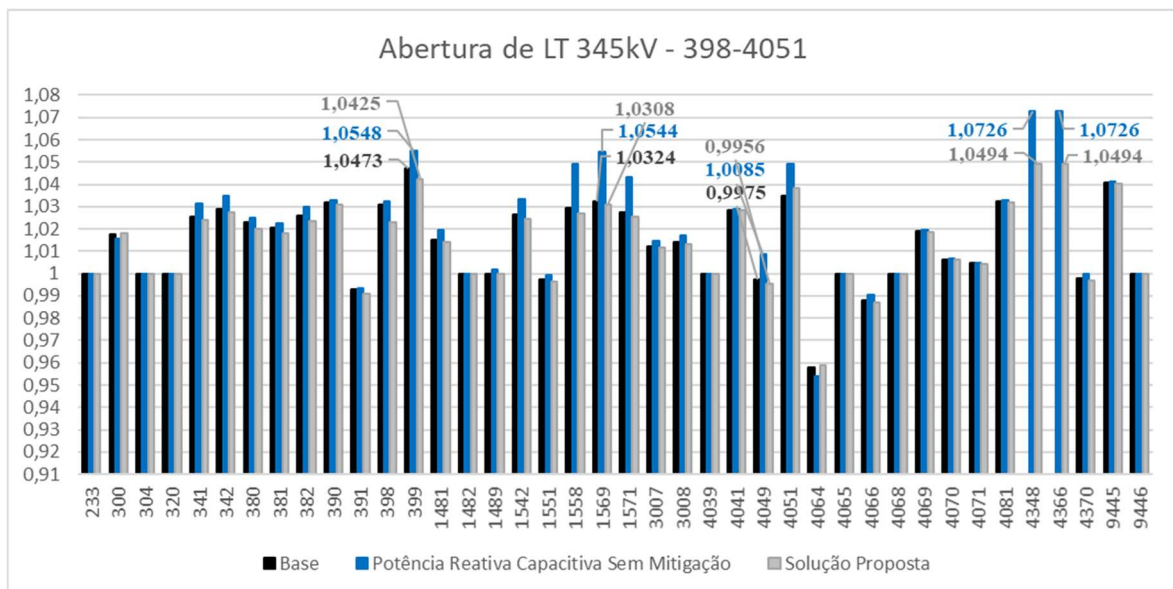


Fonte: O Autor.

399 reduz 0,65% e a barra 1569 cai 1,06% e fica abaixo do limite superior de 1,05 PU. No entanto, o nível de tensão nas barras 4366 e 4348 permanecem violando o limite superior com valores de 1,0616 PU.

Para reduzir o nível de tensão nessas barras sugere-se alterar o *tap* dos transformadores 1569-4051 conforme apresentado em 5.2.2. Modifica-se o *tap* da posição 16 central para a posição 13 onde a relação é igual a 0,98125 PU e isso implica numa redução no nível de tensão das barras 4366 e 4348 em 1,14% fazendo com que ambas barras atinjam 1,0494 PU e fiquem abaixo do limite superior conforme apresentado na Figura 56.

Figura 56 - Níveis de tensão nas barras do sistema proposto para a 6ª contingência e respectiva solução.



Fonte: O Autor.

A Figura 56 apresenta os níveis de tensão de todas as barras consideradas neste estudo para o caso apresentado na Tabela 39 onde há violação para o despacho máximo de reativo capacitivo e para a solução proposta para a sexta contingência.

5.2.5. Contingência 8 – Abertura de LT 500kV 4049-3007

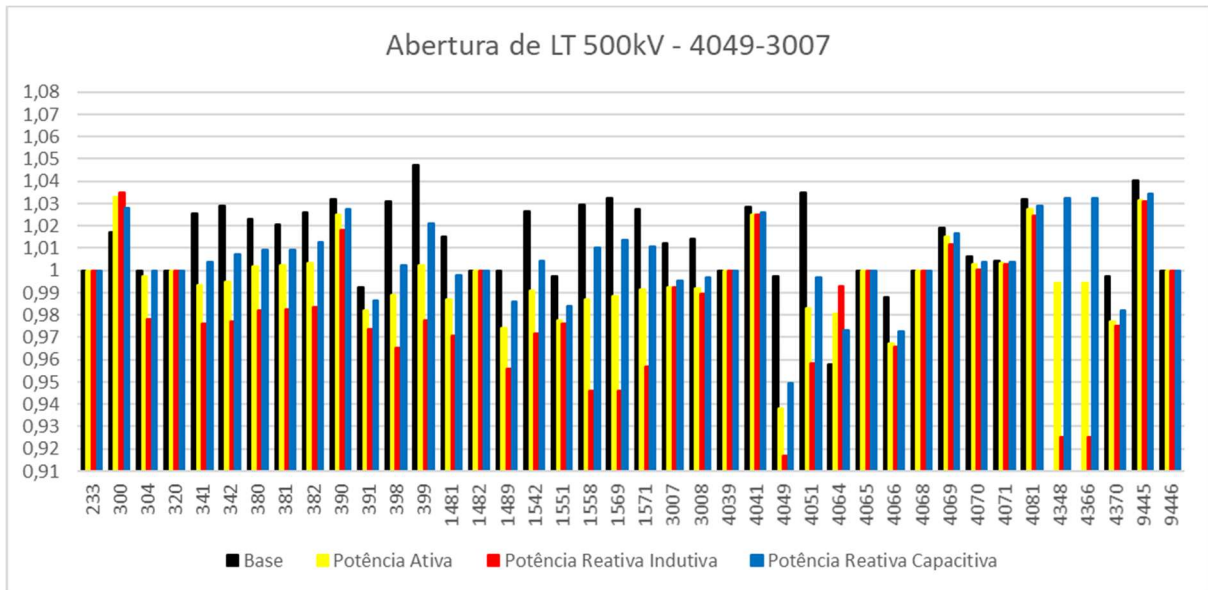
A Tabela 40 apresenta os níveis de tensão em PU nas 40 barras do sistema proposto para a oitava contingência para o despacho máximo de potência ativa, reativo indutivo e reativo capacitivo pela UFV Pirapora 2 sem controle de tensão na barra 1569.

Tabela 40 - Níveis de tensão das barras com máximo despacho de potência ativa e reativa para a 8ª contingência.

Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
233	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
300	1,01737	1,03313	1,03491	1,02809
304	1,00000	0,99738	0,97836	1,00000
320	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
341	1,02565	0,99343	0,97625	1,00379
342	1,02904	0,99516	0,97716	1,00713
380	1,02315	1,00191	0,98223	1,00939
381	1,02075	1,00211	0,98242	1,0091
382	1,02602	1,00336	0,98365	1,0128
390	1,03198	1,02485	1,01805	1,02732
391	0,9927	0,98222	0,97379	0,98635
398	1,031	0,98905	0,96532	1,00256
399	1,04729	1,00226	0,97764	1,02118
1481	1,01526	0,98703	0,97054	0,99793
1482	1	1	1	1
1489	1,00000	0,97414	0,9559	0,98621
1542	1,0265	0,99118	0,97167	1,00414
1551	0,99746	0,97774	0,97632	0,984
1558	1,02929	0,98701	0,94615	1,01018
1569	1,03236	0,98873	0,94621	1,01347
1571	1,02728	0,99168	0,95697	1,0107
3007	1,0123	0,99269	0,99258	0,99536
3008	1,01397	0,9921	0,98935	0,99673
4039	1	1	1	1
4041	1,02852	1,02518	1,0249	1,02603
4049	0,9975	0,93819	0,91699	0,94948
4051	1,03482	0,9832	0,95824	0,9971
4064	0,95786	0,98071	0,99296	0,97329
4065	1	1	1	1
4066	0,98806	0,96742	0,96567	0,97263
4068	1	1	1	1
4069	1,01892	1,0151	1,01178	1,01669
4070	1,00634	1,00264	1,00047	1,00406
4071	1,00453	1,00346	1,00283	1,00387
4081	1,03214	1,02732	1,0245	1,02918
4348	0	0,99427	0,92530	1,03238
4366	0	0,99427	0,92531	1,03238
4370	0,9976	0,97715	0,97542	0,98231
9445	1,0406	1,03168	1,03103	1,03451
9446	1	1	1	1

A Tabela 40 apresenta violação de nível de tensão para as barras 1558, 1569, 4348 e 4366 para o máximo nível despacho de reativo indutivo e violações na barra 4049 para todos despachos considerados nesse cenário. A Figura 57 apresenta os níveis de tensão para todas barras uma vez que há abertura da LT 3007-4049 e máximos níveis de despacho ativo e reativo.

Figura 57 – Níveis de tensão das barras com variação de potência ativa e reativa para a 8ª contingência.



Fonte: O Autor.

Para compensar a potência reativa gerada pela linha longa de 500kV existem reatores nas duas extremidades da linha. A fim de mitigar a violação de tensão causada pela 8ª contingência é possível realizar mais de uma operação. Em 5.1.2 é proposto desligar o reator conectado a barra 4049 de potência reativa nominal de 91 Mvar indutivo apresentado na Tabela 18. Nessa seção será apresentado além dessa solução referente ao reator de 91 Mvar a possibilidade de desligar os dois reatores de 80 Mvar apresentados na Tabela 18 e conectados a barra 4051 de 345kV e ligar os dois bancos de capacitores conectados à barra 1558 de 15,7 Mvar e 17,1 Mvar apresentados na Tabela 20. Desta forma não será mais absorvido certa parte de reativo indutivo e será injetado reativo capacitivo no sistema a fim de subir os níveis de tensão.

A Tabela 41 apresenta os níveis de tensão em PU nas 40 barras uma vez proposto o desligamento do reator de 91 Mvar.

Tabela 41 - Níveis de tensão sem reator de 91 Mvar para despachos de ativo e reativo para a 8ª contingência.

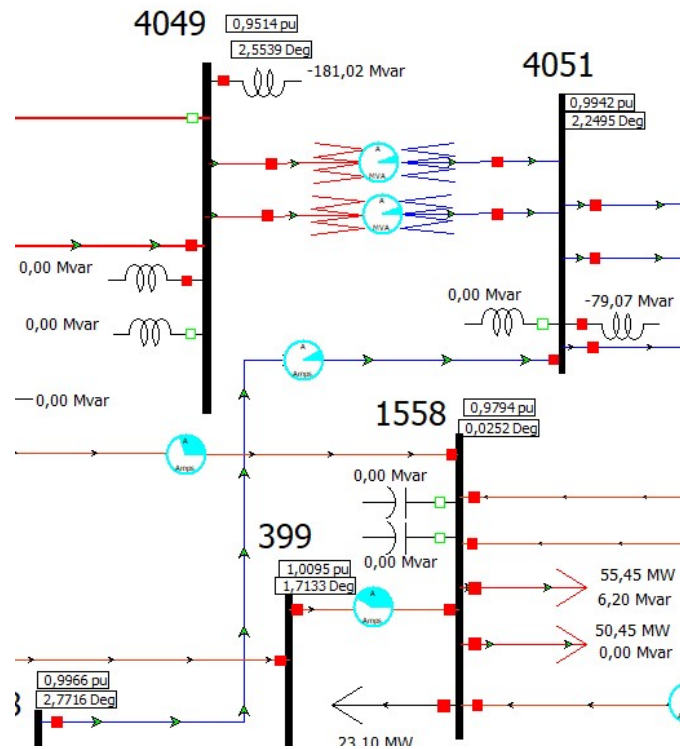
Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
233	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
300	1,01737	1,03032	1,03144	1,02555
304	1,00000	1,00000	0,98959	1,00000
320	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
341	1,02565	1,00289	0,98741	1,01265
342	1,02904	1,00507	0,98886	1,01639
380	1,02315	1,009	0,99387	1,01505
381	1,02075	1,00856	0,99405	1,01393
382	1,02602	1,01054	0,99525	1,01855
390	1,03198	1,02729	1,02202	1,02926
391	0,99270	0,98552	0,97918	0,98897
398	1,03100	1,00139	0,98033	1,014
399	1,04729	1,01484	0,99293	1,03275
1481	1,01526	0,99606	0,98126	1,00638
1482	1,00000	1,00000	1,00000	1,00001
1489	1,00000	0,98414	0,96777	0,99555
1542	1,02650	1,00153	0,98391	1,0138
1551	0,99746	0,98108	0,98028	0,98707
1558	1,02929	1,00031	0,96206	1,02247
1569	1,03236	1,0024	0,96245	1,02612
1571	1,02728	1,00297	0,97085	1,02104
3007	1,0123	0,99413	0,99416	0,99674
3008	1,01397	0,99591	0,99354	1,00037
4039	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4041	1,02852	1,02574	1,02553	1,02656
4049	0,9975	0,95508	0,93558	0,96579
4051	1,03482	0,99821	0,97538	1,01135
4064	0,95786	0,97397	0,98501	0,96699
4065	1,00000	1,00000	1,00000	1,00001
4066	0,98806	0,9709	0,96955	0,97592
4068	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4069	1,01892	1,01631	1,01373	1,01766
4070	1,00634	1,00383	1,00187	1,00518
4071	1,00453	1,0038	1,00324	1,0042
4081	1,03214	1,02887	1,02633	1,03063
4348	0	1,00792	0,94192	1,0448
4366	0	1,00792	0,94193	1,04479
4370	0,9976	0,98059	0,97926	0,98558
9445	1,0406	1,03319	1,03283	1,03590
9446	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

A Tabela 41 apresenta mitigação de violações de níveis de tensão para os casos em que há somente despacho de potência ativa e reativa capacitiva pela UFV Pirapora 2, mas a solução adotada não se mostrou suficiente para o caso em que há somente despacho de reativo indutivo pela usina. A tensão na barra 4049, para esse caso de despacho de reativo indutivo, subiu 2,02% em relação ao apresentado na Tabela 40 mas está 0,01442 PU abaixo do limite mínimo de 0,95 PU.

O nível de tensão nas barras 4366 e 4348 também estão abaixo do limite mínimo. Salienta-se que a barra 4348 é a barra de 34,5kV da UFV Pirapora 2 e a 4366 é a barra de alta tensão da SE Coletora Pirapora 1 de 138kV. Essa violação se dá devido aos 92,75 Mvar de reativo absorvidos pelo empreendimento.

Para mitigar essas infrações é proposto desligar os reatores de 80 Mvar conectados a barra 4051 de 345kV. A Figura 58 apresenta nível de tensão na barra 4049 acima do limite mínimo quando desligado um reator da barra 4051 e igual a 0,9514 PU. Salienta-se que as tensões nas barras 4348 e 4366 também são recuperados e são ambas iguais a 0,9600 PU.

Figura 58 – Nível de tensão na barra 4049 quando submetido a retirada de reator do sistema.



