

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Daniel Goulart Lewandowski

**ANÁLISE DO IMPACTO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NA REDE DE  
DISTRIBUIÇÃO**

Santa Maria, RS  
2023

Daniel Goulart Lewandowski

**ANÁLISE DO IMPACTO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NA REDE DE  
DISTRIBUIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Elétrica da Universidade Federal de Santa  
Maria (UFSM, RS), como requisito parcial  
para obtenção do grau de Engenheiro  
Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Sperandio

Santa Maria, RS

2023

**Daniel Goulart Lewandowski**

**ANÁLISE DO IMPACTO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NA REDE DE  
DISTRIBUIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

**Aprovado em**

---

**Mauricio Sperandio, Dr. (UFSM)**  
(Orientador)

---

**Leonardo Nogueira Fontoura, Dr. (UFSM)**

---

**Marcelo Bruno Capeletti, Me. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Luciana Santos Goulart e Dairton Ramos Lewandowski, pelo amor, carinho, dedicação e apoio ao longo da vida e que me proporcionaram a oportunidade de cursar essa faculdade.

Agradeço também ao meu cachorro Thor e gatos Furiosa e Batman, pelos momentos de lazer e descanso.

Agradeço ao Professor Mauricio Sperandio e ao Doutorando Gustavo De Lazari pelo auxílio, atenção e paciência que permitiram a execução desse trabalho.

Também um agradecimento a todos professores que tive durante a graduação, que passaram conhecimento e lições para a vida tanto profissional quanto pessoal e possibilitaram a conclusão do curso.

Um agradecimento aos colegas e amigos que fiz durante o curso onde dividimos alegrias e sofrimentos.

Videogames. Televisão. Mangás. Filmes.  
No mundo havia um monte de coisas bem  
legais. Tudo isso foi graças ao progresso  
da ciência. Chamava-se entretenimento.  
(Riichiro Iganaki, Dr Stone vol 7, 2019)

## RESUMO

### ANÁLISE DO IMPACTO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

AUTOR: Daniel Goulart Lewandowski

ORIENTADOR: Maurício Sperandio

Atualmente tem sido verificado um crescimento no número de unidades de geração distribuída, principalmente de painéis fotovoltaicos, em consumidores ligados a rede de baixa tensão. Esse crescimento altera o funcionamento do sistema elétrico de potência. Assim, nesse trabalho foi feito um estudo visando analisar alguns desses impactos e demonstrar através de fluxo de potência, simulado no programa OpenDSS, os resultados dessas alterações. Para isso foi feita uma revisão dos efeitos que a geração distribuída terá na rede elétrica, assim como sua condição atual. Após isso, foi feita a simulação no programa OpenDSS. Esse simulador foi utilizado devido a utilizar o método QSTS, onde são analisadas transações de estado assim como o efeito de dispositivos de controle, estes quase sempre presentes em fontes de geração distribuída; as simulações mostraram os comportamentos do sistema elétrico com e sem geração distribuída. A partir desses resultados análises qualitativas dos efeitos foram estudadas.

**Palavras-Chave:** Geração distribuída, rede de baixa tensão, OpenDSS.

## ABSTRACT

### ANÁLISE DO IMPACTO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

AUTHOR: Daniel Goulart Lewandowski

ADVISER: Maurício Sperandio

Currently there has been a growth in the number of distributed generation units, mainly photovoltaic panels, in consumers connected to the low voltage grid, this growth alters the functioning of the electrical power system. Thus, in this work a study was carried out in order to analyze some of these impacts and demonstrate through power flow, simulated in the OpenDSS program, the results of these changes. For this, a review was made of the effects that distributed generation will have on the electrical grid, as well as its current condition. After that, the simulation was made in the OpenDSS program, this simulator was used due to using the QSTS method, where state transactions are analyzed as well as the effect of control devices, these almost always present in distributed generation sources; the simulations showed the behaviors of the electrical system with and without distributed generation. From the results, a quantitative analyze was made of the effect was made.

**Keywords:** Distributed Generation, Low Voltage Grid, OpenDSS.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Casa com instalação de painéis fotovoltaicos.....	14
FIGURA 2 – Sistema Elétrico de Potência.....	17
FIGURA 3 – Sistema elétrico de Potência com Geração Distribuída.....	18
FIGURA 4 – Perfil de tensão de alimentadores com GDFV.....	19
FIGURA 5 – Curva de carga de um consumidor residencial.....	22
FIGURA 6 – Curva de carga de um consumidor Comercial.....	23
FIGURA 7 – Curvas de cargas de consumidores Industriais.....	23
FIGURA 8 – Curva do Sistema de iluminação pública.....	24
FIGURA 9 – Exemplo de curva de geração fotovoltaica.....	25
FIGURA 10 – Fluxograma da metodologia.....	26
FIGURA 10 – Script da simulação no OpenDSS.....	28
FIGURA 11 – Diagrama da rede de distribuição.....	33
FIGURA 12 – Perfil de Tensão do alimentador sem GD.....	34
FIGURA 13 – Perfil de Tensão do Alimentador com GD.....	34
FIGURA 14 – Amostra de Fluxo de potência.....	35

