

# UTILIZAÇÃO DO CONTROLE VOLT/VAR COMO ALTERNATIVA PARA MITIGAR AS TRANSGRESSÕES DE NÍVEL DE TENSÃO ELÉTRICA EM UM ALIMENTADOR DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO COM ALTA PENETRAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Alexandre Klabunde, Vitor Teles Correia

Instituto Federal de Santa Catarina

Câmpus Jaraguá do Sul – Rau – Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica

e-mail: alexandre.k1992@aluno.ifsc.edu.br, vitor.correia@ifsc.edu.br

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC – 19/12/2022

**Resumo** – Este trabalho propõe a realização de um estudo para verificar a possibilidade de mitigar as transgressões de nível de tensão elétrica em um alimentador da rede de distribuição com alta penetração de geração distribuída fotovoltaica (GDFV) através da utilização de um sistema solar fotovoltaico (SFV) com o controle Volt/Var. Neste estudo, analisa-se as magnitudes das tensões dos barramentos que compõem o alimentador, a potência demandada da subestação e o fator de potência. Para tal, realizam-se as simulações no software OpenDss através da interface “py-dss-interface”, considerando os cenários sem a GDFV, com integração da GDFV e com a inserção do SFV com o controle Volt/Var em diferentes pontos da rede de distribuição. A partir das análises, verificou-se que a depender do ponto de ligação na rede de distribuição, o SFV com controle Volt/Var pode diminuir os níveis de tensão dos barramentos possibilitando a extinção das transgressões de tensão no cenário analisado. Verificou-se também, a alteração na potência demandada da subestação e o fator de potência do alimentador.

**Palavras-Chave** – Controle Volt/Var, geração distribuída, geração fotovoltaica, OpenDss.

## USING THE VOLT/VAR CONTROL AS AN ALTERNATIVE TO MITIGATE THE VOLTAGE LEVEL TRANSGRESSIONS IN A DISTRIBUTION NETWORK FEEDER WITH HIGH PENETRATION OF PHOTOVOLTAIC ENERGY

**Abstract** – This work proposes to carry out a study to verify the possibility of mitigating electrical voltage level transgressions in a distribution network feeder with high penetration of photovoltaic distributed generation (PVDG) through the use of a photovoltaic solar system (SPV) with the Volt/Var control. In this study, we analyze the magnitudes of the tensions of the bus that make up the feeder, the required power of the substation and the power factor. To this end, simulations are performed in the OpenDss software through the “py-dss-interface” interface, considering the scenarios without PVDG, with gdfv integration and with the insertion of the SPV with the Volt/Var control at different points of the distribution

network. From the analyses, it was verified that depending on the connection point in the distribution network, the SPV with Volt/Var control can decrease the voltage levels of the bus so enabling the extinction of voltage transgressions in the analyzed scenario. There was also a change in the required power of the substation and the power factor of the feeder.

**Keywords** – Volt/Var control, Distributed generation, photovoltaic generation, OpenDss.

## I. INTRODUÇÃO

O constante aumento no consumo de energia elétrica traz consigo a necessidade de se aumentar a oferta de energia. No Brasil, segundo Balanço Energético Nacional do ano de 2022 [1], o consumo de eletricidade em 2021 progrediu 4,2%, enquanto a oferta de energia elétrica teve o crescimento de 25,7 TWh (+3,9%) em relação a 2020. Quanto ao aumento da geração de energia, pode-se destacar o crescimento das fontes de energia renováveis como a solar com um avanço de 55,9% em relação ao ano anterior e a eólica que teve um crescimento de 26,7% [1].

Uma das vantagens das energias solar e eólica além de serem renováveis, é que elas podem ser geradas próxima a carga, o que é conhecido como geração distribuída (GD). Quando bem planejada, a GD pode trazer benefícios à rede de distribuição e transmissão, como a diminuição das perdas nas redes, postergação de investimentos pela redução da demanda de pico e melhoria da tensão de fornecimento às unidades consumidoras [2].

No Brasil, a resolução normativa 482/2012 da ANEEL [3] possibilitou aos consumidores gerarem a própria energia elétrica, abrindo caminho para a expansão GD no país. Esse fato, apesar dos benefícios para os consumidores e para o meio ambiente, impõe novos desafios às concessionárias de energia, principalmente em relação à qualidade de energia elétrica (QEE) [4].

A GD no Brasil é composta principalmente por sistemas fotovoltaicos [5], que possuem uma incerteza quanto a real disponibilidade de potência a ser injetada na rede, pois a capacidade de geração depende da radiação solar, sendo diretamente afetada por efeitos climáticos. Devido ao comportamento de fonte não-despachável da GDFV, ela pode

afetar negativamente os parâmetros de QEE e causar problemas para a rede elétrica [4].

Entre os principais problemas relacionados a QEE provocados pela GDFV pode-se destacar a inserção de harmônicas, surgimentos de pontos de sobretensão e agravamento do desequilíbrio de tensão e de corrente [6]. A sobretensão pode provocar a violação dos limites de tensão, principalmente nas redes de baixa tensão [4]. Cabe as concessionárias de energia elétrica fiscalizar se os sistemas fotovoltaicos (SFV) conectados à rede de distribuição atendem aos requisitos mínimos determinados por normas de regulação da QEE [7].

Diante deste cenário de expressivo aumento da GDFV, muitos estudos avaliam os impactos gerados na rede de distribuição e buscam medidas a serem adotadas para mitigar os problemas provenientes deste aumento da penetração da GDFV.

No estudo realizado por [8], verificou-se os impactos causados em um sistema de rede padronizado pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) de 13 barras, comparado os perfis de tensão, ajuste de posições dos equipamentos de controle de tensão e níveis de fator de potência para determinados índices de penetração de GD e diferentes condições operacionais do inversor. Aplicando o controle local de tensão e potência reativa (Volt/Var) nos inversores de frequência dos SFV conectados à rede, para a adequação do perfil de tensão no sistema de distribuição.

Em [9], é apresentado um controle Volt/Var distribuído em um sistema de 13 barras desequilibrado, dividido em três zonas de operação. A abordagem é comparada ao controle centralizado, mostrando que reduz as perdas operacionais, além de proporcionar uma solução computacional de otimização mais eficiente.

Para [10], com a utilização GD para auxiliar na regulação de tensão no sistema, foi possível manter a tensão na faixa dos limites operacionais. Os autores utilizam um algoritmo genético que otimiza o controle de potência reativa, afim de reduzir as variações de tensão nos barramentos do alimentador. O estudo foi validado com a implementação de SFV em um alimentador de distribuição localizado no nordeste dos Estados Unidos.

No estudo realizado por [11], verificou-se os impactos que a GDFV ocasiona em uma rede de distribuição de energia elétrica da cidade de Jaraguá do Sul - SC. No qual, ocasiona transgressões dos limites de tensão a partir de 25% de integração de GDFV. Além do aumento do desequilíbrio entre as tensões de fase e alterações no fator de potência (FP).

A partir das pesquisas já realizadas sobre o tema, este trabalho apresenta um estudo sobre a utilização do controle Volt/Var em SFVs, visando mitigar as violações dos limites de tensão em uma rede de distribuição da Celesc, em um alimentador da cidade de Jaraguá do Sul - SC. Este trabalho abordará o controle Volt/Var de uma visão da concessionária de energia, de modo que não serão todos os SFVs habilitados para o controle Volt/Var, e sim, inseridos novos SFVs em pontos estratégicos que possibilitem o melhoramento da QEE.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo geral analisar o impacto da inserção de SFV com controle Volt/Var em um alimentador da cidade de Jaraguá do Sul.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar simulações com diferentes cenários de inserção de geração distribuída fotovoltaica;
- Realizar simulações com a inserção do SFV com controle Volt/Var em diferentes pontos da rede de distribuição;
- Realizar a programação do OpenDss através da interface em Python;
- Analisar as tensões nos barramentos, fator de potência e potência demandada da subestação conforme a modificação dos cenários simulados;

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conceito de GD pode ser definido como uma fonte geradora de energia elétrica localizada próxima ao consumidor final [6], que pode ser conectada diretamente ao sistema elétrico de distribuição ou através das instalações de consumidores, permitindo a operação de forma isolada ou em paralelo ao sistema de energia conectado [12]. Diversas fontes de energia podem ser empregadas na GD, sendo elas fontes renováveis e não renováveis, comumente as mais utilizadas para a formação das centrais geradoras são: biomassa, eólica, solar fotovoltaica, gás natural e resíduos de processos industriais como a lixívia na indústria de papel e celulose [12].

A ANEEL realiza a classificação das centrais geradoras em micro e minigeração distribuída, estabelecendo como microgeração distribuída as centrais geradoras com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilizam cogeração qualificada ou fontes renováveis, e minigeração distribuída para centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW que utilizam cogeração qualificada ou fontes renováveis [3].