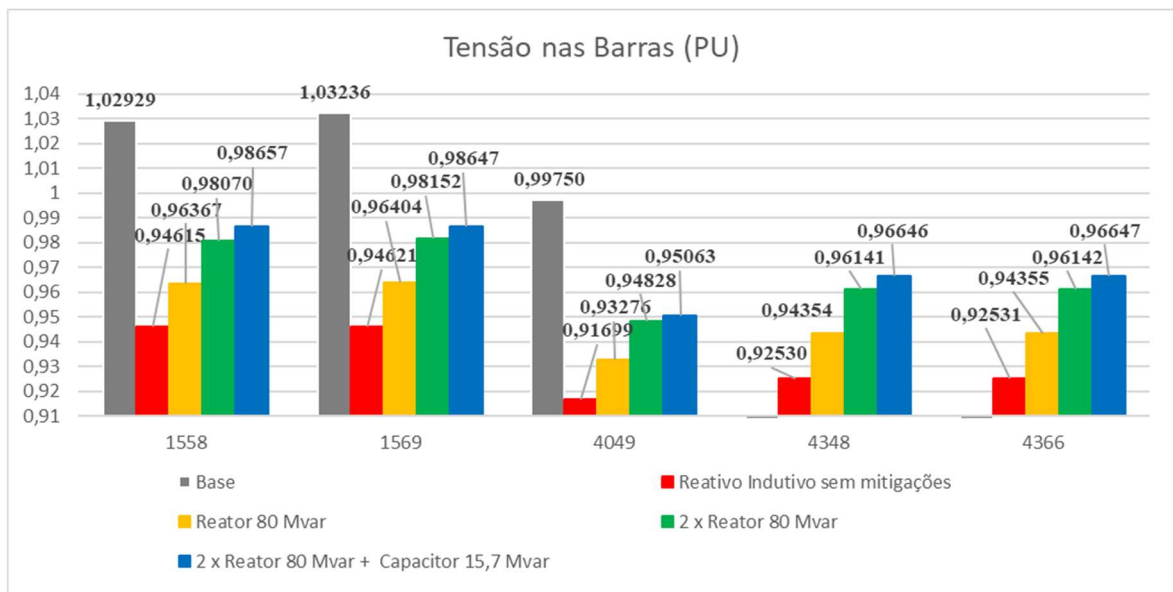
Fonte: O Autor.

Num segundo momento é proposto uma solução alternativa para mitigar as violações da Tabela 40. Inicia-se desligando somente um dos reatores de 80 Mvar da barra 4051 e analisado o nível de tensão da barra 4049, 4348, 4366 e 1569 para os despachos de potência ativa e reativa indutiva e capacitiva da UFV Pirapora 2. Todas infrações são mitigadas com essa solução para os casos de máximo despacho de ativo e reativo capacitivo, mas não para a absorção de reativo indutivo.

Na presença da 8ª contingência, a máxima absorção de reativo e o desligamento do reator conectado a barra 4051 implica num aumento do nível de tensão da barra 1558 em 1,84% atingindo 0,9637 PU e, por consequência, não há mais infração de nível mínimo de tensão. A barra 1569, por sua vez, tem seu nível de tensão aumentado em 1,89% e as barras 4049, 4366 e 4348 continuam abaixo de 0,95 PU.

Na sequência é desligado um segundo reator de 80 Mvar nominal da barra 4051 e por fim é ligado um banco de capacitores com capacidade de 15,7 Mvar conectado à barra 1558. A Figura 59 ilustra os níveis de tensão em PU para cada uma dessas barras à medida que o sistema é submetido a cada processo de mitigação. Salienta-se que o caso indicado por “Reativo Indutivo sem mitigações” se refere aos ao cenário apresentado na Tabela 40.

Figura 59 – Nível de tensão em barras submetidas a conexões de reatores e capacitores para a 8ª contingência.



Fonte: O Autor.

A Figura 59 mostra que as barras 1558 e 1569 recuperam o nível de tensão acima do limite mínimo uma vez que um dos reatores de 80 Mvar da barra 4051 são desligados e que o

desligamento de um segundo reator conectado a mesma barra elimina as violações nas barras 4348 e 4366. A violação de tensão na barra 4049 é superada à medida que se conecta ao sistema um banco de capacitores de 15,7 Mvar nominal conectado a barra 1558 posterior o desligamento dos reatores de 80 Mvar nominais conectados a barra 4051. Salienta-se que há um afundamento de tensão na barra 4049 à medida que a UFV absorve somente potência reativa e o sistema é submetido a abertura da LT 3007-4049 de cerca de 8,07%. Uma vez realizado o processo de mitigação esse valor cai para 4,70% e não viola o limite mínimo de tensão de 0,95 PU. A barra 1569, por sua vez, sofre um afundamento de tensão inicial de 8,34% e com o processo de mitigação adotado esse valor é reduzido para 4,44%.

O primeiro processo adotado como proposta de mitigação para a 8ª contingência possui menos ações por parte do Operador e recupera o afundamento de tensão da barra 4049 dos 8,07% para 4,62% abaixo do nível de tensão inicial tendo, portanto, um impacto maior e o afundamento na barra 1569, no entanto, passou dos 8,34% para 7,00% abaixo do valor inicial o que representa um impacto menor uma vez comparado ao segundo método adotado.

A Tabela 42 apresenta o despacho de potência reativa em Mvar de todas unidades geradoras consideradas neste estudo para os níveis máximos de despacho de potência ativa e reativa pela UFV Pirapora 2 com violação conforme apresentado via Tabela 40 e sem nenhuma violação dos níveis de tensão segundo os processos de mitigação que fazem uso dos reatores conectados às barras 4051 e banco de capacitores conectados à barra 1558. Salienta-se que para os máximos despachos de potência ativa e reativa capacitiva foi necessário desligar somente um reator de 80 Mvar conectado a barra 4051 para mitigar as violações dos níveis de tensão.

Destaca-se que a UHE Três Marias deixou de fornecer o máximo de reativo que a mesma possui de disponibilidade para os casos de máximo despacho de potência ativa e reativa indutiva da UFV Pirapora 2 à medida que as violações dos níveis de tensão então presentes em cada cenário foram mitigados. Enquanto houve uma redução de 17,01% no fornecimento de reativo para o cenário com máximo despacho de potência ativa pela UFV Pirapora 2, a UHE reduziu 10,75% quando a UFV absorve o máximo de reativo e a hidrelétrica também reduz 25,89% quando a central fotovoltaica fornece 92,75 Mvar de reativo ao sistema. Destaca-se, ainda, a UHE Irapé que para o caso base opera subexcitada fornecendo 46,47 Mvar ao sistema e à medida que se avalia a contingência para os níveis extremos de despacho da UFV Pirapora 2 percebe-se que essa UHE passa a operar sobreexcitada a fim de manter a sua barra de referência

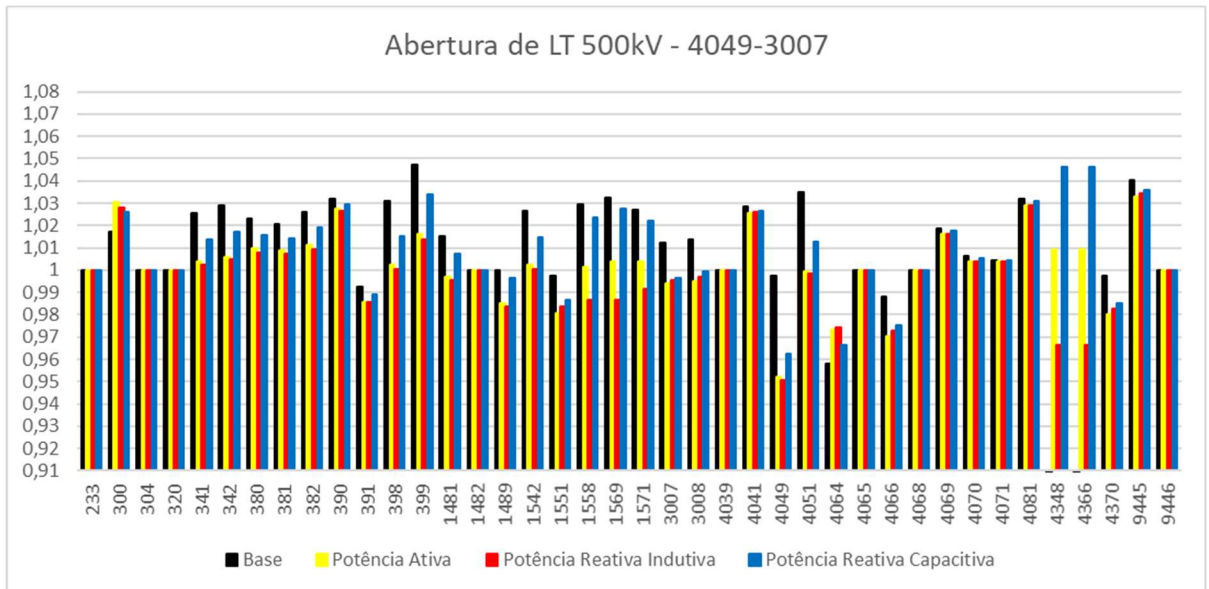
Tabela 42 – Despachos de reativo de todas unidades geradoras no processo de mitigação para a 8ª contingência.

Barra	Nome	Base	Potência Ativa		Potência Reativa Indutiva		Potência Reativa Capacitiva	
			Com violação de tensão	Sem violação de tensão	Com violação de tensão	Sem violação de tensão	Com violação de tensão	Sem violação de tensão
233	SLACK	-294,54	28,37	11,81	-18,52	-58,68	-57,37	-72,98
300	UHE Emborcação	-237,83	-98,2	-120,63	-82,13	-142,96	-143,35	-163,19
304	UHE Três Marias	32,17	90	74,69	90	80,32	74,45	55,17
1482	UTE Bevap	-3,04	5,7	2,66	14,24	5,67	1,02	-1,77
1489	UTE São Judas Tadeu	-0,79	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
4039	UHE Queimado	-0,43	3,6	3,04	3,94	2,55	2,58	2,06
4064	UHE Irapé	-46,47	32,36	6,46	76,16	9,79	6,34	-17,69
4068	UHE Retiro Baixo	-22,64	-17,57	-19,3	-13,16	-18,91	-19,68	-21,09
4348	UFV Pirapora 2	0	0	0	-92,75	-92,75	92,75	92,75
4370	UFV Paracatu	35	35	35	35	35	35	35
9446	UHE Batalha	7,58	13,18	12,36	13,59	11,43	11,4	10,66

em 1 PU. O único caso em que a mesma mantém a operação subexcitada é quando a UFV Pirapora 2 fornece o máximo de reativo ao sistema e não há violações dos níveis de tensão nas demais barras do sistema proposto. Nesse caso há uma redução de 61,93% na absorção de reativo pela UHE Irapé quando comparado ao caso base e uma variação de 24,03 Mvar frente ao cenário com violação de tensão para o máximo fornecimento de reativo capacitivo pela UFV Pirapora 2.

Por fim, a Figura 60 apresenta os níveis de tensão em todas as barras do sistema proposto uma vez submetido à 8ª contingência com máximos despachos de potência ativa e reativa pela UFV Pirapora 2.

Figura 60 - Níveis de tensão nas barras do sistema proposto para a 8ª contingência sem violações de tensão.



Fonte: O Autor.

Diferente do que foi inicialmente apresentado via Figura 57, não há qualquer barra que apresente subtensão uma vez adotado os métodos apresentados.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou o impacto que diferentes níveis de despacho de potência ativa e reativa da usina fotovoltaica Pirapora 2 causa às tensões das barras de um sistema equivalente do sistema norte de transmissão de energia elétrica do estado de Minas Gerais, onde está conectada esta UFV, modelado via software Power World®.

Para avaliar esses impactos, foi elaborada uma lista com 8 contingências críticas associadas a área de influência da UFV Pirapora 2. Os resultados dessas avaliações foram apresentados sob a forma de tabelas, gráficos e figuras no Capítulo 5, sendo que a seguir apresenta-se as principais conclusões obtidas destas análises. Importante salientar que há diversas soluções para as contingências simuladas. Este trabalho apresentou processos diferentes para cada uma a fim de avaliar eventuais estudos realizados pelo operador.

O primeiro cenário analisado neste trabalho é caracterizado pela operação conforme os procedimentos de rede do ONS. De acordo com as instruções dos procedimentos de rede a operação da UFV Pirapora 2 apresenta características operativas de controle de tensão, atuando de forma a absorver/fornecer reativos da rede, de acordo com o fator de potência recomendado na barra de conexão. Esta situação operativa é explicada pela grande quantidade de linhas longas de EAT (345 e 500 kV) que compõe a rede do sistema onde é realizada a conexão. Salienta-se que para todas contingências há um impacto significativo nos níveis de tensão nas barras, com o efeito atingindo a segunda vizinhança, e algumas vezes com impacto até a terceira vizinhança. Este efeito torna-se mais predominante à medida que a usina inicia o despacho com 25% de ativo. Esses resultados são devidos a disponibilidade em fornecer e absorver reativo do sistema. Salienta-se que a oitava contingência é a única simulação, para esse cenário, que sofre violações de tensão, caracterizadas por subtensões em todos os graus de despacho de potência ativa pela UFV.

O segundo cenário, por sua vez, é caracterizado por duas situações operativas: 100% de despacho de potência ativa; 100% de despacho de reativo capacitivo/indutivo. Neste cenário, aparecem sobretensões para as contingências de 1 a 6 quando há máximo fornecimento de reativo capacitivo pela UFV Pirapora 2 com exceção para a sétima e oitava contingência onde há subtensões. A oitava contingência é o único cenário analisado que apresenta violações de

tensão quando há 100% de absorção de reativo e 100% de despacho de ativo, que são caracterizadas por subtensões.

Por fim, o Complexo Fotovoltaico Pirapora 2 opera conforme os procedimentos de operação do ONS rege: um recurso adicional para controle de tensão da rede de operação do SIN e a sua capacidade de fornecimento de potência reativa de -92,75 Mvar até +92,75 Mvar garante melhores níveis de tensão nas barras da SE Pirapora 2 e às demais da vizinhança na presença de eventuais contingências, evitando que seja necessária um maior número de operações por parte do operador o que auxilia na mitigação das violações dos níveis de tensão.

7 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta seção é dedicada a sugestões do autor para dar continuidade ao trabalho desenvolvido até então. Essas sugestões envolvem análises mais profundas dos cenários propostos e o uso de diferentes softwares a fim de validar os dados aqui apresentados.

Inicialmente é proposto analisar os níveis de tensão nas 40 barras simuladas neste trabalho por meio do software ANAREDE a fim de averiguar qual o grau de veracidade dos dados apresentados via simulações do sistema proposto uma vez que houve a redução do número de barras e linhas de transmissão. Para isso devem ser realizadas as mesmas contingências aplicadas e as mesmas premissas apresentadas em 4.2 no software ANAREDE.

Num segundo momento sugere-se realizar a análise das perdas do sistema, sobrecargas de linhas de transmissão e transformadores do modelo proposto e as relações que essas variáveis possuem com as violações dos níveis de tensão estudadas no transcórre deste trabalho. As informações de carregamento das LTs e transformadores do SIN da região norte de MG estão presentes no ANEXO E e no ANEXO F deste trabalho. Tanto as perdas quanto os níveis de carregamento podem ser analisados via Power World[®] com algumas manipulações do software, bem como via ANAREDE e outros softwares como, por exemplo, o Open DSS.

Analisar novas contingências como a abertura de outras LTs de 500kV ou retirada de centrais geradoras também é uma possibilidade, bem como realizar esse estudo em regime permanente em outro sistema de transmissão que tenha a presença de usinas fotovoltaicas centralizadas já em operação comercial no SIN como, por exemplo, usinas no Piauí e na Bahia por meio do mesmo arquivo do PAR ou de outros anos e estações do ano.