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Amostra de dados das medições do sistema sem GDs.....	29
QUADRO 2 – Amostra de dados das medições do sistema com GDs.....	29
QUADRO 3 – Amostra da diferença dos dados entre medições sem e com GD.....	30
QUADRO 4 – Resumo dos resultados.....	31

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABGD	Associação Brasileira de Geração Distribuída
GD	Geração Distribuída
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OpenDSS	Simulador de Sistema Distribuídos de Código Aberto
pu	Por Unidade
SEP	Sistema Elétrico de Potência

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	14
1.2 OBJETIVOS .....	15
<b>1.2.1 Objetivos gerais</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 GERAÇÃO <i>DISTRIBUÍDA</i> E O SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA.....	17
2.2 IMPACTOS DA GERAÇÃO <i>DISRIBUÍDA</i> NA REDE ELÉTRICA .....	19
<b>2.2.1 Impactos no perfil de tensão de alimentadores</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.2 Impacto nas perdas na rede de distribuição</b> .....	<b>20</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
3.1 FLUXO DE POTÊNCIA .....	22
3.2 CURVAS DE CARGA.....	23
<b>3.2.1 Irradiação solar e curva de geração fotovoltaica</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2.2 Uso na simulação</b> .....	<b>27</b>
3.3 OPENDSS.....	27
<b>3.3.1 Quasi-static time-series (QSTS)</b> .....	<b><u>28</u></b>
<b>4 SIMULAÇÃO E RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
4.1 SIMULAÇÃO .....	29
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	<b><u>31</u></b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b><u>38</u></b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b><u>39</u></b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um dos principais recursos do mundo atual, permitindo o funcionamento de indústrias, residências e comércio. O desenvolvimento e crescimento de uma sociedade e economia também estão diretamente ligados a energia, uma vez que quanto mais elas crescem maior a quantidade necessária de energia para sustentar esse crescimento.

Atualmente o uso de geração distribuída mostrou-se como uma solução para a crescente demanda por energia. Nesse caso o consumidor tem seu próprio gerador em casa e o excedente de energia gerado pode ser armazenado ou injetado na rede de distribuição, contribuindo assim para uma diminuição da demanda dos grandes geradores centrais.

O sol é considerado como uma fonte perene, silenciosa, gratuita e não poluente de energia, além de ser responsável pela manutenção da vida no planeta. Seu uso pode ser direto ou indireto (FARRET, 2010). Além disso, tem um amplo alcance de utilização uma vez abrange toda a superfície do planeta e é uma fonte com duração praticamente infinita.

A energia solar pode ser utilizada para se obter energia térmica e elétrica. No primeiro modo é principalmente utilizada em aquecimento de água para uso residencial ou industrial. Também é utilizada para gerar vapor e então energia elétrica através de turbinas a vapor. A segunda forma emprega a conversão fotovoltaica, que consiste na geração direta de energia elétrica através da radiação solar recebida em uma célula fotovoltaica (DA SILVEIRA, 2013).

A utilização de energia solar teve origem em 1839 por Alexandre Edmond Becquerel que observou o efeito fotovoltaico enquanto realizava experiências eletroquímicas. Em 1877, William Adams e Richard Day criaram o primeiro dispositivo de produção de eletricidade, com eficiência de 0,55% e, em 1941, Russel Ohl desenvolveu a primeira célula fotovoltaica de silício, material usado até hoje (ZILLES, 2012).

A tecnologia fotovoltaica converte a luz do sol em eletricidade através das células fotovoltaicas. Os principais tipos de células fotovoltaicas são as feitas de silício. Estas células, quando interligadas, dão origem aos módulos fotovoltaicos, que no seu conjunto, formam os painéis fotovoltaicos. Além dos painéis, fazem parte dos

sistemas fotovoltaicos, os inversores e medidores de energia (HEIDEIER, R. et al., 2020).

A energia solar fotovoltaica tem como vantagens a ausência de poluição durante a geração, a ausência de partes móveis, a reduzida manutenção e o tempo de vida elevado (25 anos). A principal aplicação da energia fotovoltaica é a sua integração em edifícios, como mostra a Figura 1, instalados em coberturas. Esta aplicação representa reduções tanto dos custos construtivos como energéticos. A energia gerada desta forma serve não só para satisfazer os consumos do edifício, mas também para fornecer a energia produzida à rede, caso exceda o consumo (DE SOUZA, 2012).