Segundo ANEEL [5] a GD no Brasil é composta em sua grande maioria por centrais geradoras fotovoltaicas (UFV), responsável por 98,36% da potência total instalada, seguida pelas térmicas (UTE) 0,97%, as centrais geradoras hidrelétricas (CHG) 0,54% e as eólicas (EOL) 0,12%. A Tabela I mostra a composição da geração distribuída, por tipo de geração, dados da data de 10/10/2022.

**TABELA I**

Potência instalada por fonte de energia em sistemas de GD [5]

TIPO	QTD GD	POT INSTALADA (kW)	%
CGH	77	75.921,67	0,54%
EOL	90	17.155,10	0,12%
UFV	1.307.612	13.715.064,65	98,36%
UTE	411	135.837,56	0,97%
Total	1.308.190	13.943.978,98	100,00%

O SFV tem sua composição básica formada por um dispositivo fotovoltaico e um conversor eletrônico. O dispositivo fotovoltaico converte a energia solar em elétrica enquanto o conversor eletrônico é responsável por ajustar os valores de tensão e corrente antes de introduzi-los à rede elétrica ou abastecer um consumidor.

A Figura 1 apresenta a configuração básica de um sistema fotovoltaico conectado ao sistema de distribuição de energia elétrica, como descrito no parágrafo acima.

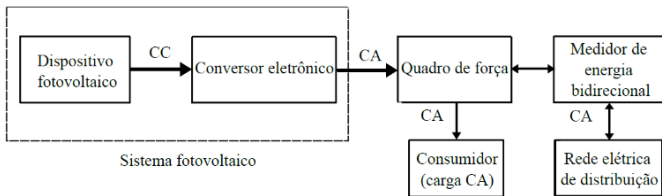


Fig. 1 Diagrama ilustrativo de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição de energia elétrica [13].

Quando se analisa a geração distribuída, deve-se atentar aos impactos que ela trará a rede de distribuição, além dos muitos pontos positivos, um contraponto muito importante são os problemas relacionados a QEE, como harmônicos, sobretensão, desequilíbrio de tensão e de corrente. A inserção da GDFV em redes de distribuição pode mitigar ou agravar problemas relacionados a QEE, dependendo do cenário em que se encontra a rede, como por exemplo, em casos onde as cargas estejam distribuídas de forma desigual entre as fases, os impactos gerados pelas fontes fotovoltaicas vão depender de como foram distribuídas entre elas [14].

Quando a produção de energia da GD é superior a demandada pela carga no ponto em que a GD está conectada, a GD injeta energia no sentido contrário ao da rede de distribuição, tornando o sistema bidirecional e ativo. Como consequência, o fluxo de energia bidirecional pode alterar o perfil da tensão, de modo a provocar a elevação de tensão, que quanto maior for a diferença entre a energia produzida pela GD e a energia consumida pela carga maior será a elevação de tensão [15]. A Figura 2 representa de uma maneira simplificada um sistema de distribuição com GD.

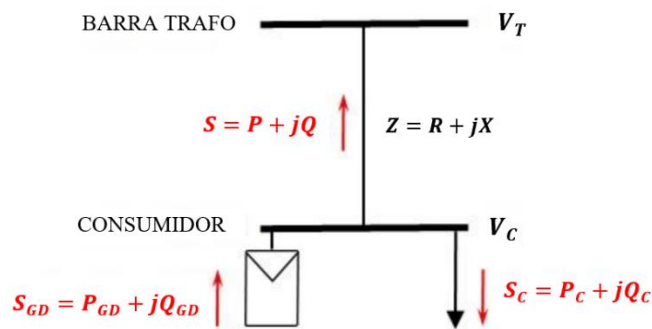


Fig. 2- Representação simplificada de um sistema de distribuição com GD [14].

A variação da tensão no alimentador com a inserção dos sistemas de GDs, pode ser expressada pela equação 1 [15].

$$\Delta V = \overline{V}_C - \overline{V}_P \approx \frac{R(P_G - P_C) + X(Q_G - Q_C)}{V_C} \quad (1)$$

Na qual  $V_C$  é a tensão na barra de carga;  $V_P$  representa a tensão no início do alimentador;  $R$  e  $X$ , a resistência e a reatância do cabo de rede do alimentador;  $P_G$  a potência ativa gerada pela GD;  $\pm Q_C$  a potência reativa injetada ou absorvida pelo sistema de GD;  $P_C$  a potência ativa absorvida pela carga e por fim  $Q_C$  representando a potência reativa absorvida pela carga.

Em redes de distribuição de baixa tensão o valor de  $R$  é frequentemente maior que  $X$ , o que indica uma parcela resistiva elevada, de modo que a potência ativa fornecida pela GD tenha uma maior influência na tensão dos barramentos do sistema. Como normalmente as GDs são configuradas com fator de potência unitário, sem a injeção de potência reativa (QG), a elevação de tensão se torna um dos principais limitadores do nível de geração que pode ser inserido em um sistema de distribuição [15].

Outro ponto que pode ser destacado é que as interrupções da luz solar sobre os painéis, causadas pelo sombreamento proveniente de construções, vegetações ou passagem de nuvens, provocam oscilações na geração fotovoltaica e consequentemente a energia gerada é intermitente, podendo causar flutuações de tensão [14].

No Brasil os parâmetros de QEE são estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) em seu módulo 8 – qualidade do fornecimento de energia elétrica.

Conforme descrito anteriormente, um dos principais problemas causados pela GD é a elevação de tensão. O PRODIST define os valores de referência e limites de tensão que devem ser atendidos a depender do nível de tensão contratado, por exemplo: para o nível de tensão 380/220 V os valores estão demonstrados na Tabela II, onde são estabelecidas as faixas de valores para considerar a tensão de atendimento adequada, precária ou crítica.

**TABELA II**

Pontos de conexão em tensão nominal inferior a 2,3 kV (380/220) [16]	
Tensão de atendimento	Faixa de variação da tensão de leitura (Volts)
Adequada	$0,92 \leq TL \leq 1,05$
Precária	$0,87 \leq TL < 0,92$ ou $1,05 < TL \leq 1,06$
Crítica	$TL < 0,87$ ou $TL > 1,06$

Para minimizar a elevação de tensão e outros impactos causados pelo alto nível de penetração de SFV nas redes de distribuição, algumas funções inteligentes de inversores podem ser aplicadas, como fator de potência fixo, Volt-Var, Volt-Watt e limite de potência ativa [17].

Para a função Volt/Var, o inversor modifica a sua operação com base em uma tensão monitorada, de modo a fornecer ou absorver potência reativa, para tentar manter a tensão monitorada dentro dos limites estabelecidos [17].

A relação entre a potência reativa fornecida pelo inversor e a tensão monitorada pode ser observada na Figura 3.

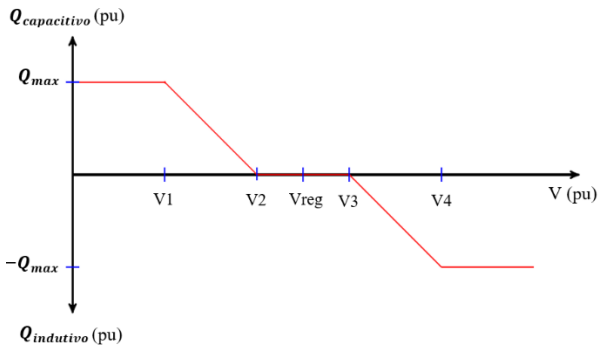


Fig. 3 – Exemplo de curva Volt/Var

Conforme observa-se a curva da Figura 3, quando a tensão monitorada é menor que a estabelecida em V2, a potência reativa é fornecida para aumentar o valor da tensão. Quando o valor da tensão monitorada está entre os valores de V2 e V3 o inversor fornece apenas energia ativa, já quando a tensão monitorada ultrapassa o valor estabelecido em V3 a potência reativa é absorvida para diminuir o valor da tensão [17].

Com a mudança da energia fornecida pelo SFV há a alteração do fator de potência no alimentador, de modo que quanto menor o fator de potência, maior é a energia reativa na rede elétrica, que pode causar a limitação da capacidade de transmissão das linhas e limitação da capacidade de geração [18].

Tendo em vista que a GDFV pode causar impactos notáveis a rede de distribuição, e que há tecnologias para mitigar estes impactos, demonstra-se a importância em analisar estas. Uma das maneiras de se realizar o estudo da GDFV é com auxílio de simulações, utilizando softwares que permitem o estudo de sistemas de potência sendo o OpenDss um deles.

O OpenDSS é um software executável de utilização livre e amplamente utilizado para o estudo de sistemas de potência. No software é possível executar estudos de fluxo de carga, simulação de geradores solares fotovoltaicos, estimação de estado na distribuição, estudos de distorções harmônicas, entre outras aplicações [19].