Importante salientar que o software Power World[®] é uma ferramenta computacional com uma gama de funções para as mais diversas análises não limitando-se ao regime permanente, mas atuando também em regime transitório. Dito isso, sugere-se verificar no software ANAREDE os níveis de curto circuito nas barras do sistema inicialmente modelado e averiguar como o sistema do Complexo Fotovoltaico Pirapora 2 reage a, por exemplo, curtos circuitos monofásicos e trifásicos em linhas de transmissão e transformadores do sistema à medida que há intermitência da geração e o despacho de potência ativa varia simultaneamente a ocorrência de um curto.

Por fim, sugere-se analisar o impacto em regime permanente e dinâmico que a penetração de centrais híbridas pode causar ao SIN como, por exemplo, centrais geradoras que possuam o sistema fotovoltaico instalado junto a bancos de baterias, geradores à diesel ou geradores eólicos no mesmo ponto de conexão ao sistema ou eletricamente próximos. O uso dessas soluções híbridas tornar-se-ão presentes no SIN nos próximos anos uma vez que o custo de aquisição dessas tecnologias for reduzido devido à alta competitividade do mercado e estudos deverão ser realizados para manter a operação do sistema dentro dos requisitos estabelecidos via procedimentos do ONS.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Energia solar fotovoltaica pode crescer mais de 300% até o fim do ano.** 2017. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-07/energia-solar-fotovoltaica-pode-crescer-mais-de-300-ate-o-fim-do-ano-diz>>. Acesso em: 2 set. 2018.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 67.** 2004. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2004067.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2018.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482.** 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>.

ANEEL. **LER 008/2014.** 2014. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/Edital_Ler_08_14RF_pós_RAC_SCG_v2_final_para_publicar.pdf>. Acesso em: 6 out. 2018.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 687.** 2015a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>.

ANEEL. **LER 008/2015.** 2015b. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/Edital_1º_LER_de_2015_082015.pdf>. Acesso em: 6 out. 2018.

ANEEL. **LER 009/2015.** 2015c. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/Edital_2º_LER_de_2015_publicação.pdf>. Acesso em: 6 out. 2018.

ANEEL. **Matriz de Energia Elétrica.** 2018a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 2 set. 2018.

ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração.** 2018b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 2 set. 2018.

ANEEL. **Leilão nº 01/2018.** 2018c. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/EDITAL_Leilão_A_4_2018_assinado.pdf>. Acesso em: 30 set. 2018.

ANEEL. **BIG - Usinas Fotovoltaicas em Operação Comercial.** 2018d. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp>>. Acesso em: 5 out. 2018.

CCEE. **Tipos de Leilões.** [s.d.]. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/tipos_leiloes_n_logado?_afLoop=39790852842267&_adf.ctrl-state=1bazg9kayf_35#!%40%40%3F_afLoop%3D39790852842267%26_adf.ctrl-state%3D1bazg9kayf_39>. Acesso em: 22 set. 2018a.

CCEE. **Energia de Reserva.** [s.d.]. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes?_adf.ctrl-state=9i89o7911_22&_afLoop=49521743464014#!%40%40%3F_afLoop%3D49521743464014%26_adf.ctrl-state%3D9i89o7911_26>.

CCEE. **Leilões**. [s.d.]. Disponível em:

<https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes?_adf.ctrl-state=oycn3d1sm_21&_afLoop=195238738489874#!%40%40%3F_afLoop%3D195238738489874%26_adf.ctrl-state%3Doycn3d1sm_25>. Acesso em: 30 set. 2018c.

EPE. **Garantia Física**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/garantia-fisica>>. Acesso em: 30 set. 2018.

GAZETA DO POVO. **Empresas de energias renováveis vão contratar 340 mil pessoas no Brasil**. 2016. Disponível em: <<http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/empresas-de-energias-renovaveis-va-contratar-340-mil-pessoas-no-brasil.html>>. Acesso em: 2 set. 2018.

GLOVER, J. Duncan; OVERBYE, Thomas J.; SARMA, Mulukutla S. **POWER SYSTEM ANALYSIS**. 6. ed. [s.l: s.n.].

GOOGLE. **Google Earth Pro**, 2018.

GREENER. **Estudo Estratégico Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída - 1o Semestre 2018**. 2018. Disponível em: <<http://www.greener.com.br/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-1o-semester2018/>>.

IPRI. **As 15 maiores economias do mundo**. 2017. Disponível em:

<<http://www.funag.gov.br/ipri/index.php/o-ipri/47-estatisticas/94-as-15-maiores-economias-do-mundo-em-pib-e-pib-ppp>>. Acesso em: 2 set. 2018.

MME. **PORTARIA Nº 342**. 2013. Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1169552/Portaria+131+de+25-04-2013+Publicado+no+DOU+de+26-04-2013+01/7a626803-460f-45d7-a4c2-6d29d49118d1;jsessionid=76FF051CAD4A99295720781AF8F4CA2A.srv155>>. Acesso em: 30 set. 2018.

MME. **Brasil lança programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar**.

2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030>. Acesso em: 2 set. 2018.

MME. **Portaria nº 444**. 2016. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt2016444mme.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2018.

ONS. **Mapas**. [s.d.]. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>>. Acesso em: 22 set. 2018.

ONS. **Requisitos técnicos mínimos para a conexão às instalações de transmissão**. Brasil.

ONS. **Submódulo 5.6**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>.

ONS. **Histórico da operação - Demanda Máxima**. 2017. Disponível em:

<http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/demanda_maxima.aspx>. Acesso em: 2 set. 2018.

ONS. **Histórico da operação - Capacidade Instalada de Geração**. 2018a. Disponível em:

<http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/capacidade_instalada.aspx>. Acesso em: 2 set. 2018.

ONS. **Histórico da operação - Geração de Energia**. 2018b. Disponível em:

<http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx>. Acesso em: 2 set. 2018.

ONS. **Carga e Geração**. 2018c. Disponível em: <<http://ons.org.br/pt/paginas/energia-agora/carga-e-geracao>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

ONS. **Diagrama Unifilar MG**, 2018. d. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/MPO/Diagrama Operacional/1. Diagramas de Operação do ONS/1.5. Áreas Regionais/accef219_949B9326985E51448325716C006EB7CD/5FC492B70EBE9B81832571790057DD40/DU-CT.SE.5MG.01_Rev.60.pdf#search=DU-CT.SE.](http://www.ons.org.br/MPO/Diagrama%20Operacional/1.%20Diagramas%20de%20Operacao%20do%20ONS/1.5.%20Areas%20Regionais/accef219_949B9326985E51448325716C006EB7CD/5FC492B70EBE9B81832571790057DD40/DU-CT.SE.5MG.01_Rev.60.pdf#search=DU-CT.SE.)>

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro da Energia Solar**. 2017. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf%5Cnhttp://sonda.ccest.inpe.br/publicacoes/atlas_solar.html>.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>

PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 3 set. 2018.

POWER World Simulator: GSO Version. Version 19. [S.l.]: Power World Corporation, 2018. Disponível em: <<https://www.powerworld.com/>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

SOLARGIS. **Global Solar Atlas**. 2018. Disponível em: <<http://globalsolaratlas.info/?c=-17.284103,-44.748001,11&s=-17.3494,-44.9508>>. Acesso em: 6 out. 2018.

ŠÚRI, Marcel et al. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. **Solar Energy**, [s. l.], v. 81, n. 10, p. 1295–1305, 2007. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X07000229>>. Acesso em: 4 set. 2018.

VILLALVA, Marcelo Gradella. Células e Módulos Fotovoltaicos. In: **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015. a. p. 224.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015. b.

WEG. **SE coletora UFV Pirapora**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://cdre.ons.org.br/MPODIAG/Diagrama Operacional/2. Diagramas dos Agentes – Rede de Operação/2.4. Região Sudeste/2.4.3. Usina/029ae231_D8AE160F5A258E538325811400648F41/08BD763EE6533F548325811400654AED/DU-OI](https://cdre.ons.org.br/MPODIAG/Diagrama%20Operacional/2.%20Diagramas%20dos%20Agentes%20-%20Rede%20de%20Operacao/2.4.%20Regiao%20Sudeste/2.4.3.%20Usina/029ae231_D8AE160F5A258E538325811400648F41/08BD763EE6533F548325811400654AED/DU-OI)>. Acesso em: 7 out. 2018.

APÊNDICE B – PARÂMETROS DE QUADRIPOLO DAS LINHAS EQUIVALENTES DE 138kV DO MODELO PROPOSTO.

LT Equivalente	LT		Parâmetros do Quadripolo da LT							
	De	Para	A (PU)	<A (°)	B (Ω)	<B (°)	C (S)	<C (°)	D (PU)	<D (°)
382-4074 ²	382	4074	0,9937	0,11	22,2157	73,21	5,89E-04	90,05	0,9937	0,11
4082-1481*	1481-1486	1486-4082	0,9849	0,34	71,2664	69,03	4,52E-04	90,14	0,9849	0,34
1482-1485 ¹	1482-1484	1484-1485	0,9987	0,04	23,0650	61,18	1,28E-04	90,02	0,9987	0,04
1489-1481	1489-1488	1488-1481	0,9912	0,20	54,5574	68,91	3,45E-04	90,08	0,9912	0,20
1492-1493*	1492-1487	1487-1493	0,9873	0,29	65,5526	68,90	4,15E-04	90,11	0,9873	0,29
1493-1489*	1493-4034	4034-1489	0,9990	0,03	18,8156	65,64	1,14E-04	90,01	0,9990	0,03
1539-1551*	1539-1550	1550-1551	0,9921	0,26	58,6657	60,19	3,08E-04	90,10	0,9921	0,26
1558-1569	1558-4086	4086-1569	0,9998	0,00	7,1576	72,82	5,10E-05	90,00	0,9998	0,00
1558-1569	1558-4087	4087-1569	0,9998	0,00	7,1038	73,46	5,09E-05	90,00	0,9998	0,00
1569-399	1569-4393	4393-399	0,9990	0,02	17,8854	67,26	1,15E-04	90,01	0,9990	0,02
1482-1571	1571-1480	1480-1482	0,9965	0,08	77,3448	68,96	5,34E-05	90,00	0,9965	0,08
342-1492*	342-1491	1491-1492	0,9907	0,21	55,8812	68,80	3,55E-04	90,08	0,9907	0,21
342-1493*	342-1492	1492-1493	0,9565	1,01	120,1070	69,10	7,62E-04	90,34	0,9565	1,01
342-1489	342-1493	1493-1489	0,9428	1,35	137,9733	68,80	8,70E-04	90,45	0,9426	1,40
342-1481	342-4383	4383-1481	0,9886	0,25	62,4150	69,26	3,88E-04	90,11	0,9886	0,25
342-1542	342-9042	9042-1542	0,9999	0,00	3,1633	66,21	7,35E-05	90,00	0,9999	0,00
382-1551	382-1539	1539-1551	0,9599	1,58	135,1199	58,11	6,92E-04	90,52	0,9599	1,45
382-4069	382-4074	4074-4069	0,9584	0,92	72,4499	70,47	8,98E-04	90,20	0,9796	0,39
382-1539*	382-4372	4372-1539	0,9873	0,50	77,9124	55,93	3,91E-04	90,19	0,9873	0,50
399-1542	399-4382	4382-1542	0,9835	0,56	80,0807	59,92	4,73E-04	90,23	0,9835	0,56
4041-4066	4041-4038	4038-4066	0,9781	0,49	85,8056	68,99	5,41E-04	90,17	0,9781	0,49
4038-4066*	4066-4037	4037-4038	0,9905	0,21	56,6552	68,87	3,57E-04	90,08	0,9905	0,21
4066-1551	4066-4067	4067-1551	0,9987	0,03	20,9646	68,87	1,33E-04	90,01	0,9987	0,03
4074-4069*	4074-4073	4073-4069	0,9924	0,17	50,7621	69,09	3,16E-04	90,06	0,9924	0,17
4081-1481	4081-4082	4082-1481	0,9603	0,66	111,4147	72,35	7,60E-04	90,28	0,9603	0,66

¹ LT equivalente não representada na simulação.

² LT equivalente de duas LTs em paralelo.

* Processo de simplificação de outra LT equivalente.

**APÊNDICE C - PARÂMETROS ELÉTRICOS DAS LINHAS EQUIVALENTES DE
138kV DO MODELO PROPOSTO.**

LT Equivalente	LT		Características da LT								
	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	Y (S)	Z (Ω)	<Z (°)	R (PU)	X (PU)	Y (PU)	Y (Mvar)
382-4074 ²	382	4074	6,4172	21,2688	5,91E-04	22,2157	73,21	0,0337	0,1117	0,1125	11,25
4082-1481*	1481-1486	1486-4082	25,5021	66,5473	4,55E-04	71,2664	69,03	0,1339	0,3494	0,0866	8,66
1482-1485 ¹	1482-1484	1484-1485	11,1181	20,2085	1,25E-04	23,0650	61,18	0,0584	0,1061	0,0239	2,39
1489-1481	1489-1488	1488-1481	19,6306	50,9033	3,46E-04	54,5574	68,91	0,1031	0,2673	0,0659	6,59
1492-1493*	1492-1487	1487-1493	23,5956	61,1587	4,17E-04	65,5526	68,90	0,1239	0,3211	0,0793	7,93
1493-1489*	1493-4034	4034-1489	7,7606	17,1406	1,17E-04	18,8156	65,64	0,0408	0,0900	0,0224	2,24
1539-1551*	1539-1550	1550-1551	29,1671	50,9014	3,09E-04	58,6657	60,19	0,1532	0,2673	0,0589	5,89
1558-1569	1558-4086	4086-1569	2,1137	6,8384	5,31E-05	7,1576	72,82	0,0111	0,0359	0,0101	1,01
1558-1569	1558-4087	4087-1569	2,0223	6,8099	5,24E-05	7,1038	73,46	0,0106	0,0358	0,0100	1,00
1569-399	1569-4393	4393-399	6,9135	16,4952	1,17E-04	17,8854	67,26	0,0363	0,0866	0,0222	2,22
1482-1571	1571-1480	1480-1482	27,7620	72,1906	9,80E-05	77,3448	68,96	0,1458	0,3791	0,0187	1,87
342-1492*	342-1491	1491-1492	20,2059	52,1002	3,59E-04	55,8812	68,80	0,1061	0,2736	0,0683	6,83
342-1493*	342-1492	1492-1493	42,8432	112,2058	7,78E-04	120,1070	69,10	0,2250	0,5892	0,1482	14,82
342-1489	342-1493	1493-1489	49,8913	128,6370	8,92E-04	137,9733	68,80	0,2620	0,6755	0,1699	16,99
342-1481	342-4383	4383-1481	22,0991	58,3717	3,90E-04	62,4150	69,26	0,1160	0,3065	0,0742	7,42
342-1542	342-9042	9042-1542	1,2759	2,8946	7,35E-05	3,1633	66,21	0,0067	0,0152	0,0140	1,40
382-1551	382-1539	1539-1551	71,3754	114,7298	7,15E-04	135,1199	58,11	0,3748	0,6024	0,1361	13,61
382-4069	382-4074	4074-4069	24,2171	68,2826	1,23E-03	72,4499	70,47	0,1272	0,3586	0,2340	23,40
382-1539*	382-4372	4372-1539	43,6517	64,5358	3,94E-04	77,9124	55,93	0,2292	0,3389	0,0750	7,50
399-1542	399-4382	4382-1542	40,1315	69,2993	4,77E-04	80,0807	59,92	0,2107	0,3639	0,0909	9,09
4041-4066	4041-4038	4038-4066	30,7610	80,1022	5,47E-04	85,8056	68,99	0,1615	0,4206	0,1042	10,42
4038-4066*	4066-4037	4037-4038	20,4228	52,8462	3,59E-04	56,6552	68,87	0,1072	0,2775	0,0684	6,84
4066-1551	4066-4067	4067-1551	7,5575	19,5550	1,34E-04	20,9646	68,87	0,0397	0,1027	0,0256	2,56
4074-4069*	4074-4073	4073-4069	18,1137	47,4203	3,20E-04	50,7621	69,09	0,0951	0,2490	0,0608	6,08
4081-1481	4081-4082	4082-1481	33,7876	106,1679	7,41E-04	111,4147	72,35	0,1774	0,5575	0,1412	14,12

¹ LT equivalente não representada na simulação.