Para ampliar as possibilidades de simulações realizadas com o OpenDSS é possível utilizar a interface “py-dss-interface” em linguagem Python, que permite a manipulação do OpenDSS por sua interface agregando possibilidades de criação de códigos otimizados, realizando “loopings”, condições de filtragem, sobreposição de gráficos, entre outras possibilidades disponíveis na linguagem Python. A interface py-dss-interface permitiu a realização de simulações em diversos cenários sem a necessidade de alteração do código inicial [20].

## VI. METODOLOGIA

Para realizar a análise dos impactos que a geração fotovoltaica na rede de distribuição e como a inserção do SFV com controle Volt/Var pode mitigar estes impactos, foram designadas as seguintes etapas:

- (A) Leitura das condições atuais dos equipamentos da rede;
- (B) Inserção da GD na rede de distribuição;
- (C) Verificação da necessidade de melhoramento no perfil de tensão;

(D) Inserção de novos geradores fotovoltaicos com controle Volt/Var em diferentes pontos no alimentador.

O fluxograma ilustrado na Figura 4, demonstra a arquitetura geral, contendo as etapas necessárias para a metodologia proposta acima.

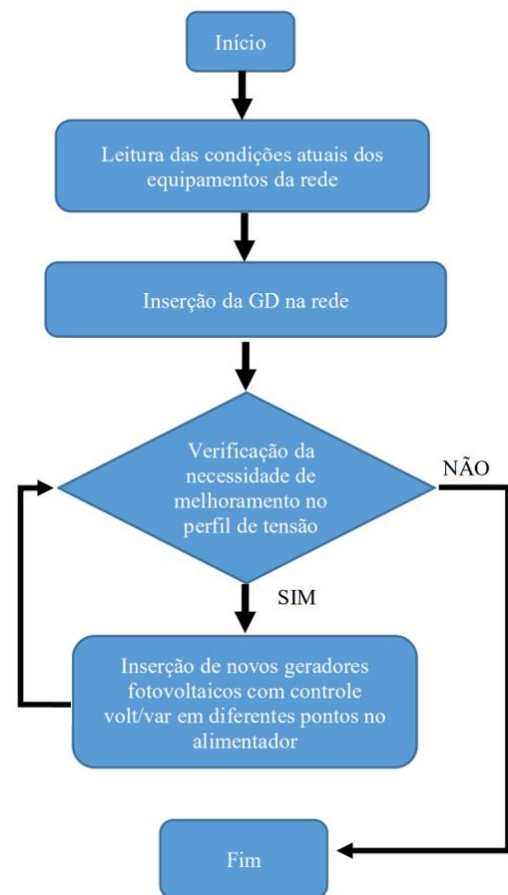


Fig. 4 - Etapas para o desenvolvimento do estudo.

### A. Leitura das condições atuais dos equipamentos da rede

O alimentador utilizado para estudo neste trabalho é o JSL07, proveniente da subestação JSL, localizado na cidade de Jaraguá do Sul/SC. Este alimentador possui aproximadamente 620 unidades consumidoras (UCs) de baixa e média tensão e não possui reguladores de tensão.

A Tabela III expõe as principais características do alimentador JSL07.

**TABELA III**

Características do alimentador JSL07

Descrição	Quantidade
Segmentos de média tensão	148
Segmentos de baixa tensão	171
Unidades transformadoras de distribuição	24
Unidades consumidoras de média tensão	13
Unidades consumidoras de baixa tensão	604
Pontos de iluminação pública (PIP)	192

Para utilizar os arquivos referentes a modelagem do alimentador JSL07 [11], foi utilizado a interface do OpenDSS em Python, chamada py-dss-interface, e a IDE utilizada na compilação do código em linguagem Python, será o PyCharm. A Figura 5 demonstra o traçado do alimentador JSL07.

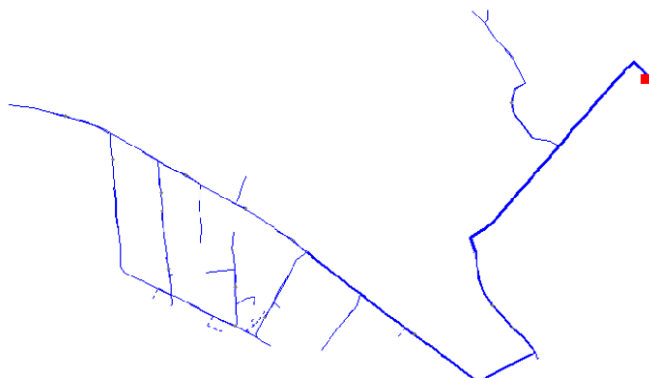


Fig. 5 - Traçado do alimentador JSL07

O quadrado vermelho simboliza a localização da subestação. A partir dos arquivos modelados é possível observar a potência demandada da subestação pelo circuito JSL07 conforme o decorrer das horas do dia, demonstrado na Figura 6.

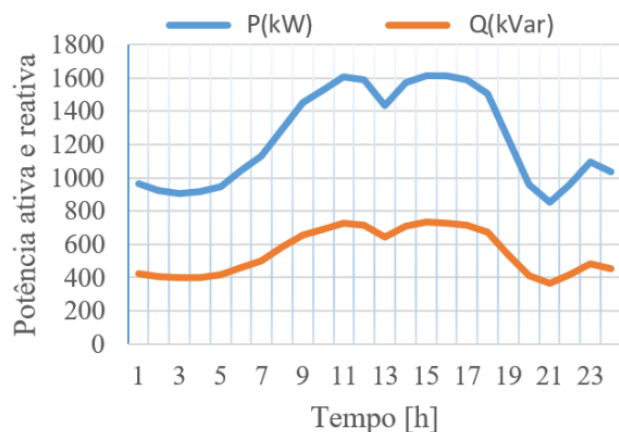


Fig. 6 - Potência demandada no alimentador.

Conforme demonstrado na Figura 6, a potência ativa máxima demandada pelo alimentador é as 15 horas, no valor de 1615,57 kW.

#### B. Inserção da GD na rede de distribuição

A integração de GDFV está definida a partir do percentual de penetração de GD na rede, que são:

- 0% de GD;
- 25% da potência nominal de cada transformador de distribuição.

No cenário de 25% de penetração de GDFV a soma da potência instalada dos geradores fotovoltaicos das UCs

totaliza 25% da potência nominal do transformador de distribuição ao qual as cargas com GDFV estão conectadas.

Para realizar a análise, as UC com GDFV foram distribuídas conforme demonstra a Tabela IV [11], onde verifica-se o número de UCs conectadas em cada transformador, o código de identificação dos transformadores e sua potência nominal.

**TABELA IV**

Transformadores de distribuição do alimentador JSL07, cargas e geradores fotovoltaicos conectados [11]

COD ID	S(kVA)	UCs totais	Nº de UCs com GDFV
7295705	500	81	15
7302415	75	0	0
7302696	300	116	9
7346877	112,5	13	3
7346879	75	4	2
7347044	112,5	38	3
7347045	150	29	4
7347046	150	17	4
7347047	112,5	11	3
7347048	150	14	4
7347049	112,5	21	3
7347050	112,5	29	3
7347051	112,5	36	3
7347052	112,5	26	3
7347053	150	14	4
7347054	150	13	4
7347055	112,5	18	3
7349732	75	14	2
7445559	150	5	4
7463860	150	25	4
7473915	45	11	1
7473916	45	19	1
7474235	112,5	28	3
7481283	112,5	22	3

Cada UC com GDFV simulada possui um gerador com potência de 8,5 kW, com fator de potência fixo de 1, ou seja, fornecendo apenas energia ativa para a rede de distribuição. Para conectar estes geradores a rede, serão respeitadas as mesmas fases de ligação da respectiva UC à rede.

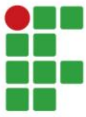
#### C. Verificação da necessidade de melhoramento no perfil de tensão

Para a análise da QEE serão verificadas nesta etapa os níveis de tensão em todas as barras de baixa tensão do sistema. Sendo os cálculos obtidos a partir Equação 2.

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \quad (2)$$

Na qual,  $V_i$  indica a tensão em cada barramento da rede;  $V_{min}$  e  $V_{max}$  a tensão mínima e máxima estabelecidas conforme a Tabela II, que classifica o nível de tensão como adequada, precária ou crítica.

Após esta análise, havendo a necessidade do melhoramento do nível de tensão apresentado nas barras, adiciona-se um gerador fotovoltaico com controle Volt/Var ao inversor, para que possa atuar nas correções dos níveis de tensões.



*D. Inserção de novos geradores fotovoltaicos com controle Volt/Var;*

Para a modelagem dos sistemas FV com o controle Volt/Var no software OpenDss são necessárias a definição de algumas propriedades [17][8], sendo elas:

- *PVSystem*;
- *Invcontrol*;

No elemento *PVSystem* são definidos dados referentes ao sistema FV, sendo eles características do painel, inversor e condição de operação (temporal ou estática). Os principais parâmetros que devem ser definidos são:

- *Pmpp*: potência nominal do painel em kW;
- *P-TCurve*: curva do fator de correção da potência gerada pelo painel em função de sua temperatura. Na temperatura nominal do painel o fator de correção é unitário, conforme Figura 7, em que é demonstrado a curva padrão do OpenDss;

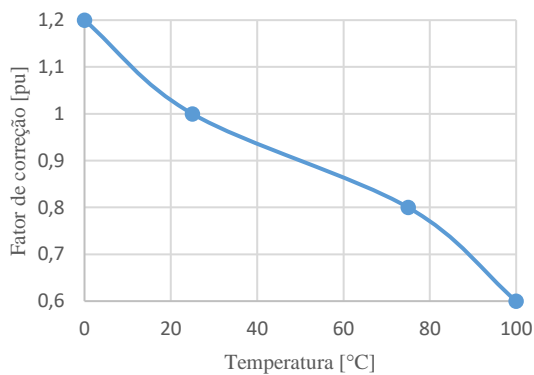


Fig.7- Curva do fator de correção em função da temperatura [21].

- *kVA*: potência aparente nominal do inversor;
- *kV*: tensão nominal do inversor;
- *Phases*: quantidade de fases do sistema fotovoltaico;
- *bus1*: barra em que o sistema fotovoltaico está conectado;
- *conn*: conexão do sistema fotovoltaico trifásico;
- *VarFollwInverter*: determina se o sistema fotovoltaico pode fornecer potência reativa enquanto se encontrar sem geração de potência ativa;
- *EffCurve*: curva de eficiência do inversor, que determina a variação da eficiência do inversor em função de sua potência de entrada. A Figura 8 demonstra a curva padrão do OpenDss;

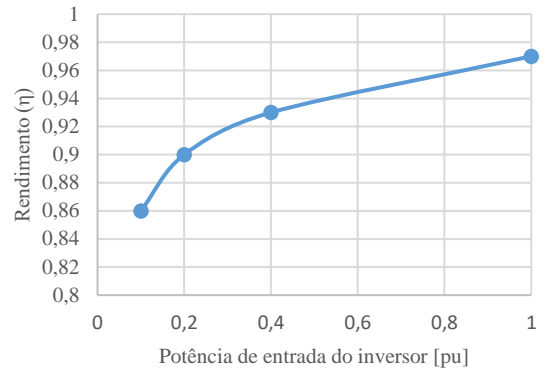


Fig. 7 - Curva de eficiência do inversor [21].

- *Irrad*: irradiação nominal (base);
- *Temperature*: temperatura nominal de operação do módulo;
- *Daily*: curva de irradiação diária. Pode-se observar a curva padrão do OpenDss na Figura 9.

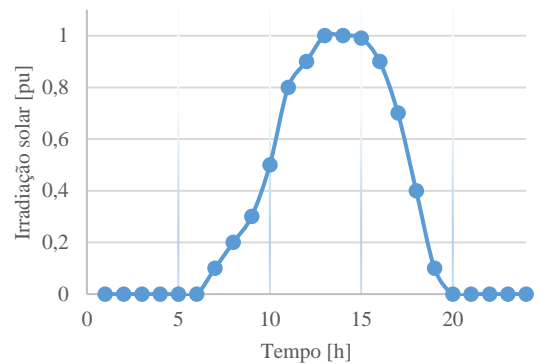


Fig. 8 - Irradiação solar nos ao longo do dia [21].

- *TDaily*: curva de temperatura diária do painel. A Figura 10 demonstra a curva padrão do OpenDss;

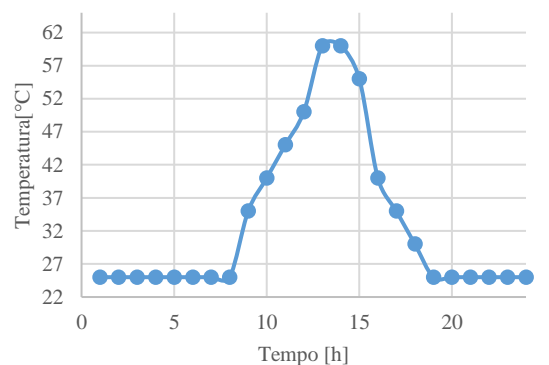


Fig. 9 - Curva de temperatura diária do painel [21].

Na Figura 11, é apresentado um exemplo utilizando o PyCharm para especificar o SFV.

```
dss.text("New XYCurve.MyPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] "
        " yarray=[1.2 1.0 0.8 0.6]")
dss.text("New XYCurve.MyEff npts=4 xarray=[.1 .2 .4 1.0] "
        " yarray=[.86 .9 .93 .97]")
dss.text("New Loadshape.MyIrrad npts=24 interval=1 mult=[0 0 "
        " 0 0 0 .1 .2 .3 .5 .8 .9 1.0 1.0 .99 .9 .7 "
        ".4 .1 0 0 0 0 0]")
dss.text("New Tshape.MyTemp npts=24 interval=1 temp=[25 25 25 "
        " 25 25 25 25 25 35 40 45 50 60 60 55 40 35 30 25 "
        "25 25 25 25 25]")
dss.text("New PVSystem.PV_control1 phases=3 conn=wye"
        " bus1=bt_1361874 kV=0.38 kVA=44 irrads=.98 Pmpp=40"
        " temperature=25 VarFollowInverter=Yes effcurve=Myeff"
        " P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp".
```

Fig. 10 - PVSystem no PyCharm.

Observa-se que para definir as curvas *P-TCurve* e *EffCurve* deve-se utilizar o objeto *XYCurve*, enquanto para as curvas *Daily* e *TDaily* utiliza-se *LoadShape*.

Na simulação *Quase-Static Time-Series (QSTS)*, o cálculo da potência entregue à rede é realizado primeiramente convertendo a radiação solar em um passo de tempo  $t$  em energia elétrica CC, com o valor de potência de saída do painel  $P_{ac}[t]$ , conforme Equação 3.

$$P_{cc}[t] = P_{mpp} \times irrads \times irrads[t] \times PTCurve(temp[t]) \quad (3)$$

Em que a potência nominal do painel ( $P_{mpp}$ ), normalmente padronizado em 25°C e irradiação base de 1 kW/m<sup>2</sup>, é multiplicada pelo valor de irradiação base ( $irrads$ ) e os fatores de correção da irradiação ( $irrads[t]$ ) e temperatura do painel ( $PTCurve(temp[t])$ ) no passo de tempo  $t$ .

A potência CA entregue pelo inversor à rede de distribuição pode ser totalmente ativa, reativa ou uma combinação das duas, dependendo dos parâmetros de controle e limitações utilizadas na simulação. A potência CA entregue a rede é demonstrada pela Equação 4 [8].

$$P_{CA}[t] = P_{cc}[t] \times EffCurve(P_{cc}[t]) \quad (4)$$

Na qual  $P_{CA}[t]$  representa a potência CA entregue à rede de distribuição e  $EffCurve(P_{cc}[t])$  a eficiência do inversor para uma determinada potência de saída.

No elemento *Invcontrol* são definidos os dados referentes as funções inteligentes dos inversores, dentre elas pode-se destacar:

- *Mode*: função inteligente do inversor habilitada para o elemento PVSystem;
- *DerList*: define a lista de elementos PVSystem que serão controlados pelo *Invcontrol*;
- *vvc\_curve1*: curva volt-var, valores de referência para potência reativa na saída do inversor.

- *voltage\_curve\_ref*: tensão de base que é utilizada para calcular a tensão monitorada em pu;
- *VoltageChangeTolerance*: tolerância em pu da convergência do laço de controle associado a tensão monitorada;
- *deltaQ\_factor*: variação na saída de reativos para cada iteração de controle;
- *MonBus*: define a lista de barramentos com os seus nós que devem ser monitoradas;
- *monBusesVbase*: lista das tensões de base para o *MonBus*.

Na Figura 12, é apresentado um exemplo utilizando o PyCharm para especificar a função Volt/Var.

```
dss.text("New XYCurve.VoltVarCurve npts = 4 "
        "xarray = [0.95, 0.98, 1.02, 1.05] "
        "yarray = [1.0, 0, 0, -1.0]")
dss.text("New InvControl.VoltVar mode=VOLTVAR "
        "voltage_curve_ref=rated DerList=PVSystem.PV_CL"
        "vvc_curve1=VoltVarCurve RefReactivePower=VARAVAL"
        "varchangeTolerance=0.0001 deltaQ_factor=0.2"
        "monVoltageCalc=MAX MonBus=[bt_1361874.1.2.3] "
        "monBusesVbase=[0.38]")
```

Fig. 11- Função Volt/Var no PyCharm.

Observa-se que para definir a curva *vvc\_curve1* deve-se utilizar o objeto *XYCurve*, no qual os valores *xarray* correspondem aos valores das tensões V1, V2, V3 e V4 da curva Volt/Var representada na Figura 3.