² LT equivalente de duas LTs em paralelo.

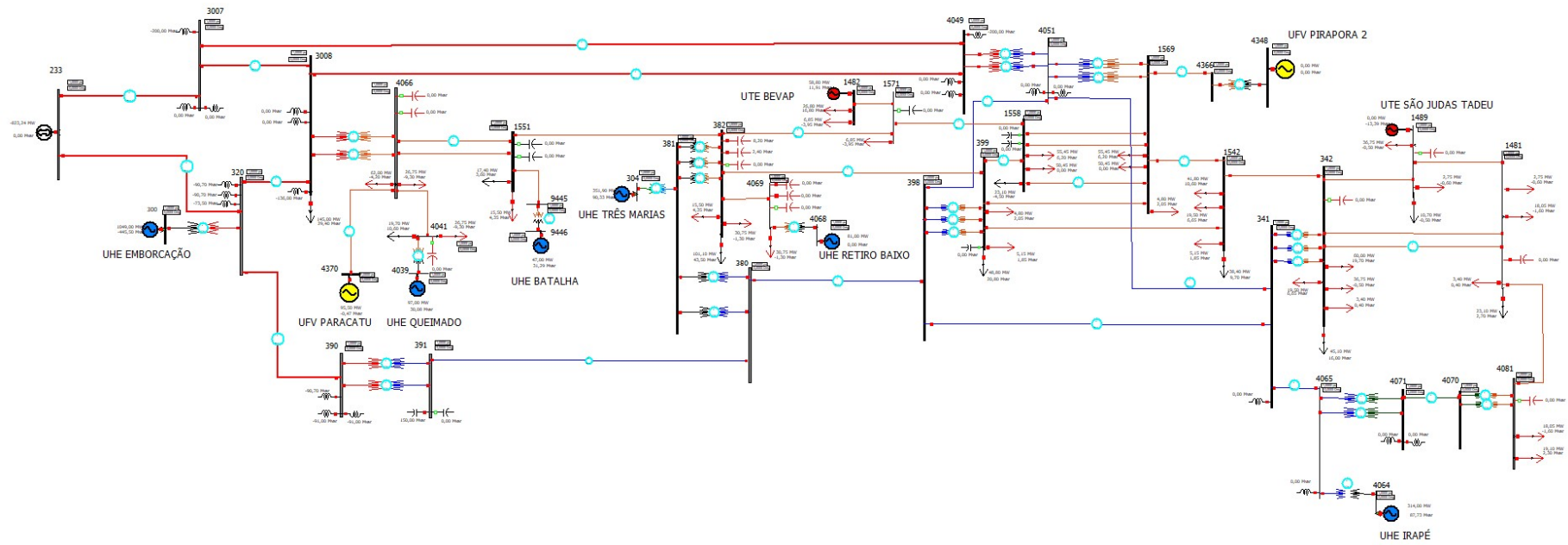
* Processo de simplificação de outra LT equivalente.

APÊNDICE D - DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS E PARTICIPAÇÃO DAS MESMAS ENTRE AS BARRAS DO SISTEMA.

A	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	9042	39	13,3
	TOTAL	39	13,3
Participação	1542	19,5	6,65
	342	19,5	6,65
B	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	4383	6,8	0,8
	TOTAL	6,8	0,8
Participação	1481	3,4	0,4
	342	3,4	0,4
C	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	4382	10,3	3,7
	TOTAL	10,3	3,7
Participação	399	5,15	1,85
	1542	5,15	1,85
D	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	4393	9,6	4,1
	TOTAL	9,6	4,1
Participação	399	4,8	2,05
	1569	4,8	2,05
E	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	1491	11,7	3,6
	1492	14,1	-2,6
	1487	14,6	-1,9
	1493	13,9	-4,5
	4034	19,2	0,8
	1491*	0	3,6
TOTAL	73,5	-1	
Participação	342	36,75	-0,5
	1489	36,75	-0,5
F	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	1550	15,5	6,9
	1539	14,3	2
Participação	4372	0	0
	4371	1,2	-0,2
	TOTAL	31	8,7
Participação	1551	15,5	4,35
	382	15,5	4,35
G	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	1486	18,5	-5,9
	4082	17,6	2,7
Participação	TOTAL	36,1	-3,2
	1481	18,05	-1,6
Participação	4081	18,05	-1,6
	H	Barra	PI (MW)
4038		36,3	-16,3
4037		17,2	-2,3
Participação	TOTAL	53,5	-18,6
	4041	26,75	-9,3
Participação	4066	26,75	-9,3
	I	Barra	PI (MW)
4364		19,1	2,3
TOTAL		19,1	2,3
Participação	4081	19,1	2,3
	J	Barra	PI (MW)
9019		60	19,7
TOTAL		60	19,7
Participação	342	60	19,7
	K	Barra	PI (MW)
1488		5,5	-1,2
TOTAL		5,5	-1,2
Participação	1489	2,75	-0,6
	1481	2,75	-0,6
L	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	1480	13,7	-7,9
	TOTAL	13,7	-7,9
Participação	1482	6,85	-3,95
	1571	6,85	-3,95
M	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	4086	110,9	12,4
	TOTAL	110,9	12,4
Participação	1558	55,45	6,2
	1569	55,45	6,2
N	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	4087	100,9	0
	TOTAL	100,9	0
	1558	50,45	0
	1569	50,45	0
O	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	4074	6,5	0,9
	4073	24,3	-7,5
	4392	27,7	4
	TOTAL	61,5	-2,6
Participação	382	30,75	-1,3
	4069	30,75	-1,3
P	Barra	PI (MW)	QI (Mvar)
	1485	9,6	3,8
	1484	16,2	12,7
Participação	1483	1	0,3
	TOTAL	26,8	16,8
Participação	1482	26,8	16,8
	Q	Barra	PI (MW)
1588		62	-4,2
TOTAL		62	-4,2
Participação	4066	62	-4,2
	R	Barra	PI (MW)
4088		41,8	10,6
TOTAL		41,8	10,6
Participação	1542	41,8	10,6

* Banco de capacitores declarado no ANEXO D.

APÊNDICE E – SISTEMA MODELADO VIA SOFTWARE POWER WORLD®



APÊNDICE F – CONTINGÊNCIAS 4, 5 E 7 PARA O 1º CENÁRIO PROPOSTO.

Contingência 4 – Abertura de LT 1569-1558 de 138kV						
Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
233	1	1	1	1	1	1
300	1,01737	1,01737	1,01958	1,01978	1,0202	1,02072
304	1	1	1	1	0,99999	1
320	1	1	1	1	1	1
341	1,02565	1,02565	1,01762	1,01793	1,01759	1,01683
342	1,02904	1,02904	1,02037	1,02055	1,02003	1,01907
380	1,02315	1,02308	1,01753	1,01789	1,01778	1,01734
381	1,02075	1,02067	1,01581	1,0161	1,01598	1,01559
382	1,02602	1,02583	1,01913	1,01932	1,01899	1,01832
390	1,03198	1,03195	1,03019	1,0304	1,03042	1,03029
391	0,9927	0,99266	0,99012	0,99026	0,99016	0,98988
398	1,031	1,03093	1,01997	1,02043	1,02005	1,01909
399	1,04729	1,04711	1,03287	1,03281	1,03176	1,03013
1481	1,01526	1,01525	1,00999	1,01016	1,00969	1,00882
1482	1	1	1	1	0,99999	1
1489	1	1	0,99953	0,99972	0,9992	0,99823
1542	1,0265	1,0265	1,01687	1,01709	1,01655	1,01552
1551	0,99746	0,99747	0,99472	0,99441	0,99385	0,99321
1558	1,02929	1,02682	1,00524	1,00664	1,00667	1,00564
1569	1,03236	1,03256	1,00805	1,00943	1,00933	1,00809
1571	1,02728	1,0253	1,00765	1,00885	1,00889	1,00804
3007	1,0123	1,01231	1,01028	1,01018	1,00986	1,00944
3008	1,01397	1,01399	1,01132	1,01131	1,01103	1,01059
4039	1	1	1	1	1	1
4041	1,02852	1,02853	1,02811	1,02808	1,02801	1,02793
4049	0,9975	0,99753	0,98878	0,98939	0,98922	0,98849
4051	1,03482	1,03486	1,02324	1,02388	1,02359	1,02265
4064	0,95786	0,95786	0,96348	0,96327	0,9635	0,96406
4065	1	1	1	1	0,99999	1
4066	0,98806	0,98808	0,98548	0,98533	0,98492	0,9844
4068	1	1	1	1	0,99999	1
4069	1,01892	1,01888	1,01775	1,01779	1,01772	1,01762
4070	1,00634	1,00634	1,00564	1,00567	1,0056	1,00549
4071	1,00453	1,00453	1,00433	1,00434	1,00431	1,00429
4081	1,03214	1,03214	1,03124	1,03127	1,03118	1,03104
4348	0	0	0,9903	0,99321	0,99432	0,99384
4366	0	0	0,99031	0,99322	0,99433	0,99385
4370	0,9976	0,99762	0,99505	0,99489	0,99449	0,99397
9445	1,0406	1,04061	1,03936	1,03922	1,03897	1,03868
9446	1	1	1	1	1	1

Contingência 5 – Abertura de TR 4049-4051 de 500kV/345kV						
Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
233	1	1	1	1	1	1
300	1,01737	1,0169	1,01907	1,01929	1,01975	1,02031
304	1	1	1	1	1	1
320	1	1	1	1	1	1
341	1,02565	1,0223	1,01342	1,01379	1,01344	1,01262
342	1,02904	1,02569	1,01598	1,01623	1,0157	1,01469
380	1,02315	1,02089	1,01489	1,01531	1,0152	1,01473
381	1,02075	1,01883	1,01357	1,01391	1,0138	1,01337
382	1,02602	1,02378	1,01653	1,01678	1,01643	1,01571
390	1,03198	1,03118	1,02928	1,02953	1,02955	1,02939
391	0,9927	0,99164	0,9889	0,98907	0,98894	0,98861
398	1,031	1,02647	1,01457	1,01511	1,01471	1,01367
399	1,04729	1,0427	1,02738	1,02739	1,0263	1,02457
1481	1,01526	1,01328	1,006	1,00623	1,00575	1,00483
1482	1	1	1	1	1	1,00001
1489	1	1	0,99513	0,99538	0,99485	0,99382
1542	1,0265	1,02298	1,01229	1,01258	1,01204	1,01095
1551	0,99746	0,99825	0,99555	0,99518	0,99455	0,99383
1558	1,02929	1,02434	1,0006	1,00214	1,00214	1,00099
1569	1,03236	1,02727	1,00201	1,00356	1,00352	1,00229
1571	1,02728	1,02312	1,00373	1,00504	1,00505	1,0041
3007	1,0123	1,01323	1,01138	1,01128	1,01096	1,01054
3008	1,01397	1,01525	1,01281	1,01279	1,01249	1,01205
4039	1	1	1	1	1	1
4041	1,02852	1,02871	1,02831	1,02828	1,02821	1,02812
4049	0,9975	1,00196	0,99406	0,9947	0,99456	0,99385
4051	1,03482	1,02916	1,01647	1,0172	1,01688	1,01584
4064	0,95786	0,9602	0,96647	0,96621	0,96647	0,96707
4065	1	1	1	1	1	1,00001
4066	0,98806	0,98919	0,98675	0,98655	0,98611	0,98555
4068	1	1	1	1	1	1
4069	1,01892	1,01854	1,01732	1,01736	1,0173	1,01718
4070	1,00634	1,00608	1,00512	1,00515	1,00509	1,00498
4071	1,00453	1,00446	1,00418	1,00419	1,00417	1,00414
4081	1,03214	1,0318	1,03056	1,0306	1,03052	1,03037
4348	0	0	0,98414	0,98723	0,9884	0,98794
4366	0	0	0,98415	0,98724	0,98841	0,98795
4370	0,9976	0,99872	0,9963	0,99611	0,99567	0,99512
9445	1,0406	1,04096	1,03974	1,03957	1,03928	1,03896
9446	1	1	1	1	1	1

Contingência 7 – Abertura de LT 4049-3007 de 500kV						
Barra	Base	0%	25%	50%	75%	100%
233	1	1	1	1	1	1
300	1,01737	1,02554	1,02586	1,02623	1,0267	1,02729
304	1	1	1	1	0,99999	1
320	1	1	1	1	1	1
341	1,02565	1,00457	1,00422	1,00412	1,00384	1,00341
342	1,02904	1,00738	1,00681	1,00654	1,00608	1,00546
380	1,02315	1,00897	1,00907	1,00928	1,00929	1,00914
381	1,02075	1,00862	1,00868	1,00883	1,00881	1,00867
382	1,02602	1,01142	1,01123	1,01119	1,01097	1,01059
390	1,03198	1,02684	1,02715	1,02741	1,02751	1,02747
391	0,9927	0,98602	0,98618	0,9863	0,98623	0,986
398	1,031	1,00322	1,00284	1,00279	1,00249	1,00198
399	1,04729	1,01907	1,01781	1,01702	1,01601	1,01482
1481	1,01526	0,99816	0,99765	0,9974	0,99698	0,99643
1482	1	1	1	1	0,99998	1
1489	1	0,98647	0,9859	0,98562	0,98516	0,98454
1542	1,0265	1,00383	1,0032	1,00292	1,00244	1,0018
1551	0,99746	0,98787	0,98723	0,98655	0,98576	0,98488
1558	1,02929	0,99893	0,99797	0,99806	0,99811	0,99814
1569	1,03236	1,00115	1	1	0,99999	1
1571	1,02728	1,00166	1,00099	1,00115	1,00123	1,00126
3007	1,0123	1,00351	1,00337	1,00317	1,00285	1,00241
3008	1,01397	1,00137	1,00115	1,0009	1,00056	1,00015
4039	1	1	1	1	1	1
4041	1,02852	1,02674	1,02667	1,02659	1,0265	1,0264
4049	0,9975	0,95856	0,95854	0,95871	0,95854	0,95808
4051	1,03482	1,00042	1,00016	1,00024	1,00002	0,99955
4064	0,95786	0,97275	0,97301	0,97309	0,97328	0,97361
4065	1	1	1	1	0,99999	1
4066	0,98806	0,97703	0,9766	0,97613	0,97559	0,97497
4068	1	1	1	1	0,99998	1
4069	1,01892	1,01646	1,01642	1,01642	1,01637	1,01632
4070	1,00634	1,00409	1,00403	1,004	1,00393	1,00388
4071	1,00453	1,00388	1,00386	1,00385	1,00383	1,00382
4081	1,03214	1,02922	1,02914	1,02909	1,02901	1,02893
4348	0	0	0,99846	0,99863	0,99961	1,00144
4366	0	0	0,99846	0,99863	0,99961	1,00145
4370	0,9976	0,98667	0,98625	0,98578	0,98524	0,98463
9445	1,0406	1,03626	1,03597	1,03566	1,0353	1,03491
9446	1	1	1	1	1	1

APÊNDICE G - CONTINGÊNCIAS 4, 5 E 7 PARA O 2º CENÁRIO PROPOSTO.

Contingência 4 – Abertura de LT 1569-1558 de 138kV				
Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
233	1	1	1	1
300	1,01737	1,01851	1,01961	1,01526
304	1	1	1	1
320	1	1	1	1
341	1,02565	1,02596	1,01666	1,03428
342	1,02904	1,02878	1,01948	1,03838
380	1,02315	1,02381	1,01671	1,02908
381	1,02075	1,02122	1,01512	1,0259
382	1,02602	1,02583	1,01841	1,03281
390	1,03198	1,0325	1,02977	1,034
391	0,9927	0,99285	0,98972	0,99544
398	1,031	1,03156	1,01865	1,04252
399	1,04729	1,04549	1,03193	1,06142
1481	1,01526	1,01511	1,00918	1,02243
1482	1	1	1	1
1489	1	1	0,99864	1,00525
1542	1,0265	1,02632	1,01588	1,03683
1551	0,99746	0,99586	0,99477	0,99995
1558	1,02929	1,03047	1,00245	1,0497
1569	1,03236	1,036	1,00516	1,05829
1571	1,02728	1,02842	1,00529	1,04408
3007	1,0123	1,01155	1,01017	1,01431
3008	1,01397	1,01353	1,01106	1,01673
4039	1	1	1	1
4041	1,02852	1,02836	1,02809	1,02893
4049	0,9975	0,99881	0,98738	1,00709
4051	1,03482	1,03606	1,02165	1,0473
4064	0,95786	0,95766	0,96416	0,95175
4065	1	1	1	1
4066	0,98806	0,98708	0,98538	0,99054
4068	1	1	1	1
4069	1,01892	1,01888	1,01763	1,02006
4070	1,00634	1,00633	1,00553	1,00728
4071	1,00453	1,00452	1,0043	1,0048
4081	1,03214	1,03212	1,0311	1,03336
4348	0	1,04149	0,98555	1,07643
4366	0	1,04149	0,98556	1,07642
4370	0,9976	0,99663	0,99495	1
9445	1,0406	1,03988	1,03939	1,04173
9446	1	1	1	1

Contingência 5 – Abertura de TR 4049-4051 de 500kV/345kV				
Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
233	1	1	1	1
300	1,01737	1,01817	1,01909	1,01498
304	1	1	1	1
320	1	1	1	1
341	1,02565	1,02272	1,01232	1,03132
342	1,02904	1,02556	1,01494	1,03528
380	1,02315	1,02177	1,01394	1,02727
381	1,02075	1,01949	1,01277	1,02439
382	1,02602	1,02387	1,0157	1,0312
390	1,03198	1,0318	1,0288	1,03335
391	0,9927	0,99185	0,98843	0,99459
398	1,031	1,02724	1,01305	1,03879
399	1,04729	1,04116	1,02625	1,05783
1481	1,01526	1,01321	1,00505	1,0196
1482	1	1	1	1
1489	1	1	0,99409	1,00211
1542	1,0265	1,02294	1,01114	1,03359
1551	0,99746	0,99635	0,99566	1,0002
1558	1,02929	1,02827	0,9975	1,04915
1569	1,03236	1,0312	0,99883	1,05357
1571	1,02728	1,02648	1,0011	1,04347
3007	1,0123	1,01248	1,01127	1,01498
3008	1,01397	1,01474	1,01255	1,01758
4039	1	1	1	1
4041	1,02852	1,02852	1,0283	1,02899
4049	0,9975	1,0033	0,99262	1,01049
4051	1,03482	1,03051	1,01467	1,04247
4064	0,95786	0,95992	0,96725	0,95386
4065	1	1	1	1
4066	0,98806	0,98802	0,98668	0,99096
4068	1	1	1	1
4069	1,01892	1,01855	1,01718	1,01979
4070	1,00634	1,00608	1,00499	1,00691
4071	1,00453	1,00445	1,00414	1,0047
4081	1,03214	1,03179	1,0304	1,03288
4348	0	1,03669	0,97908	1,07180
4366	0	1,03669	0,97909	1,07179
4370	0,9976	0,99756	0,99624	1
9445	1,0406	1,0401	1,03979	1,04185
9446	1	1	1	1

Contingência 7 – Abertura de LT 4049-3007 de 500kV				
Barra	Base	Potência Ativa	Potência Reativa Indutiva	Potência Reativa Capacitiva
233	1	1	1	1
300	1,01737	1,02697	1,0276	1,02411
304	1	1	0,99266	1
320	1	1	1	1
341	1,02565	1,00586	0,9912	1,01554
342	1,02904	1,00815	0,99281	1,01937
380	1,02315	1,0108	0,99704	1,01638
381	1,02075	1,01011	0,99722	1,01506
382	1,02602	1,01248	0,99847	1,01988
390	1,03198	1,02804	1,02277	1,02936
391	0,9927	0,98677	0,98052	0,98944
398	1,031	1,0052	0,98529	1,01763
399	1,04729	1,0187	0,99795	1,03639
1481	1,01526	0,99887	0,98487	1,00908
1482	1	1	1	1
1489	1	0,98725	0,97176	0,99853
1542	1,0265	1,00473	0,98801	1,01689
1551	0,99746	0,98523	0,98573	0,98944
1558	1,02929	1,00424	0,96721	1,02624
1569	1,03236	1,00645	0,96776	1,03004
1571	1,02728	1,00626	0,97522	1,02409
3007	1,0123	1,00283	1,00123	1,0054
3008	1,01397	1,00042	0,99989	1,00258
4039	1	1	1	1
4041	1,02852	1,02645	1,02649	1,02693
4049	0,9975	0,96103	0,94265	0,97177
4051	1,03482	1,00307	0,98143	1,0162
4064	0,95786	0,97186	0,98231	0,96492
4065	1	1	1	1
4066	0,98806	0,97524	0,97552	0,97823
4068	1	1	1	1
4069	1,01892	1,01663	1,01428	1,01788
4070	1,00634	1,00419	1,00235	1,00552
4071	1,00453	1,00391	1,00338	1,0043
4081	1,03214	1,02935	1,02695	1,03108
4348	0	1,01197	0,94734	1,04866
4366	0	1,01197	0,94735	1,04865
4370	0,9976	0,98489	0,98518	0,98786
9445	1,0406	1,03506	1,03529	1,03697
9446	1	1	1	1

ANEXO A – DATASHEET DO MÓDULO KuMax CS3U-345P CANADIAN SOLAR.



KuMax
CS3U-335 | 340 | 345P
(1000 V / 1500 V)



5BB

MORE POWER



Low power loss in cell connection



Low NMOT: $42 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$
 Low temperature coefficient (Pmax): $-0.38 \text{ } \%/ \text{ }^\circ\text{C}$



Better shading tolerance



High PTC rating of up to: 92.52 %

MORE RELIABLE



Lower hot spot temperature



Minimizes micro-cracks



Heavy snow load up to 5400 Pa,
 wind load up to 3600 Pa*



linear power output warranty



product warranty on materials
 and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES

ISO 9001:2015 / Quality management system
 ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / CEC AU
 UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
 UL 1703: CSA / IEC61701 ED2: VDE / IEC62716: VDE / IEC60068-2-68: SGS
 Take-e-way

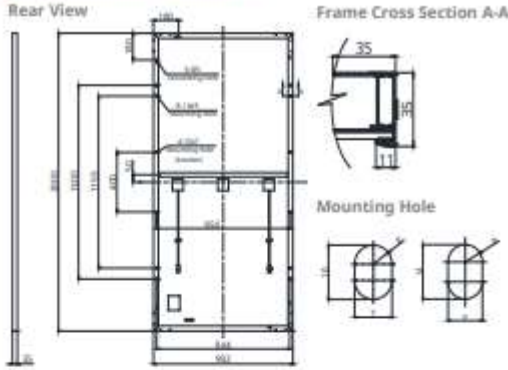


*We can provide this product with special BOM specifically certified with salt mist, ammonia and sand blowing tests. Please talk to our local technical sales representatives to get your customized solutions.

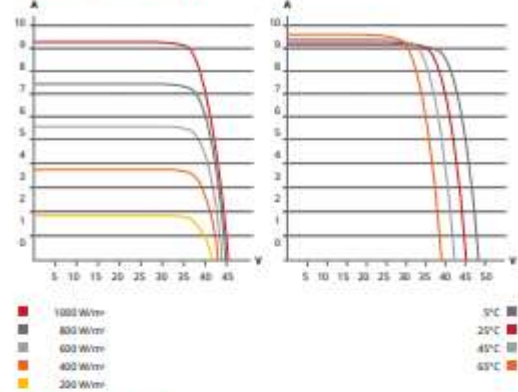
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 30 GW deployed around the world since 2001.

* For detailed information, please refer to Installation Manual.

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3U-340P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3U	335P	340P	345P
Nominal Max. Power (Pmax)	335 W	340 W	345 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.2 V	38.4 V	38.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.77 A	8.86 A	8.94 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.7 V	45.9 V	46.1 V
Short Circuit Current (Isc)	9.28 A	9.36 A	9.44 A
Module Efficiency	16.89%	17.14%	17.39%
Operating Temperature	-40°C – +85°C		
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	30 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

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

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3U	335P	340P	345P
Nominal Max. Power (Pmax)	249 W	252 W	256 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.3 V	35.5 V	35.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.04 A	7.11 A	7.18 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.7 V	42.9 V	43.1 V
Short Circuit Current (Isc)	7.49 A	7.55 A	7.62 A

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

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2000 X 992 X 35 mm (78.7 X 39.1 X 1.38 in)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 400 mm (15.7 in) (+) / 280 mm (11.0 in) (-); landscape: 1250 mm (49.2 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	660 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.38 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ANEXO B – PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO DA UFV PIRAPORA 2.



Manual de Procedimentos da Operação

Módulo 10 - Submódulo 10.20

Ajustamento Operativo
Operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2

Código	Revisão	Item	Vigência
AO-CF.SE.P12	04	5.1.	28/09/2018

MOTIVO DA REVISÃO

- Correção do valor no item 5.1.1. do somatório da capacidade de geração das UFVs Pirapora II, III, IV, V, VI, VII, IX, X.

LISTA DE DISTRIBUIÇÃO

CNOS	COSR-SE	EDF Energies Nouvelles	COTESA ENGENHARIA	SPTe
------	---------	------------------------	----------------------	------

Ajustamento Operativo	Código	Revisão	Item	Vigência
Operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2	AO-CF.SE.PI2	04	5.1.	28/09/2018

ÍNDICE

1.	OBJETIVO	3
2.	CONSIDERAÇÕES GERAIS	3
3.	RELACIONAMENTO OPERACIONAL	3
4.	DIAGRAMA UNIFILAR.....	4
5.	PROCEDIMENTOS OPERATIVOS.....	4
5.1.	CONFIGURAÇÕES DE OPERAÇÃO	4
5.2.	CONTROLE DE TENSÃO E CARREGAMENTO.....	5
5.3.	CONTROLE DE GERAÇÃO.....	6
5.4.	RECOMPOSIÇÃO.....	6
5.5.	MANOBRAS DE DESENERGIZAÇÃO E ENERGIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	6
5.6.	SISTEMAS DE SUPERVISÃO.....	7
6.	INTERVENÇÕES.....	7
7.	NOTAS IMPORTANTES	7
8.	ANEXOS.....	7
8.1.	ANEXO 1	7
8.2.	ANEXO 2	9

Ajustamento Operativo	Código	Revisão	Item	Vigência
Operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2	AO-CF.SE.PI2	04	5.1.	28/09/2018

1. OBJETIVO

Estabelecer procedimentos a serem seguidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS e os Agentes para a operação de linhas de transmissão ou equipamentos do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2, não pertencente, mas com reflexos significativos para a Rede de Operação, de acordo com o Módulo 10 dos Procedimentos de Rede.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

- 2.1. Estão contemplados neste Ajustamento Operativo os procedimentos para a operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2, não pertencente à rede de operação, nos aspectos de interesse da rede de operação. Os procedimentos aqui estabelecidos devem ser implantados pelos Agentes em seus documentos operativos ou por meio deste documento.
- 2.2. A influência do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 para a Rede de Operação é verificada quanto ao seu montante de geração de potência ativa e reativa, que se dá na subestação 138 kV da SE Pirapora 2 (Agente SPTE), com reflexos no carregamento e controle de tensão na malha regional Norte de Minas Gerais.
- 2.3. Este Ajustamento Operativo tem prazo de validade indeterminado, podendo ser revisado nos casos em que as condições da Rede de Operação e da instalação do agente sejam alteradas. O processo de aprovação e implantação de revisões deste AO pode ser realizado por meio eletrônico.
- 2.4. O montante de geração do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 tem programação e despacho de geração centralizado. O programa de geração é estabelecido de forma coordenada e centralizada pelo ONS, em base mensais, semanais e diárias, conforme solicitação do ONS.

3. RELACIONAMENTO OPERACIONAL

- 3.1. Está indicado no Anexo I, o Agente responsável para exercer as atividades de programação, pré-operação, normatização, tempo real e pós-operação junto ao ONS.
- 3.2. As tratativas e informações para comunicação em tempo real devem ser efetuadas em regime de turno ininterrupto.
- 3.3. As tratativas e informações operacionais do ONS para a operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 são efetuadas em tempo real, respectivamente, entre a sala de controle do COSR-SE e Agente Operador COTESA.
- 3.4. As tratativas e informações entre as áreas de pré-operação, normatização, pós-operação e infraestrutura serão efetuadas durante o horário comercial.
- 3.5. As tratativas para a programação de intervenções serão efetuadas entre a área de programação do Agente e as áreas de programação do ONS durante o horário comercial.

Ajustamento Operativo	Código	Revisão	Item	Vigência
Operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2	AO-CF.SE.PI2	04	5.1.	28/09/2018

- 3.6. O COSR-SE e o Agente devem informar e manter atualizados os nomes e demais dados do pessoal envolvido no relacionamento operacional, conforme definido na RO-RO.BR.02 - Designação de Interlocutores para o Relacionamento Operacional entre os Centros de Operação do ONS e Agentes.

4. DIAGRAMA UNIFILAR

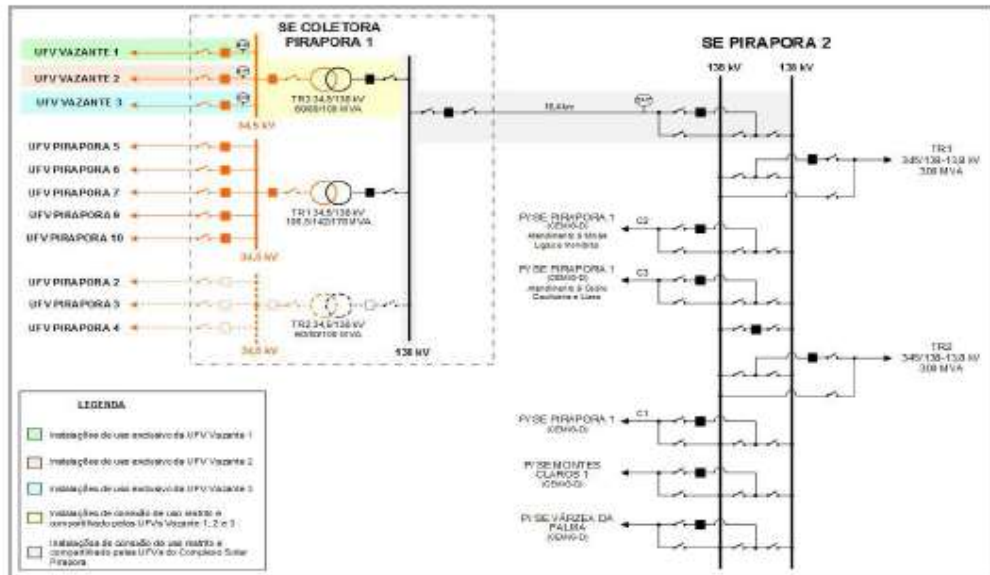
O diagrama unifilar do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 deve ser mantido atualizado, e deve ser disponibilizado para a equipe de normatização do COSR-SE.