## VI. RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os resultados dos níveis de tensão para as barras do alimentador, no horário verificado com os piores níveis de tensão, 14h, de forma a demonstrar o funcionamento do controle Volt/Var conforme os cenários de interação de GDFV, a potência na saída do alimentador ao longo do dia, bem como o fator de potência.

Para a obtenção dos resultados a partir da aplicação da metodologia proposta, foram realizados 4 cenários:

- Cenário 1 (C1): Índice de penetração da GDFV de 0%;
- Cenário 2 (C2): Índice de penetração da GDFV de 25%;
- Cenário 3 (C3): Índice de penetração da GDFV de 25% com a inclusão dos SFVs com controle Volt/Var;
- Cenário 4 (C4): Mesma configurações do item anterior, porém mudando o barramento de conexão dos SFVs como o controle Volt/Var;

Para os cenários 3 e 4 serão inseridos dois SFVs trifásicos com potências nominais de 40 kWp, totalizando 80 kWp, que corresponde a aproximadamente 5% da potência ativa máxima demandada pelo alimentador JSL07. As barras para conexão dos SFVs com controle Volt/Var foram determinadas da

seguinte maneira:

- C3: Barras com os maiores níveis de tensão no cenário de 25% de penetração [11]. Os SFVs foram inseridos nas barras bt\_1361874 e bt\_1361837.
- C4: Barras que apresentaram os níveis de tensão médio no cenário de 25% de penetração [11]. Os SFVs foram inseridos nas barras bt\_1925006 e bt\_1375422.

A localização das barras com a conexão das GDFVs pode ser verificada na Figura 13.

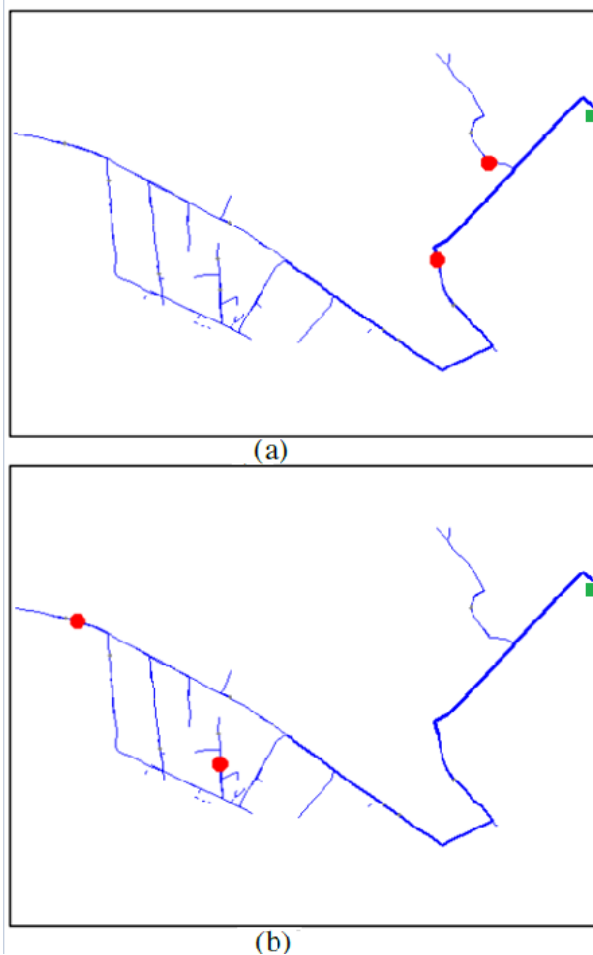


Fig. 12 - Alimentador JSL07 com a inserção dos SFVs com controle Volt/Var para (a) cenário C3 e (b) cenário C4.

Os círculos em vermelho representam os SFVs, com controle Volt/Var. A Tabela V apresenta os dados dos SFVs conectados à rede.

**Tabela V**

Dados dos SFVs com controle Volt/Var		
Dados	FV1	FV2
Potência nominal (kWp)	40	40
Tensão nominal (V)	380	380
Potência nominal do inversor (kVA)	44	44
Irradiação base (kW/m <sup>2</sup> )	0,98	0,98
Temperatura nominal (°C)	25	25

### A. Níveis de tensão ao longo do alimentador

Na Figura 14, é possível observar os níveis de tensão para as barras de baixa tensão (BT). Apresenta-se para cada barra o maior nível de tensão entre as três fases. O horário considerado para a simulação é as 14 horas, o instante que apresentou as maiores elevações de tensão ao longo do alimentador. As linhas tracejadas preta e vermelha, indicam os limites de conformidade para baixa tensão, precário e crítico, respectivamente. No eixo das abscissas, são apresentados os números das barras, da barra 1 a barra 146. O número dessas barras pode ser relacionado ao código de identificação na Base de Dados Geográfica da Distribuidora (BDGD), a partir do Anexo I.

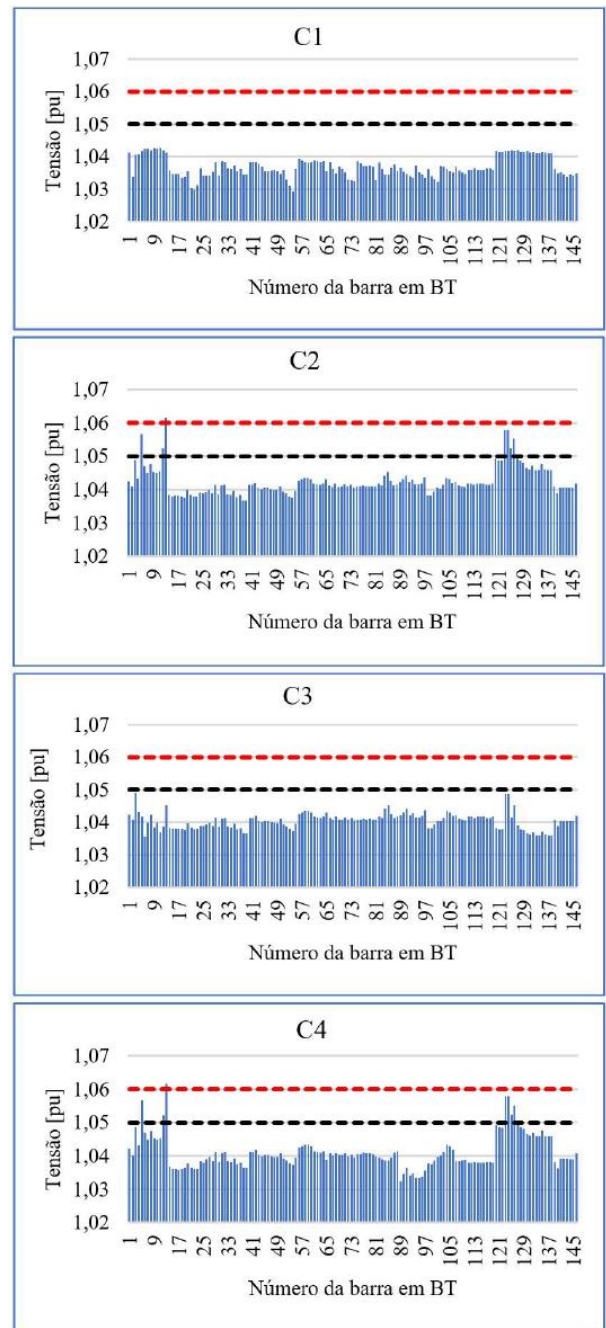


Fig. 13 - Tensão nas barras de BT para os 4 cenários.

Verifica-se na Figura 14, que no cenário C1 não há violações dos níveis de tensão dos barramentos, apresentando uma tensão média de 1,037 pu. No C2, a penetração de 25% de GDFV provoca transgressões nos níveis de tensão em 8 barramentos, conforme pode ser verificado no Anexo I, o que corresponde a 5,48% dos barramentos monitorados, além de aumentar a tensão em todos os barramentos ocasionando a tensão média de 1,0425 pu. Neste cenário, o barramento número 13, correspondente a barra bt\_1361874, apresentou o nível de tensão de 1,0617 pu, valor que classifica a tensão de atendimento como crítica.

Observa-se na Figura 14, que no cenário C3 com a inserção dos SFVs com controle Volt/Var nos barramentos 13 e 123, correspondentes as barras bt\_1361874 e bt\_1361837, obteve-se a diminuição dos níveis de tensão sem ocorrências de transgressões, conforme pode ser verificado no Anexo I, com uma pequena redução da tensão média em comparação com o cenário C2, cerca de 0,19%, obtendo a tensão média de 1,0404 pu. No cenário C4, com a inserção dos SFVs com controle Volt/Var nos barramentos 89 e 107, correspondentes as barras bt\_1375422 e bt\_1925006, verificou-se de maneira similar ao cenário anterior, uma pequena redução da tensão média dos barramentos, para 1,0411 pu, representando uma redução de 0,13% em comparação ao cenário C2. Neste cenário, ao contrário do cenário anterior, a inserção dos SFVs com controle Volt/Var não eliminou as transgressões nos níveis de tensão, conforme pode ser verificado no Anexo I, no qual observa-se as transgressões nos mesmos barramentos do cenário C2.