5. PROCEDIMENTOS OPERATIVOS

5.1. CONFIGURAÇÕES DE OPERAÇÃO

- 5.1.1. O Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 tem capacidade de 321 MW de potência ativa, totalizando 329 inversores. O conjunto corresponde as unidades:
- UFVs Pirapora II, III, IV, V, VI, VII, IX, X onde cada unidade tem capacidade de 30 MW de potência ativa, totalizando assim um montante de 240 MW de geração. Ao todo são 248 inversores, 31 inversores para cada usina.
 - UFVs Vazante I, II e III onde cada unidade tem capacidade de 27 MW de potência ativa, totalizando assim um montante de 81 MW de geração. Ao todo são 81 inversores, 27 inversores para cada usina.
- 5.1.2. Em condições normais de operação, o Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2, está conectado ao barramento de 34,5 kV da SE Coletora Pirapora 1 e, por meio dos transformadores T1, T2 e T3 34,5/138 kV e da LT 138 kV COL Pirapora 1 / Pirapora 2, ao barramento de 138 kV da SE Pirapora 2.
- 5.1.3. O Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 está conectado à Rede de Operação pelo lado de baixa tensão da transformação 345 / 138 kV da SE Pirapora 2.

Ajustamento Operativo	Código	Revisão	Item	Vigência
Operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2	AO-CF.SE.PI2	04	5.1.	28/09/2018



5.2. CONTROLE DE TENSÃO E CARREGAMENTO

- 5.2.1. O Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 é um recurso adicional para controle de tensão, uma vez que deverá disponibilizar a faixa de potência reativa de -92,7 Mvar até +92,75 Mvar no ponto de conexão quando estiver com a geração de potência ativa igual ou superior a 20% da sua capacidade. Cada central deverá participar disponibilizando o montante de:
- 43,7 Mvar, nas UFVs Pirapora V, VI, VII, IX e X;
 - 22,8 Mvar nas UFVs Vazante I, II e III;
 - 26,2 Mvar nas UFV Pirapora II, III e IV.
- 5.2.2. O Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 poderá ampliar a faixa de capacidade de geração/absorção de potência reativa conforme os limites definidos nas curvas de capacidade no ANEXO 2.
- 5.2.3. Nas condições em que o conjunto não estiver produzindo potência ativa, o conjunto deverá ter recursos de controle para disponibilizar ao SIN sua capacidade de geração/absorção de potência reativa, observando o requisito mínimo de propiciar injeção/absorção nula no ponto de conexão.
- 5.2.4. Nas ações de controle de tensão e de carregamento na Rede de Operação, o COSR-SE poderá coordenar a utilização dos recursos do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2.
- 5.2.5. O controle de tensão por meio da geração/absorção de potência reativa no Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 é coordenado pelo COSR-SE e, preferencialmente, deve operar em modo automático com referência de tensão no barramento de 138 kV da SE Pirapora 2.

Ajustamento Operativo	Código	Revisão	Item	Vigência
Operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2	AO-CF.SE.PI2	04	5.1.	28/09/2018

5.3. CONTROLE DE GERAÇÃO

- 5.3.1. O Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 deve maximizar os valores de geração de acordo com a disponibilidade solar e com a sua capacidade instalada, respeitando possíveis restrições de geração constantes nas Instruções de Operação do ONS.
- 5.3.2. O Agente Operador comanda e executa o despacho de geração do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 conforme a disponibilidade solar e as alterações solicitadas pelo COSR-SE, respeitando possíveis restrições de geração constantes nas Instruções de Operação do ONS.
- 5.3.3. O Agente Operador deve atender com a maior brevidade possível, a solicitação do COSR-SE para redespacho de geração do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2, em caso de necessidade de atendimento a situações de restrições da rede de operação.
- 5.3.4. O Agente Operador deve registrar e informar imediatamente os seguintes dados ao COSR-SE:
- Restrições e ocorrências no Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 e no ponto de conexão que afetaram a disponibilidade de geração com o respectivo valor da restrição, contendo o horário de início e término e a descrição do evento;
 - Demais informações sobre a operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2, solicitada pelo COSR-SE.

5.4. RECOMPOSIÇÃO

- 5.4.1. No caso de desligamento total do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2, caracterizado pela falta de tensão em todos os terminais de suas linhas de transmissão, o Agente Operador deverá preparar os equipamentos para recomposição.
- 5.4.2. O agente Operador deve restabelecer os equipamentos do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 conforme instruções próprias e executar os procedimentos a seguir.
- Fornecer ao COSR-SE, logo após a ocorrência, o horário da ocorrência e as condições dos equipamentos (unidades geradoras, ponto de conexão e demais equipamentos).
 - Fornecer ao COSR-SE, logo após a normalização dos equipamentos, o horário da normalização e as condições dos equipamentos (unidades geradoras, ponto de conexão e demais equipamentos).
- 5.4.3. A elevação de geração do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2, após desligamentos automáticos de equipamentos que impediram ou restringiram sua geração, somente pode ser realizada após autorização do COSR-SE.

5.5. MANOBRAS DE DESENERGIZAÇÃO E ENERGIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Ajustamento Operativo	Código	Revisão	Item	Vigência
Operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2	AO-CF.SE.PI2	04	5.1.	28/09/2018

- 5.5.1. A desenergização de equipamentos que impeça ou restrinja a geração do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 deve ser comunicada em tempo real ao COSR-SE.
- 5.5.2. Os procedimentos de segurança a serem adotados quando da ocorrência de desligamentos imprevistos de equipamento que estejam sendo submetidos a intervenções, são de responsabilidade da proprietária ou responsável pela operação do equipamento.
- 5.5.3. A partida e sincronização do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 ou energização de linhas de transmissão associadas ao Conjunto devem ser realizados conforme instruções próprias do agente.

5.6. SISTEMAS DE SUPERVISÃO

- 5.6.1. Quando não estiver disponível a supervisão do ponto de conexão do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2, via telemedição para o ONS, a operação do Conjunto deve registrar e informar ao COSR-SE, até as 02:00h da manhã do dia seguinte a geração horária verificada do Conjunto, em MWh/h, nas 24 horas do dia anterior, e disponibilidade verificada.
- 5.6.2. A supervisão do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 e do seu ponto de conexão na SE Pirapora 2, é de responsabilidade do agente Operador.

6. INTERVENÇÕES

- 6.1. Somente as intervenções em unidades geradoras ou instalações de transmissão de uso exclusivo do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2, que resultem em indisponibilidade superior a 10% da capacidade instalada total do Conjunto, devem ser cadastradas no Sistema de Gestão de Intervenções – SGI.
- 6.2. Devem ser informadas na fase de programação, e contempladas no Programa de Geração, a geração disponível no Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2.
- 6.3. As tratativas para a programação de intervenções serão efetuadas entre a área de programação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 e a área de programação do ONS, com antecedência mínima de 2 dias úteis. Havendo necessidade de realizar intervenções em caráter de urgência com antecedência inferior a 2 dias úteis, as tratativas serão efetuadas entre a área de programação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2 e a pré-operação do COSR-SE, para urgências programadas, ou com o tempo real do COSR-SE para urgências não programadas

7. NOTAS IMPORTANTES

Não se aplica.

8. ANEXOS

8.1. ANEXO 1

Ajustamento Operativo	Código	Revisão	Item	Vigência
Operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2	AO-CF.SE.PI2	04	5.1.	28/09/2018

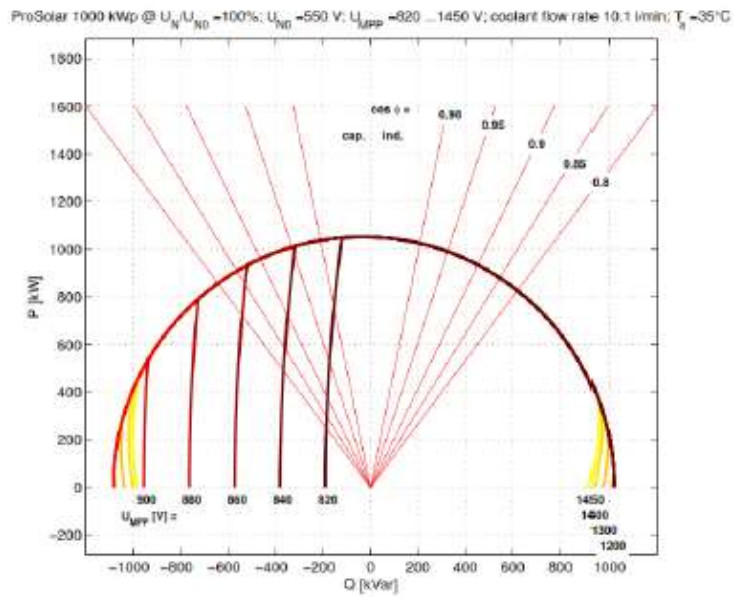
Este Anexo relaciona cada Usina que compõe este Conjunto, os seus respectivos Agentes Proprietários, Agente Operador e Centros de Operações.

Usina	Agente Proprietário	Agente Operador	Centro de Operação do Agente Operador / Instalação
UFV Pirapora II	Pirapora II Energias Renováveis S.A.	COTESA ENGENHARIA	COS COTESA
UFV Pirapora III	Pirapora III Energias Renováveis S.A.		
UFV Pirapora IV	Pirapora IV Energias Renováveis S.A.		
UFV Pirapora V	Pirapora V Energias Renováveis S.A.		
UFV Pirapora VI	Pirapora VI Energias Renováveis S.A.		
UFV Pirapora VII	Pirapora VII Energias Renováveis S.A.		
UFV Pirapora IX	Pirapora IX Energias Renováveis S.A.		
UFV Pirapora X	Pirapora X Energias Renováveis S.A.		
UFV Vazante I	Vazante I Energias Renováveis S.A.		
UFV Vazante II	Vazante II Energias Renováveis S.A.		
UFV Vazante III	Vazante III Energias Renováveis S.A.		

Ajustamento Operativo	Código	Revisão	Item	Vigência
Operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2	AO-CF.SE.PI2	04	5.1.	28/09/2018

8.2. ANEXO 2

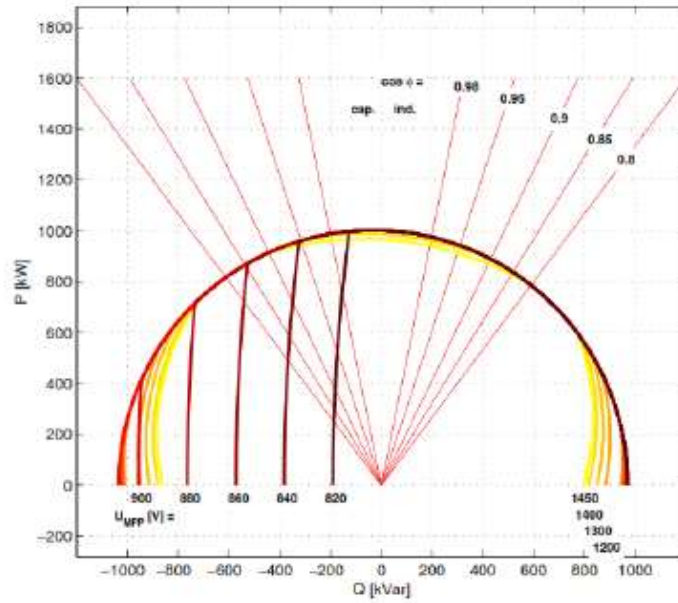
Curva de capacidade de um inversor GE LV5 – Tensão de 100% a 35°C



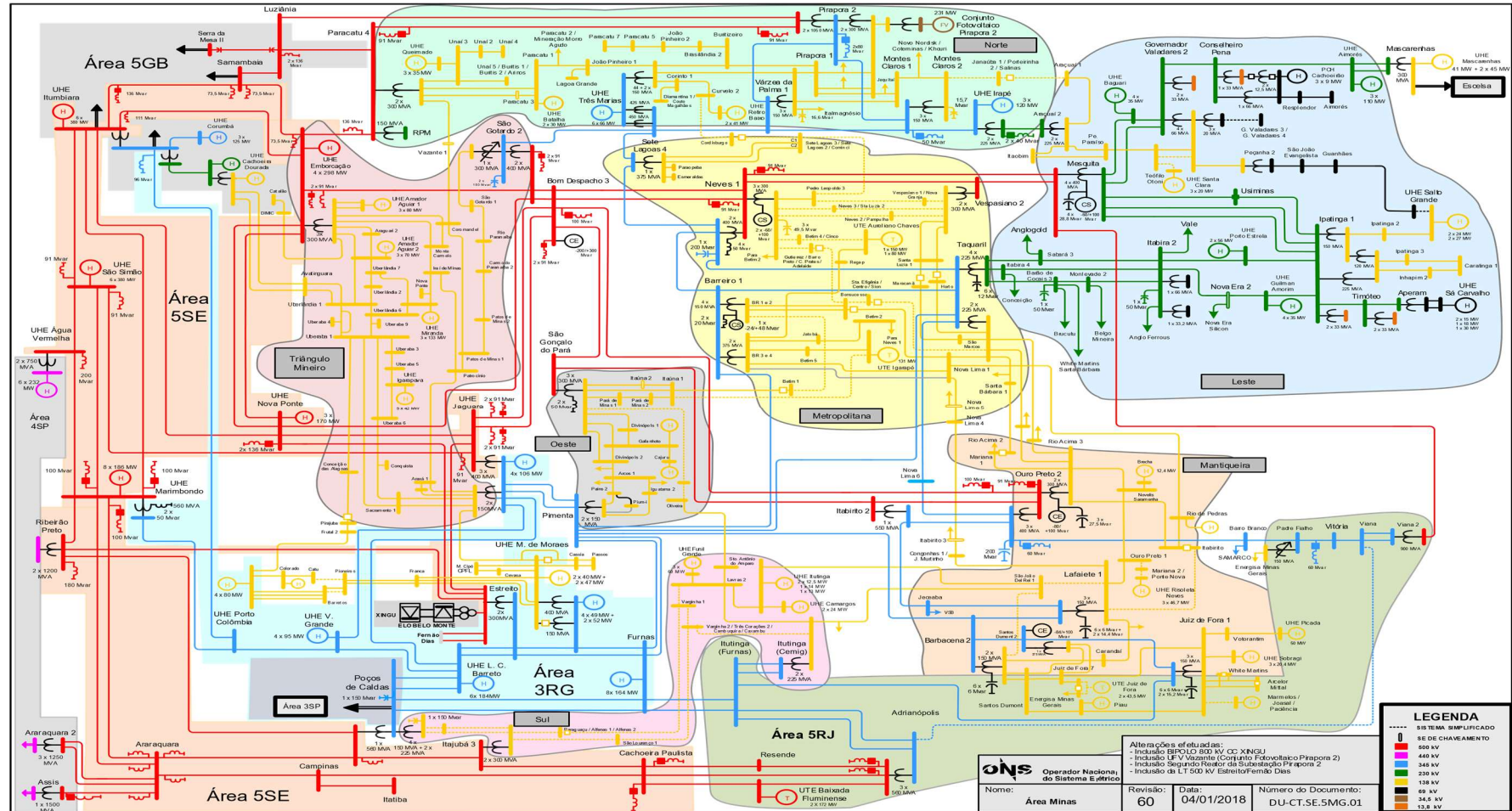
Curva de capacidade de um inversor GE LV5 – Tensão de 100% a 50°C

Ajustamento Operativo	Código	Revisão	Item	Vigência
Operação do Conjunto Fotovoltaico Pirapora 2	AO-CF.SE.PI2	04	5.1.	28/09/2018

ProSolar 1000 kWp @ $U_N/U_{ND} = 100\%$; $U_{ND} = 550$ V; $U_{MPP} = 820 \dots 1450$ V; coolant flow rate 10.1 l/min; $T_a = 50^\circ\text{C}$



ANEXO C – DIAGRAMA UNIFILAR DO SISTEMA BÁSICO DE TRANSMISSÃO DE MINAS GERAIS.



ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico		Alterações efetuadas: - Inclusão BPO 800 kV CC XINGU - Inclusão UF Vazante (Conta Fotovoltaico Pirapora 2) - Inclusão Separador Reator da Subestação Ffepom 2	
Nome:	Revisão:	Data:	Número do Documento:
Área Minas	60	04/01/2018	DU-CT.SE.5MG.01

---	500 kV UNIFICADO
■	SE DE CHEIATEMTO
■	500 kV
■	440 kV
■	345 kV
■	230 kV
■	138 kV
■	69 kV
■	34,5 kV
■	12,5 kV

ANEXO D – DADOS DE BARRA DO PAR 2019-2023-VERÃO 2020/2021 MÉDIA.

Barra	Nome	Tensão Nominal (kV)	Tipo	Tensão (PU)	Ângulo (°)	Pg (MW)	Qg (Mvar)	Qn (Mvar)	Qm (Mvar)	Pl (MW)	Ql (Mvar)	Sh (Mvar)	Área
233	CSAMAMB-DF500	500	PQ	1,064	-11	0	0	0	0	0	0	0	1
300	VEMBORCUHE004	4	PV	1,001	-3,1	1049	-90	-440	392	0	0	0	2
304	VT.MAR-UHE006	6	PV	0,979	-16	351,9	0,195	-90	90	0	0	0	2
320	CEMBORC-MG500	500	PQ	1,066	-9,1	0	0	0	0	0	0	0	2
341	EMCLARO-MG345	345	PQ	1,009	-21	0	0	0	0	0	0	0	2
342	GMCLAR2-MG138	138	PQ	1,017	-23	0	0	0	0	45,1	16	0	3
380	ETMARIA-MG345	345	PQ	1,011	-23	0	0	0	0	0	0	0	2
381	YTMARIA-MG289	289	PQ	1,006	-22	0	0	0	0	0	0	0	2
382	GTMARIA-MG138	138	PQ	1,003	-22	0	0	0	0	101,1	43,5	0	3
390	CSGOTAR-MG500	500	PQ	1,072	-25	0	0	0	0	0	0	0	2
391	ESGOTA2-MG345	345	PQ	1,014	-25	0	0	0	0	0	0	0	2
391	ESGOTA2-MG345	345	PQ	1,014	-25	0	0	0	0	0	0	0	2
393	USGOTA2-MG000	-	PQ	1,019	-25	0	0	0	0	0	0	0	2
395	NSGOTA1-MG013	13	PQ	1,015	-25	0	0	0	0	0	0	0	2
397	NSGOTA2-MG013	13	PQ	1,019	-25	0	0	0	0	0	0	0	2
398	EVPALMA-MG345	345	PQ	1,009	-20	0	0	0	0	0	0	0	2
399	GVPALM-PCH138	138	PV	1,036	-20	1,2	0	0	0	48,8	20,8	0	3
1475	ESLAGO4-MG345	345	PQ	1,001	-40	0	0	0	0	0	0	0	2
1480	GBRASI-PCH138	138	PQ	1,004	-10	0	0	0	0	13,7	-7,9	0	3
1481	GJANAU1-MG138	138	PQ	1,013	-29	0	0	0	0	23,1	2,7	0	3
1482	GJOAOP2-MG138	138	PQ	1,002	-9	0	0	0	0	0	0	0	3
1483	GBEVAP-BIO138	138	PV	1,006	-8,5	58,8	-8,01	-18	18	1	0,3	0	3
1484	GPARAC5-MG138	138	PQ	0,999	-9	0	0	0	0	16,2	12,7	0	3
1485	GPARAC7BIO138	138	PV	1,002	-8,4	19,4	0	0	0	9,6	3,8	0	3
1486	GPORTE2-MG138	138	PQ	1,016	-30	0	0	0	0	18,5	-5,9	0	3
1487	GJANUA3-MG138	138	PQ	1,013	-32	0	0	0	0	14,6	-1,9	0	3
1488	GMANGA3-MG138	138	PQ	1,02	-31	0	0	0	0	5,5	-1,2	0	3
1489	GMANGA5BIO138	138	PV	1,021	-32	27,6	0	0	0	10,7	-0,5	0	3
1491	GMIRABE-MG138	138	PQ	1,011	-28	0	0	0	0	11,7	3,6	3,6	3
1492	GLONTRA-MG138	138	PQ	1,011	-31	0	0	0	0	14,1	-2,6	0	3
1493	GITACAR-MG138	138	PQ	1,016	-33	0	0	0	0	13,9	-4,5	0	3
1505	USGOTA1-MG000	-	PQ	1,015	-25	0	0	0	0	0	0	0	2
1539	GJPINHE-MG138	138	PQ	1,018	-17	0	0	0	0	14,3	2	0	3
1542	GMCLAR1PCH138	138	PV	1,009	-24	0,2	0	0	0	38,4	9,7	0	3
1550	GPARAC2TAP138	138	PQ	1,014	-14	0	0	0	0	15,5	6,9	0	3
1551	GPARAC1-MG138	138	PQ	1,025	-12	0	0	0	0	17,4	3,6	0	3
1558	GPIRAPO-MG138	138	PQ	1,02	-19	0	0	0	0	23,1	-4,5	0	3
1569	GPIRAP2-MG138	138	PQ	1,021	-18	0	0	0	0	0	0	0	3
1571	GBURITI-MG138	138	PQ	1,017	-18	0	0	0	0	0	0	0	3
1588	GVAZANT-MG138	138	PQ	0,979	-17	0	0	0	0	62	-4,2	0	3
3007	CLUZIAN-GO500	500	PQ	1,06	-13	0	0	0	0	0	0	0	73
3008	CPARAC4-MG500	500	PQ	1,071	-13	0	0	0	0	145	29,4	0	72

Barra	Nome	Tensão Nominal (kV)	Tipo	Tensão (PU)	Ângulo (°)	Pg (MW)	Qg (Mvar)	Qn (Mvar)	Qm (Mvar)	Pl (MW)	Ql (Mvar)	Sh (Mvar)	Área
4012	NV.PALM-MG013	13	PQ	1,036	-20	0	0	0	0	0	0	0	2
4013	UV.PALM-MG000	-	PQ	1,036	-20	0	0	0	0	0	0	0	2
4014	UVPALT4-MG000	-	PQ	1,037	-20	0	0	0	0	0	0	0	2
4015	UVPALT5-MG000	-	PQ	1,037	-20	0	0	0	0	0	0	0	2
4034	GMOCAMB-MG138	138	PQ	1,017	-33	0	0	0	0	19,2	0,8	0	3
4035	GSJUDA-UTE000	-	PV	1,021	-32	0	-0,729	-2,4	2,4	0	0	0	3
4037	GUNAI2--MG138	138	PQ	1,023	-6,5	0	0	0	0	17,2	-2,3	0	3
4038	GUNAI3-BIO138	138	PV	1,025	-2,9	25,7	0	0	0	36,3	-16,3	0	3
4039	VQUEIMAUHE003	3	PV	0,979	8,86	97	-12,9	-46,5	52,2	0	0	0	3
4041	GQUEIMA-MG138	138	PQ	1,017	4,22	0	0	0	0	19,7	10,6	0	3
4049	CPIRAP2-MG500	500	PQ	1,068	-17	0	0	0	0	0	0	0	72
4051	EPIRAP2-MG345	345	PQ	1,013	-18	0	0	0	0	0	0	0	2
4064	VIRAPE-UHE003	3	PV	0,982	-12	314	-9,74	-189,1	43,1	0	0	0	2
4065	EIRAPE--MG345	345	PQ	1,013	-17	0	0	0	0	0	0	0	2
4066	GPARAC4-MG138	138	PQ	1,029	-12	0	0	0	0	0	0	0	3
4067	GPARAC3TAP138	138	PQ	1,026	-12	0	0	0	0	0	0	0	2
4068	VR.BAIXUHE002	2	PV	0,988	-5	81	-23,2	-82	60	0	0	0	3
4069	GR.BAIX-MG138	138	PQ	1,008	-8,5	0	0	0	0	0	0	0	3
4070	FARACUA-MG230	220	PQ	1,026	-24	0	0	0	0	0	0	0	72
4071	FIRAPE--MG230	220	PQ	1,013	-19	0	0	0	0	0	0	0	3
4073	GCURVE2PCH138	138	PV	1,01	-16	1,9	0	0	0	24,3	-7,5	0	3
4074	GCOR11-PCH138	138	PV	1,013	-20	18,6	0	0	0	6,5	0,9	0	3
4081	GARACUA-MG138	138	PQ	1,04	-26	0	0	0	0	0	0	0	3
4082	GSALINA-MG138	138	PQ	1,016	-29	0	0	0	0	17,6	2,7	0	3
4086	GPIRAC1TAP138	138	PQ	1,018	-19	0	0	0	0	110,9	12,4	0	3
4087	GPIRAC2TAP138	138	PQ	1,019	-19	0	0	0	0	100,9	0	0	3
4088	GBOCAIU-MG138	138	PQ	0,975	-26	0	0	0	0	41,8	10,6	0	3
4347	GTMAR2-MG138	138	PQ	1,011	-22	0	0	0	0	0	0	0	3
4348	GVAZAN-UFV138	138	PV	1,027	-15	64,4	0	0	0	0	0	0	72
4364	GARACU1-MG138	138	PQ	1,014	-26	0	0	0	0	19,1	2,3	0	3
4366	GPIRAP2UFV138	138	PV	1,027	-15	190,9	0	0	0	0	0	0	3
4370	GPARAC4UFV138	138	PV	1,031	-11	95,5	0	0	0	0	0	0	3
4371	GWDPCT-BIO138	138	PV	1,04	-17	28,4	0	0	0	1,2	-0,2	0	3
4372	GJPINH3-MG138	138	PQ	1,03	-18	0	0	0	0	0	0	0	3
4382	GMCLAR4-MG138	138	PQ	1,028	-21	0	0	0	0	10,3	3,7	0	3
4383	GJANAU4-MG138	138	PQ	1,013	-29	0	0	0	0	6,8	0,8	0	3
4390	GMNOVA2-MG138	138	PQ	1,023	-26	0	0	0	0	0	0	0	3
4392	GDIAMA1-MG138	138	PQ	0,976	-24	0	0	0	0	27,7	4	0	3
4393	GVPALM2-MG138	138	PQ	1,034	-20	0	0	0	0	9,6	4,1	0	3
9019	GRIMA---MG138	138	PQ	1,017	-23	0	0	0	0	60	19,7	0	72
9041	TIRAPE-SIN000	-	PQ	0,986	-17	0	0	0	0	0	0	0	2
9042	GMCLAR-TAP138	138	PQ	1,012	-24	0	0	0	0	39	13,3	0	3
9445	GBATALH-MG138	138	PQ	1,034	-6,5	0	0	0	0	0	0	0	1
9446	VBATALHUHE002	2	PV	0,966	-2,1	47	9,78	-29	26	0	0	0	1

**ANEXO E – DADOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DO PAR 2019-2023-VERÃO
2020/2021 MÉDIA.**

Barra		Parâmetros			Capacidade	
De	Para	R (%)	X (%)	B (Mvar)	Cn (MVA)	Ce (MVA)
341	398	0,4	4,47	1,826	574	574
341	4065	0,41	4,2	75,9	1100	1100
342	1481	11,778	30,89	3,66	125	125
342	1491	6,3	16,26	3,987	124	124
342	4383	10,36	27,34	6,64	125	160
380	398	0,27	2,914	7,305	1123	1123
380	1475	0,71	6,119	9,947	866	1117
382	399	8,54	23,51	5,497	125	141
382	1571	11,74	31,07	5,88	125	143
382	4074	8,68	22,92	5,44	124	124
382	4074	5,0681	21,583	5,8142	180	180
382	4347	0,00071	0,00071	0,0001	0	0
391	380	0,48	5,18	87,74	1123	1123
398	4051	0,16	1,11	18,1	1076	1076
399	4382	3,98	6,85	1,7	73	73
1480	1482	1,497	3,883	0,953	71,7	71,7
1481	1486	3,321	8,638	2,133	71,7	71,7
1481	1488	7,425	19,21	4,729	125	125
1482	1483	0,785	1,344	0,306	71,7	71,7
1482	1484	0,698	1,812	0,445	71,7	71,7
1484	1485	5,142	8,801	2,001	94,4	119
1486	4082	10,146	26,39	6,519	125	125
1487	1492	5,32	13,7	3,4	125	160
1487	1493	7,148	18,5	4,543	95,6	95,6
1489	1488	2,92	7,56	1,856	95,6	95,6
1489	4035	1,2973	0,3654	0,8258	125	125
1491	1492	4,358	11,15	2,797	125	160
1539	1550	10,14	17,66	3,89	71,7	71,7
1539	4372	8,72	12,729	2,814	94	94
1542	1569	14,28	37,88	9,07	95,6	100
1542	4088	4,84	11,44	1,405	125	125
1550	1551	5,23	9,1	2	73	73
1558	399	5,15	9,68	2,28	94	94
1558	1569	0,61	1,59	0,38	143	143
1558	1571	1,848	4,7	0,957	125	138
1558	4086	0,725	1,843	0,472	125	145
1558	4087	0,48	1,22	0,31	125	145
1569	4393	3,4621	7,904	1,9695	150	150

Barra		Parâmetros			Capacidade	
De	Para	R (%)	X (%)	B (Mvar)	Cn (MVA)	Ce (MVA)
1571	1480	13,086	34,03	0,064	125	143
3007	3008	0,076	1,185	170,9	2598	2598
3007	4049	0,2215	3,5879	540,76	3343	3975
3008	320	0,125	1,996	290,9	2598	2598
3008	4049	0,231	3,356	296	2533	2533
4034	1489	2,361	6,107	1,499	95,6	95,6
4034	1493	1,716	2,895	0,681	94	120
4037	4038	3,67	9,5	2,33	125	160
4038	4041	5,59	14,49	3,56	125	160
4051	341	0,43	4,56	76	1123	1339
4066	1551	4,6	14,2	3,5	125	160
4066	1588	13,63	35,35	8,668	125	125
4066	4037	7,1	18,3	4,5	125	160
4066	4067	3,24	8,41	2,065	125	125
4067	1551	0,73	1,86	0,476	125	125
4070	4071	0,99	6,03	11,57	400	400
4073	4069	5,29	13,72	3,37	95,6	95,6
4074	4073	4,257	11,22	2,66	96	96
4074	4392	11,033	26,344	6,456	125	125
4081	4082	4,681	21,306	6,037	180	180
4081	4364	1,09	1,64	3,777	94	95,6
4081	4390	4,7248	21,745	5,9912	180	180
4086	1569	0,385	1,748	0,5	182	182
4087	1569	0,582	2,356	0,659	182	182
4366	1569	0,24	2,093	0,9386	436	436
4370	4066	0,24	2,09	0,939	450	450
4372	382	14,339	21,213	4,6696	94	94
4372	4371	2,5041	6,3689	1,6265	125	125
4382	1542	17,2	29,6	7,38	73	73
4383	1481	1,27	3,34	0,79	125	160
4393	399	0,1686	0,7582	0,2159	144	144
9042	342	0,335	0,76	0,7	125	140
9042	1542	0,335	0,76	0,7	125	140
9445	1551	7,53	19,54	4,79	0	0
3007	233	0,046	0,72	103,57	2598	2598
233	320	0,27363	3,8674	344,03	1299	2598
320	390	0,22	3,42	274,8	2442	2598
391	380	0,48	5,18	87,74	1123	1123

**ANEXO F – DADOS DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA DO PAR 2019-2023-
VERÃO 2020/2021 MÉDIA.**

Barra		Parâmetros			Tap Transformador				Capacidade	
De	Para	R (%)	X (%)	B (Mvar)	Tap (PU)	Tap mín (PU)	Tap máx (PU)	BCTRL	Cn (MVA)	Ce (MVA)
341	342	0	4,7	0	0,9863	0,825	1,038	342	150	164,32
341	342	0	5,1	0	0,9863	0,825	1,038	342	150	182,32
341	342	0	4,7	0	0,9863	0,825	1,038	342	150	190,32
342	9019	0	0,001	0	0	0	0	0	100	100
381	304	0	2,7	0	1,025	0	0	0	400	400
381	380	0	1,15	0	0,999	0	0	0	407	448
381	380	0	1,17	0	0,999	0	0	0	450	540
382	381	0	7,7	0	1,012	0	0	0	150	183
382	381	0	7,7	0	1,012	0	0	0	150	183
398	4013	0	5,05	0	0,9627	0,825	1,038	399	150	202,32
398	4014	0	4,45	0	0,9626	0,825	1,038	399	150	202,32
398	4015	0	4,35	0	0,9626	0,825	1,038	399	150	202,32
399	4013	0	0,05	0	1	0	0	0	150	202
399	4014	0	0,35	0	1	0	0	0	150	202
399	4015	0	0,35	0	1	0	0	0	150	202
4013	4012	0	9,85	0	1	0	0	0	50	50
4041	4039	0	8,108	0	1,025	0	0	0	112	112
4049	4051	0	1,14	0	1,05	0	0	0	1050	1365
4049	4051	0	1,14	0	1,05	0	0	0	1050	1365
4051	1569	0	4,7	0	1,001	0,9	1,1	1569	300	390,32
4051	1569	0	4,7	0	1,001	0,9	1,1	1569	300	390,32
4065	4064	0	2,78	0	1,025	0	0	0	360	360
4065	4071	0	5,3	0	1	0	0	0	225	293
4065	4071	0	4,97	0	1	0	0	0	225	293
4065	9041	0	8,34	0	1,025	0	0	0	0	0
4066	3008	0	4	0	0,9649	0,95	1,05	4066	300	390
4066	3008	0	4	0	0,9649	0,95	1,05	4066	300	390
4069	4068	0	7,545	0	1	0	0	0	90	90
4081	4070	0	5,3	0	0,9774	0,9	1,1	4081	225	270,32
4081	4070	0	5,3	0	0,9774	0,9	1,1	4081	225	270,32
4347	381	0	27,9	0	1,005	0	0	0	40	51
4366	4348	0	0,001	0	0	0	0	0	999	999
9445	9446	0	15,217	0	1,05	0	0	0	60	60
320	300	0	1,018	0	1,05	0	0	0	1200	1200
390	393	0	2,75	0	1,075	0	0	0	400	452
390	1505	0	2,4	0	1,075	0	0	0	400	496
391	393	0	-0,65	0	1	0	0	0	400	453
391	1505	0	-0,2	0	1	0	0	0	400	496
395	1505	0	7,43	0	1	0	0	0	133	133
397	393	0	7,33	0	1	0	0	0	100	100

**ANEXO G – DADOS DE BANCOS DE CAPACITORES E REATORES DE BARRA
DO PAR 2019-2023-VERÃO 2020/2021 MÉDIA.**

Barra		CTRL	Vmin (PU)	Vmax (PU)	BCTRL	Qi (Mvar)	U	Uop	Sh (Mvar)
De	Para								
320	390	D	0,95	1,1	320	-90,7	1	1	-90,7
390	-	F	0,95	1,1	390	-91	2	1	-91
391	-	D	0,95	1,05	391	150	2	1	150
341	4065	D	0,95	1,05	341	-50	1	1	-50
3007	-	D	0,95	1,1	3007	-272	2	2	-136
3008	4049	D	1	1,1	3008	-91	1	1	-91
3008	4049	D	1	1,1	4049	-100	1	1	-100
4051	-	D	0,95	1,05	4051	-160	2	2	-80
4071	-	D	0,95	1,05	4071	-40	2	1	-40
1588	-	D	0,8	1,2	1588	16,4	1	0	16,4
4037	-	D	0,95	1,05	4037	16,4	1	0	16,4
4074	-	D	0,95	1,05	4074	16,4	1	1	16,4
4073	-	D	0,95	1,05	4073	4,8	2	1	4,8
399	-	D	1	1,05	399	0	1	0	16,6
1558	-	D	0,95	1,05	1558	15,7	1	1	15,7
1558	-	D	0,95	1,05	1558	0	1	0	17,1
1493	-	D	0,95	1,05	1493	0	1	0	16,4
1486	-	D	0,95	1,05	1486	0	1	0	16,4
342	-	D	0,95	1,05	342	0	1	0	15,7
391	-	D	0,95	1,05	391	150	2	1	150
1551	-	D	0,95	1,05	1551	0	1	0	10,8
1551	-	D	0,95	1,05	1551	0	1	0	17,1
1588	-	D	0,8	1,2	1588	0	1	0	16,4
1571	-	D	0,95	1,05	1571	0	1	0	17,1

**ANEXO H – DADOS DE REATORES SEM CONTROLE DE TENSÃO DO PAR 2019-
2023-VERÃO 2020/2021 MÉDIA.**

Barra		Sh (Mvar)	
De	Para	De	Para
233	320	-73,5	-73,5
3007	4049	-200	-200
3008	320	-136	0
320	390	-90,7	0

ANEXO I – DADOS DE GERAÇÃO DO PAR 2019-2023-VERÃO 2020/2021 MÉDIA.

Barra	Pmin (MW)	Pmax (MW)
300	0	1130
304	351	370
1483	0	58,8
4035	0	8
4039	97	97
4064	314	359
4068	76	81
4073	2,7	3
9446	40	49

ANEXO J – DATASHEET DO INVERSOR GE LV5.

GE ENERGY CONNECTIONS | POWER CONVERSION SOLUTIONS FOR SOLAR INDUSTRY

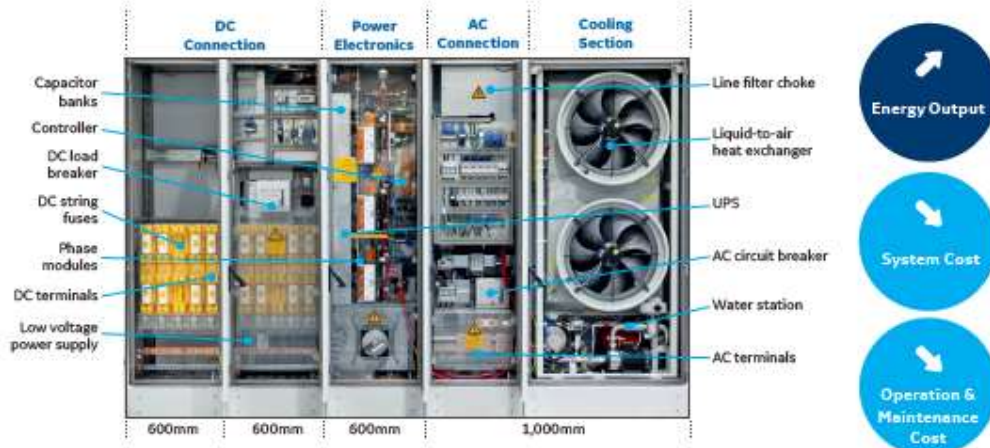


LV5 Series Solar Inverter

1500Vdc technology as enabler for lower system cost

LEADING INVERTER TECHNOLOGY FOR COST-EFFECTIVE UTILITY SCALE SOLAR PV POWER

GE was the first company to introduce 1.5kV technology into the market and is holding 25+ granted patents on Solar Inverters. Our LV5 builds on extensive manufacturing experience and a global installed base of over 34+GW in renewables including 2.3+GW in solar inverters.



UP TO 3% LOWER SYSTEM COST¹

- Allows connection of 50% more modules in series
- Enables larger PV arrays and reduces the amount of strings
- Reduces DC losses due to higher voltage level
- Lowers the amount of electrical components (inverters, transformers, switchgear, combiner boxes, etc.) UP

UP TO 15% LOWER INVERTER OPERATING EXPENSES²

- Reduced amount of inverter stations and MV transformers
- Increased system reliability
- Fewer components allow for lower Operation and Maintenance cost

HIGHER ENERGY OUTPUT

- Higher output due to reduced maintenance time
- Lower plant losses with 1,500 Volt

IMPROVES GRID STABILITY 24/7

- Advanced grid features and reactive power control day-and-night for grid voltage stabilization.
- Improves Power Quality by managing parameters to stabilize the grid such as frequency control, power factor management, power curtailment and power ramp rate control.

FEATURES

- 1,500 Vdc voltage level
- Three-level inverter based on IGBT technology
- Liquid cooling system, indoor/outdoor models
- Interfaces: Ethernet, Modbus TCP
- UL/IEC compliance

DIMENSIONS

LV 5-1507/1508/1510-SLR

(outdoor & indoor):

- Width: 1,800mm (2,800mm*)
- Height: 2,000mm (2,200mm*)
- Depth: 600mm
- Weight: <1,700kg

TYPICAL CONFIGURATIONS

- 1 MVA Inverter
- 2 x 1 MVA Skid solution
- 3 x 1 MVA Skid solution
- 4 x 1 MVA Skid solution

¹ Reference calculations for system comparison were made for 200 MW PV project on African continent.
² Up to 30% lower O&M cost of 1.5 kV 4 MW vs. typical 1 kV/2 MW system due to fewer components.

*Cooling cubicle and plinths added for Outdoor application

TECHNICAL SPECIFICATIONS

	LV5-1507-SLR (outdoor & indoor)	LV5-1508-SLR (outdoor & indoor)	LV5-1510-SLR (outdoor & indoor)	LV5-1540-SLR (outdoor)
Input side				
Max. allowable DC voltage U_{DCmax} [V]	1500	1500	1500	1500
Rated Input DC voltage $U_{dL,r}$ [V]*	610	670	835	835
DC MPP Range $U_{mpptmin} - U_{mpptmax}$ [V]*	610-1300	670-1300	835-1300	835-1275
I_{DCmax} [A]	1200	1200	1200	4800
MPP Tracker (Unit/s)	1	1	1	1
Output side				
Rated AC operating voltage $U_{AC,r}$ [V]	400	440	550	550
AC operating voltage range [%]	±10	±10	±10	±10
Max AC current I_{ACmax} [A]	1050	1050	1050	4200
AC rated power $P_{AC,r}$ @ $U_{AC,r}$, $U_{mpptmin}$, $U_{mpptmax}$ [kW]	725	800	1000	4000
Grid frequency f , +/- 5 % [Hz]	50/60	50/60	50/60	50/60
Power factor $\cos\phi$ @ $P_{AC,r}$	1	1	1	1
$\cos\phi$ range	0-1 ind. or cap.	0-1 ind. or cap.	0-1 ind. or cap.	0-1 ind. or cap.
Feed in phase/Connection phase	3/3	3/3	3/3	3/3
Self-consumption during night-time [W]	205	205	205	<950
Efficiency				
Max. Efficiency [%]**	98.2	98.3	98.4	98.5
EU efficiency [%]**	98.0	98.1	98.2	98.1
System data				
Width, Height, Depth (W/H/D) [mm]	1800 (2800****)(2000 (2200****))600	1800 (2800****)(2000 (2200****))600	1800 (2800****)(2000 (2200****))600	5846(2500/1272)
Weight [kg]	<1700	<1700	<1700	<8000
Aux. consumption in operation [W] (PACnom)****	<2900	<2900	<2900	<5500
Communication interfaces				
Standard	Ethernet, Modbus TCP	Ethernet, Modbus TCP	Ethernet, Modbus TCP	Ethernet IP, Modbus TCP
Equipment				
Earth-fault monitoring	optional	optional	optional	optional
Heating	yes	yes	yes	yes
E-Stop pushbutton	yes	yes	yes	yes
Circuit breaker AC	motorized operation	motorized operation	motorized operation	motorized operation
Switch-disconnector DC	motorized operation	motorized operation	motorized operation	motorized operation
Remote monitoring & control	optional	optional	optional	optional
Standards				
EMC	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4
Grid monitoring (BDEW - certified)	yes	yes	yes	-
CE - Conformity	yes	yes	yes	yes
Ambient operating conditions				
IP protection class	IP 54; IP65 (outdoor)*****	IP 54; IP65 (outdoor)*****	IP 54; IP65 (outdoor)*****	IP 64
Ambient temperature	-10°C to +50°C	-10°C to +50°C	-10°C to +50°C	-20°C to +50°C
Humidity [%]	5-100	5-100	5-100	5-100
Max. height above sea-level [m]*****	2000	2000	2000	2000

optional:

- additional DC cubicle (W=600mm) for 6-10 pairs of DC inputs

* At rated AC operating voltage

** Excluding auxiliary consumption

*** At 25°C

**** Nominal power up to 1000m

*** Cooling cubicle and plinths added for Outdoor application

**** IP65 excluding overpressure testing

*** Cooling cubicle and plinths added for Outdoor application

**** IP65 excluding overpressure testing

*** Cooling cubicle and plinths added for Outdoor application

**** IP65 excluding overpressure testing

CONTACT US

www.gepowerconversion.com
renewables.powerconversion@ge.com

OUR CENTER OF EXCELLENCE FOR SOLAR PV:

GE Energy Power Conversion GmbH
Culemeyerstrasse 1 D-12277 Berlin Germany

© 2013, General Electric Company and/or its affiliates. GE Proprietary Information. All Rights Reserved. No part of this document may be reproduced, transmitted, stored in a retrieval system nor translated into any human or computer language, in any form or by any means, electronic, mechanical, magnetic, optical, chemical, manual, or otherwise, without the prior written permission of the General Electric Company or its concerned affiliates.

GEA30738_b - LV5 Series