Ainda analisando os cenários C3 e C4, verifica-se que a há alteração da tensão principalmente nos barramentos em que estão conectados os SFVs com controle Volt/Var, essa alteração pode ser verificada na Figura 15, que demonstra a tensão ao longo do dia no barramento 13, para os cenários C2 e C3, no qual apresenta-se o maior nível de tensão entre as três fases.

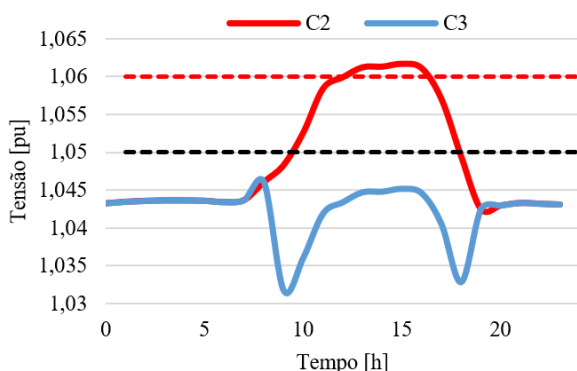


Fig. 14- Tensão ao longo do dia no barramento 13

Verifica-se na Figura 15, que para o cenário C2, durante o período aproximado das 10h às 18h, a tensão fica acima do valor limite para a tensão de alimentação ser classificada como adequada. Enquanto no cenário C3 é possível observar a atuação do SFV com controle Volt/Var mantendo tensão no barramento dentro dos limites adequados. A diminuição na tensão do barramento é provocada pela energia reativa que é

absorvida pelo SFV com controle Volt/Var.

### B. Potência demandada na saída da subestação pelo alimentador JSL07

Na Figura 16, é possível observar a potência demandada da subestação pelo circuito JSL07 conforme o decorrer das horas do dia. Verifica-se que nos cenários C2, C3 e C4, conforme a GDFV começa a injetar energia ativa na rede, a demanda de potência ativa requisitada da subestação diminui. No cenário sem a GDFV, os picos de energia ativa demandada da subestação acontecem as 10h e 14h, enquanto nos cenários com GDFV há a mudança para as 8h e 16h, com redução de aproximadamente 23% do seu valor de pico.

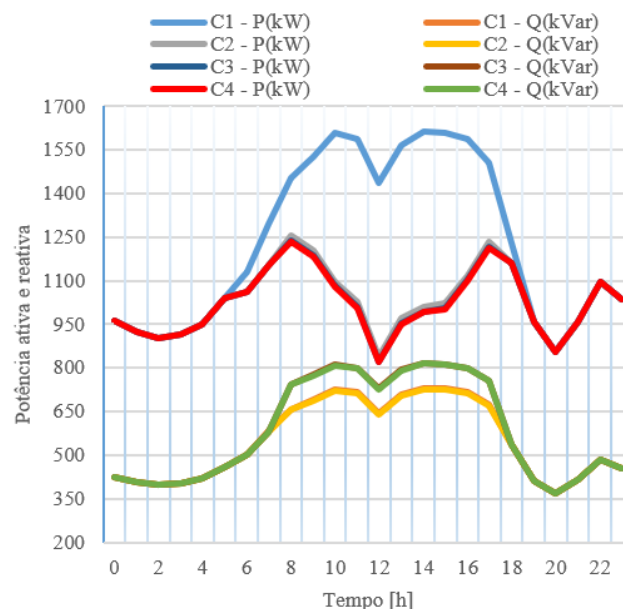


Fig. 15 – Potência demandada no alimentador.

Nota-se na Figura 16, que a potência reativa demandada da subestação nos cenários C1 e C2 estão sobrepostas, devido ao FP da GDFV estar fixado em 1, não havendo geração de energia reativa por parte da GDFV. Nos cenários C3 e C4, as curvas da potência reativa são praticamente as mesmas, o que demonstra que mesmo estando em barramentos com localizações diferentes os SFVs com controle Volt/Var tiveram um impacto muito semelhante na potência demandada da subestação. Quando se compara a energia reativa dos cenários testados, verifica-se o aumento de aproximadamente 11% da energia reativa de pico demandada da subestação nos cenários C3 e C4 em comparação aos cenários C0 e C1, devido a energia reativa que é absorvida pelos SFVs com controle Volt/Var para tentar diminuir a tensão nos barramentos.

### C. Fator de potência na saída do alimentador JSL07 na subestação

Na Figura 17 é possível observar o fator de potência (FP) na saída do alimentador JSL07 na subestação, durante um dia completo.

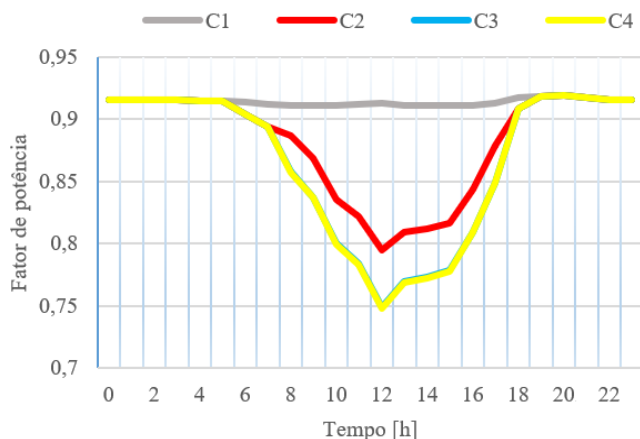


Fig. 16- Fator de potência na saída do alimentador.

Observa-se na Figura 17, que os cenários com a GDFV há a redução do FP durante as horas do dia em que a GDFV está gerando energia. Essa diminuição é provocada pela energia ativa que é inserida na rede de distribuição pela GDFV, já que a parcela de energia reativa demandada da subestação continua a mesma, enquanto há a redução da demanda de energia ativa. No cenário sem GDFV o FP se mantém em torno de 0,92 indutivo, enquanto no cenário C2 a redução do FP chega ao valor de 0,79 as 12h. Nas curvas C3 e C4 nota-se que o FP diminuiu para 0,75 as 12h, pois com a inserção dos SFVs com controle Volt/Var, além da energia ativa inserida pela GDFV, há energia reativa que é absorvida pelos SFVs com controle Volt/Var.

#### IV. CONCLUSÕES

Com o cenário atual de expressivo aumento da GDFV, faz-se necessário a realização de estudos sobre os impactos causados na rede de distribuição e maneiras de mitigar os problemas causados. Neste trabalho foi apresentado como a inserção de um SFV com o controle Volt/Var pode mitigar as transgressões de nível de tensão elétrica em uma rede de distribuição com alta penetração de energia fotovoltaica.

Com o software OpenDss, foi possível realizar as simulações considerando os cenários sem a integração da GDFV, com a integração de 25% em relação a potência nominal dos transformadores de distribuição, além dos cenários com a inserção do SFV com o controle Volt/Var em diferentes pontos do alimentador.

Verificou-se que a inserção do SFV com o controle Volt/Var pode mitigar as transgressões dos níveis de tensões dos barramentos, provocados pela GDFV, dependendo do barramento em que os SFVs com o controle Volt/Var estão conectados. Para o cenário em que os SFVs com o controle Volt/Var então conectados próximos aos barramentos que apresentam as violações dos níveis de tensão, verificou-se a diminuição do nível de tensão destes barramentos, deixando a tensão dentro do nível considerado adequado. Enquanto para o cenário no qual SFVs com o controle Volt/Var então conectados em barramentos com tensões medianas, apesar de haver a diminuição do nível de tensão destes barramentos, ainda houve as transgressões dos níveis de tensões em alguns barramentos.

Além disso, foi possível verificar, que com a inserção da GDFV houve a diminuição do fator de potência na saída do alimentador, diminuição essa, provocada pela energia ativa que é inserida na rede de distribuição pela GDFV, devido a parcela de energia reativa demandada da subestação continuar a mesma, enquanto há a redução da demanda de energia ativa. Com a inserção dos SFVs com o controle Volt/Var verificou-se uma redução ainda maior do fator de potência na saída do alimentador, devido a energia reativa absorvida pelo SFV com o controle Volt/Var, para tentar realizar a diminuição do nível de tensão dos barramentos.

Como sugestão para trabalhos futuros, com a utilização do software PyCharm, pode-se executar a otimização da inserção do SFV com o controle Volt/Var, buscando encontrar a melhor localização de dimensionamento do SFV. É possível também realizar a aplicação de outras funções inteligentes de inversores, como fator de potência fixo, volt-watt e limite de potência ativa. Além disso, pode-se realizar um estudo buscando alternativas para solucionar o problema de FP. É possível também realizar o estudo em outros alimentadores, para verificar como a diferença dos alimentadores impactariam na aplicação do controle Volt/Var.

#### REFERÊNCIAS

- [1] EPE, “Balanço Energético Nacional (BEN) 2022”, 2022, [Online], Disponível: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br).
- [2] VIEIRA, Daniel. Método para determinação do tipo de incentivo regulatório à geração distribuída solar fotovoltaica que potencializa seus benefícios técnicos na rede. 2016. xvii, 181 f., il. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) — Universidade de Brasília, Brasília, 2016
- [3] ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução normativa nº 482: Condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2012.
- [4] P. M. Reinaldo, B. S. Dupczak, “Análise do Impacto da Geração Distribuída Fotovoltaica na Rede de Baixa Tensão da CELESC”, Revista Eletrônica de Potência, vol. 25, pp. 316–325, 2020.
- [5] ANEEL, “Unidades Consumidoras com Geração Distribuída”, 2022. Disponível em: [app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiJ9](https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiJ9)
- [6] VINÍCIUS, M.; DIAS, X. Universidade Federal De Itajubá Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Da Energia Geração Distribuída No Brasil: Oportunidades E Barreiras. [S.D.].
- [7] Nunes, Evandro Ailson de Freitas. Análise de impactos na rede de distribuição de energia elétrica decorrentes da inserção de sistemas de geração fotovoltaicos.

- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação. Natal, RN, 2017.
- [8] EICHKOFF, Henrique Silveira. Análise da geração distribuída para o controle de tensão e potência reativa em sistemas modernos de distribuição. 95p. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Alegrete, 2018.
- [9] MALEKPOUR, Ahmad Reza, PAHWA Anil, NATARAJAN Balasubramaniam. Distributed Volt/Var Control in Unbalanced Distribution Systems with Distributed Generation. In: 2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid, 2014, Orlando.
- [10] KIM Insu., HARLEY Ronald G., REGASSA Raey. The Investigation of the Maximum Effect of the Volt/Var Control of Distributed Generation on Voltage Regulation. In: 2015 IEEE 42 nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 2015, New Orleans.
- [11] JANSEN, M. S.; SALDANHA, J. J. A. Análise do impacto da geração distribuída fotovoltaica em uma rede elétrica da cidade de Jaraguá do Sul. Trabalho de Conclusão de Curso – IFSC, Jaraguá do Sul, 2022.
- [12] PRODIST, “Módulo 1 – Glossário de Termos Técnicos do Prodíst”, 2022, [Online], Disponível: [www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956\\_2.pdf](http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2.pdf)
- [13] PALUDO, J. A, Avaliação dos impactos de elevados níveis de penetração da geração fotovoltaica no desempenho de sistemas de distribuição de energia elétrica em regime permanente, Dissertação de Mestrado, USP, São Carlos, SP, Brasil, 2014.
- [14] M. R. F Alves, O papel de Geradores Fotovoltaicos na Regulação de Tensão em Redes de Baixa Tensão Residências: estudo comparativo de normas e padrões sob a ótica de mitigação da elevação de tensão, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.
- [15] BORGES, R. T. Desenvolvimento de metodologias de análise sistêmica de sistemas de distribuição de energia elétrica com geração ultra-dispersa. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
- [16] PRODIST, “Módulo 8 – qualidade do fornecimento de energia elétrica”, 2022, [Online], Disponível: [www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956\\_2\\_7.pdf](http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf)
- [17] Radatz, P. R. R. F. Impacto de funções inteligentes de inversores de sistemas fotovoltaicos na operação de redes de distribuição de energia elétrica. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas 2020.
- [18] A. Baggini, Handbook of Power Quality, Wiley-lackwell, England, 2000
- [19] ANZANELLO JÚNIOR, J. D. Análise de Microgeração Fotovoltaica em um Sistema de Distribuição utilizando o OpenDSS. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- [20] PRAIS, Matheus Barros. Sobretensões em circuitos secundários de distribuição com a presença de geradores fotovoltaicos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.
- [21] EPRI, “OpenDSS PVSystem Element Model”, 2011, [Online], Disponível: [www.epri.com](http://www.epri.com).



ANEXO 1 - NÍVEIS DE TENSÃO NAS BARRAS PARA BAIXA TENSÃO PARA OS CENÁRIOS CONSIDERADOS

Nº	Código da Barra	C1	C2	C3	C4
1	bt_942383	1,0413	1,0424	1,0423	1,0422
2	bt_1362033	1,0338	1,0409	1,0409	1,0400
3	bt_942358	1,0405	1,0490	1,0489	1,0488
4	bt_942506	1,0407	1,0432	1,0431	1,0431
5	bt_1362131	1,0422	1,0567	1,0416	1,0566
6	bt_1362124	1,0424	1,0471	1,0355	1,0469
7	bt_1362114	1,0423	1,0450	1,0399	1,0449
8	bt_1362109	1,0419	1,0475	1,0424	1,0474
9	bt_1362117	1,0425	1,0453	1,0383	1,0452
10	bt_1362114	1,0423	1,0450	1,0399	1,0449
11	bt_1362120	1,0426	1,0455	1,0367	1,0454
12	bt_1362128	1,0423	1,0523	1,0387	1,0522
13	bt_1361874	1,0422	1,0617	1,0452	1,0615
14	bt_1375665	1,0357	1,0383	1,0382	1,0369
15	bt_2941090	1,0345	1,0380	1,0379	1,0361
16	bt_2553494	1,0347	1,0381	1,0380	1,0361
17	bt_1375739	1,0347	1,0381	1,0380	1,0357
18	bt_973487	1,0336	1,0380	1,0379	1,0360
19	bt_2553495	1,0338	1,0375	1,0374	1,0364
20	bt_1517230	1,0354	1,0398	1,0397	1,0377
21	bt_1358603	1,0302	1,0384	1,0383	1,0365
22	bt_1358606	1,0297	1,0379	1,0378	1,0360
23	bt_1358600	1,0311	1,0380	1,0379	1,0360
24	bt_1375661	1,0363	1,0390	1,0389	1,0384
25	bt_1517228	1,0342	1,0389	1,0388	1,0380
26	bt_1358597	1,0343	1,0393	1,0392	1,0389
27	bt_1412532	1,0343	1,0399	1,0398	1,0396
28	bt_1899253	1,0353	1,0388	1,0387	1,0384
29	bt_1899251	1,0383	1,0415	1,0414	1,0412
30	bt_1517222	1,0342	1,0387	1,0386	1,0383
31	bt_1899243	1,0385	1,0411	1,0410	1,0408
32	bt_1899245	1,0383	1,0414	1,0413	1,0411
33	bt_2941089	1,0364	1,0387	1,0386	1,0383
34	bt_1362013	1,0361	1,0384	1,0383	1,0381
35	bt_1899241	1,0372	1,0396	1,0395	1,0393
36	bt_1362010	1,0355	1,0378	1,0377	1,0374
37	bt_1375742	1,0363	1,0384	1,0383	1,0380
38	bt_1362007	1,0344	1,0367	1,0366	1,0364
39	bt_1362003	1,0344	1,0367	1,0366	1,0364
40	bt_1899247	1,0383	1,0414	1,0413	1,0411
41	bt_1899249	1,0383	1,0414	1,0413	1,0411

Nº	Código da Barra	C1	C2	C3	C4
42	bt_1375749	1,0384	1,0420	1,0419	1,0417
43	bt_1358651	1,0377	1,0405	1,0404	1,0403
44	bt_1517213	1,0368	1,0402	1,0401	1,0400
45	bt_1517218	1,0354	1,0405	1,0404	1,0403
46	bt_1517220	1,0354	1,0405	1,0404	1,0403
47	bt_1517215	1,0357	1,0402	1,0401	1,0400
48	bt_1870552	1,0360	1,0400	1,0399	1,0398
49	bt_1517211	1,0356	1,0398	1,0397	1,0396
50	bt_1358594	1,0347	1,0410	1,0409	1,0407
51	bt_1375647	1,0359	1,0394	1,0393	1,0392
52	bt_1389617	1,0329	1,0387	1,0386	1,0385
53	bt_1375643	1,0310	1,0380	1,0379	1,0378
54	bt_1375639	1,0295	1,0375	1,0374	1,0373
55	bt_1370809	1,0362	1,0397	1,0396	1,0395
56	bt_2417768	1,0396	1,0427	1,0426	1,0425
57	bt_1517238	1,0393	1,0432	1,0431	1,0430
58	bt_1375669	1,0386	1,0435	1,0434	1,0432
59	bt_1517236	1,0386	1,0435	1,0434	1,0432
60	bt_1517240	1,0391	1,0430	1,0430	1,0428
61	bt_1375732	1,0388	1,0417	1,0416	1,0413
62	bt_973573	1,0387	1,0416	1,0415	1,0412
63	bt_1375728	1,0384	1,0413	1,0412	1,0409
64	bt_1375736	1,0387	1,0417	1,0416	1,0413
65	bt_2335334	1,0355	1,0432	1,0431	1,0389
66	bt_1358639	1,0385	1,0413	1,0412	1,0408
67	bt_973566	1,0362	1,0408	1,0407	1,0401
68	bt_973557	1,0348	1,0418	1,0417	1,0407
69	bt_1375721	1,0368	1,0408	1,0408	1,0403
70	bt_1517235	1,0362	1,0409	1,0408	1,0403
71	bt_1517232	1,0350	1,0415	1,0414	1,0408
72	bt_2941114	1,0328	1,0409	1,0408	1,0398
73	bt_1362026	1,0327	1,0414	1,0413	1,0403
74	bt_1561455	1,0325	1,0406	1,0405	1,0394
75	bt_1358633	1,0387	1,0410	1,0409	1,0406
76	bt_1517245	1,0379	1,0409	1,0409	1,0406
77	bt_1517247	1,0371	1,0412	1,0411	1,0409
78	bt_2417764	1,0371	1,0410	1,0409	1,0407
79	bt_1517249	1,0374	1,0410	1,0409	1,0408
80	bt_2553600	1,0369	1,0409	1,0408	1,0406
81	bt_1362029	1,0327	1,0409	1,0408	1,0398
82	bt_1358607	1,0382	1,0418	1,0417	1,0396

ANEXO 1 - NÍVEIS DE TENSÃO NAS BARRAS PARA BAIXA TENSÃO PARA OS CENÁRIOS CONSIDERADOS

Nº	Código da Barra	C1	C2	C3	C4
83	bt_2417767	1,0363	1,0412	1,0411	1,0391
84	bt_1517242	1,0344	1,0442	1,0441	1,0387
85	bt_2417766	1,0344	1,0452	1,0451	1,0387
86	bt_2553601	1,0366	1,0427	1,0426	1,0394
87	bt_1375718	1,0375	1,0413	1,0412	1,0410
88	bt_1517251	1,0356	1,0417	1,0416	1,0414
89	bt_1375422	1,0366	1,0422	1,0421	1,0323
90	bt_2417763	1,0354	1,0431	1,0430	1,0345
91	bt_1517253	1,0347	1,0441	1,0440	1,0365
92	bt_2417761	1,0341	1,0423	1,0422	1,0341
93	bt_1358612	1,0336	1,0430	1,0429	1,0348
94	bt_1375425	1,0374	1,0416	1,0415	1,0334
95	bt_1517257	1,0351	1,0415	1,0414	1,0334
96	bt_1375672	1,0345	1,0419	1,0418	1,0338
97	bt_1375675	1,0336	1,0437	1,0436	1,0355
98	bt_1517224	1,0362	1,0382	1,0381	1,0378
99	bt_973501	1,0339	1,0382	1,0382	1,0376
100	bt_1362019	1,0331	1,0394	1,0393	1,0387
101	bt_1362022	1,0323	1,0405	1,0404	1,0397
102	bt_1375650	1,0371	1,0404	1,0403	1,0402
103	bt_1375654	1,0368	1,0414	1,0413	1,0412
104	bt_1375658	1,0362	1,0436	1,0435	1,0434
105	bt_1358590	1,0356	1,0431	1,0430	1,0429
106	bt_1517208	1,0352	1,0421	1,0420	1,0418
107	bt_1925006	1,0377	1,0423	1,0422	1,0385
108	bt_973494	1,0358	1,0412	1,0411	1,0384
109	bt_2553496	1,0351	1,0409	1,0408	1,0386
110	bt_1358642	1,0346	1,0408	1,0407	1,0388
111	bt_2323361	1,0372	1,0418	1,0417	1,0380
112	bt_1358645	1,0372	1,0418	1,0417	1,0380
113	bt_2976987	1,0365	1,0414	1,0413	1,0383
114	bt_12527314	1,0372	1,0418	1,0417	1,0380
115	bt_12527315	1,0372	1,0418	1,0417	1,0380
116	bt_12527318	1,0372	1,0418	1,0417	1,0380
117	bt_2649054	1,0364	1,0414	1,0413	1,0383
118	bt_1517226	1,0364	1,0414	1,0413	1,0382
119	bt_12527317	1,0372	1,0418	1,0417	1,0380
120	bt_1361848	1,0416	1,0494	1,0383	1,0494
121	bt_2941051	1,0414	1,0487	1,0378	1,0486
122	bt_1509214	1,0414	1,0486	1,0377	1,0486
123	bt_1361837	1,0416	1,0580	1,0487	1,0579

Nº	Código da Barra	C1	C2	C3	C4
124	bt_2373801	1,0416	1,0580	1,0487	1,0579
125	bt_1361844	1,0419	1,0524	1,0415	1,0523
126	bt_1361840	1,0417	1,0553	1,0452	1,0552
127	bt_1929598	1,0420	1,0504	1,0390	1,0503
128	bt_1509216	1,0414	1,0487	1,0378	1,0486
129	bt_1509211	1,0414	1,0481	1,0374	1,0481
130	bt_1361858	1,0416	1,0465	1,0366	1,0465
131	bt_1361862	1,0412	1,0461	1,0361	1,0460
132	bt_1361855	1,0415	1,0471	1,0369	1,0471
133	bt_1509209	1,0411	1,0460	1,0360	1,0459
134	bt_1509207	1,0410	1,0459	1,0359	1,0458
135	bt_1361851	1,0414	1,0476	1,0371	1,0476
136	bt_2323794	1,0412	1,0461	1,0361	1,0460
137	bt_2323802	1,0411	1,0460	1,0360	1,0459
138	bt_2651258	1,0411	1,0406	1,0360	1,0459
139	bt_1883285	1,0362	1,0410	1,0409	1,0381
140	bt_2323360	1,0349	1,0389	1,0388	1,0363
141	bt_1886518	1,0350	1,0405	1,0404	1,0393
142	bt_2975778	1,0343	1,0405	1,0404	1,0392
143	bt_2554498	1,0337	1,0405	1,0404	1,0393
144	bt_1358636	1,0344	1,0406	1,0405	1,0391
145	bt_1375725	1,0343	1,0405	1,0404	1,0391
146	bt_2417765	1,0348	1,0419	1,0418	1,0408





**ALEXANDRE KLABUNDE**

**UTILIZAÇÃO DO CONTROLE VOLT/VAR COMO ALTERNATIVA PARA  
MITIGAR AS TRANSGRESSÕES DE NÍVEL DE TENSÃO ELÉTRICA EM UM  
ALIMENTADOR DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO COM ALTA PENETRAÇÃO DE  
ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Elétrica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Jaraguá do Sul, 19 de dezembro de 2022.

---

Prof. MSc. Vitor Teles Correia  
Orientador  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul – Rau

---

Prof. MSc John Jefferson Antunes Saldanha  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul – Rau

---

Prof. MSc Cristiano Venturi  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul – Rau



Datas e horários baseados no fuso horário (GMT -3:00) em Brasília, Brasil  
**Sincronizado com o NTP.br e Observatório Nacional (ON)**  
Certificado de assinatura gerado em 02/02/2023 às 13:45:53 (GMT -3:00)

TermoDeAprovacao\_TCC\_EngEletrica\_IFSC\_JGS\_RAU\_19122022\_ALEXANDRE  
KLABUNDE

 ID única do documento: #e48f610c-a773-46a8-a2bd-954ff79b985e

Hash do documento original (SHA256): 401cce60aa316e622bbf65699cbf8136f6c87558d7e24adec5e7ab01f9b041b7

Este Log é exclusivo ao documento número #e48f610c-a773-46a8-a2bd-954ff79b985e e deve ser considerado parte do mesmo, com os efeitos prescritos nos Termos de Uso.

## Assinaturas (3)

- ✓ **Vitor Teles Correia (Participante)**  
Assinou em 02/02/2023 às 10:49:43 (GMT -3:00)
- ✓ **John Jefferson Antunes Saldanha (Participante)**  
Assinou em 02/02/2023 às 11:06:12 (GMT -3:00)
- ✓ **Cristiano Venturi (Participante)**  
Assinou em 02/02/2023 às 14:50:33 (GMT -3:00)

## Histórico completo

### Data e hora

02/02/2023 às 13:49:43  
(GMT -3:00)

### Evento

Vitor Teles Correia (Autenticação: e-mail vitor.correia@ifsc.edu.br; IP: 191.36.54.145) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

02/02/2023 às 13:45:53  
(GMT -3:00)

Vitor Teles Correia solicitou as assinaturas.

**Data e hora**

02/02/2023 às 14:06:12  
(GMT -3:00)

**Evento**

John Jefferson Antunes Saldanha (Autenticação: e-mail john.saldanha@ifsc.edu.br; IP: 186.235.57.175) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

02/02/2023 às 17:50:33  
(GMT -3:00)

Cristiano Venturi (Autenticação: e-mail cristiano.venturi@ifsc.edu.br; IP: 177.221.52.168) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.