A geração de energia solar tem se tornado cada vez mais comum no Brasil. Entre janeiro e junho de 2022, houve um aumento de 30% de gigawatts instalados em relação ao segundo semestre de 2021 (SENNÁ, 2022). Ao final de 2022, a potência instalada no sistema dobrou, passando de 8,5 GW em dezembro de 2021 para 17 GW em dezembro de 2022. O Brasil deve manter o crescimento acentuado nesse segmento em 2023 (CANAL SOLAR, 2023).

A expectativa, divulgada pela ABGD (Associação Brasileira de Geração Distribuída), é que o setor acrescente cerca de 8 GW de potência instalada. A previsão foi anunciada durante participação dos executivos da entidade no Energyyear Brasil 2023, realizado nos dias 8 e 9 de fevereiro em São Paulo. O presidente da ABGD, destacou durante o painel que o Brasil deve colocar cerca de 8 GW em potência de GD em 2023 e terá um cenário de crescimento muito parecido com o que foi no ano de 2022 (CANAL SOLAR, 2023).

Figura 1: Casa com instalação de painéis fotovoltaicos



Fonte: Portal Solar

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Os sistemas de geração fotovoltaica, que utilizam a energia da irradiação solar, são uma fonte limpa, silenciosa e de fácil instalação. Com uma viabilidade econômica bastante interessante, a fonte solar atingiu a marca de 18 GW em operação no Brasil na geração distribuída (GD) em março de 2023, conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). A modalidade, que permite que consumidores brasileiros produzam a própria energia elétrica, soma 1,72 milhão de sistemas fotovoltaicos.

Com a difusão cada vez maior, a rede de distribuição, que não foi planejada para receber esses sistemas, começa a apresentar alterações seu comportamento. Portanto, estudos nessa área têm sido feitos de modo a mitigar seus impactos e melhorar sua utilização para o sistema elétrico.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivos gerais

Esse trabalho busca pontuar os impactos da adição de geração distribuída em uma rede de distribuição e, através de uma simulação no OpenDSS, buscará quantificar esses impactos com relação a: efeitos nos níveis de tensão, perdas na rede e na demanda do alimentador principal.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para realizar o objetivo desse trabalho certos pontos específicos foram procurados como:

- Realizar uma revisão bibliográfica de modo a preparar uma noção de quais seriam as consequências da adição de geração distribuída na rede.
- Detalhes sobre a metodologia utilizada de forma a compreender melhor o meio de obtenção e obtenção dos resultados.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho foi preparado em cinco capítulos, o primeiro capítulo trata da introdução do trabalho, justificativas e objetivo, assim como a organização do mesmo.

No segundo foi feito um estudo sobre geração distribuída, e foram pontuadas suas consequências, desenvolvimento e o cenário atual de seu uso.

O terceiro apresenta a metodologia, onde foram pontuados itens pertinentes ao fluxo de potência e curvas de cargas, ambas utilizadas para realização da simulação e de suma importância para estudos do sistema elétrico de potência, também foi apresentada uma breve descrição do simulador OpenDSS utilizado para realização do estudo presente neste trabalho.

O quarto capítulo apresenta a simulação onde foram feitos dois fluxos de potência de modo a se obter os diferentes comportamentos do SEP, com e sem GDS.

No quinto e último está presente a conclusão deste trabalho, onde foram relatadas a informações obtidas e aprendidas no desenvolvimento deste trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Geração distribuída é o termo dado à energia elétrica gerada no local de consumo ou próximo a ele, sendo válida para diversas fontes de energia renováveis, como a energia solar, eólica e hídrica (PORTAL SOLAR, 2014).

No Brasil, a definição de geração distribuída é feita pelo Artigo 14 do Decreto-Lei n.º 5.163 de 2004: “Considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador...” (gov.br).

Com base no artigo citado, a geração distribuída é qualquer produção de energia local que se encontre ligada diretamente as unidades consumidoras, podendo vir de diversas fontes como: energia fotovoltaica, eólica, pequena geração hidrelétrica, geradores próprios movidos a combustíveis como: diesel e gasolina.

Elas trazem vantagens para o sistema elétrico como (Siemens):

- A construção de sistemas de energia distribuída permite o abastecimento de energia para populações isoladas uma vez que não necessitam de grandes redes para entrega de energia.
- Permitem a preservação do meio ambiente. Por ter um tamanho compacto e usar de fontes de recursos renováveis, naturais como a luz solar, vento e rios de menor capacidade, esses sistemas não agredem o meio ambiente e não emitem poluentes.
- Criam maior confiabilidade na rede elétrica, uma vez que aumentam a potência disponível.
- Apesar do investimento para instalação de geração distribuída ser alto, ela requer pouca manutenção e opera sozinha, além disso, a energia excedente ao consumo pode ser injetada na rede, gerando um desconto na conta de energia.

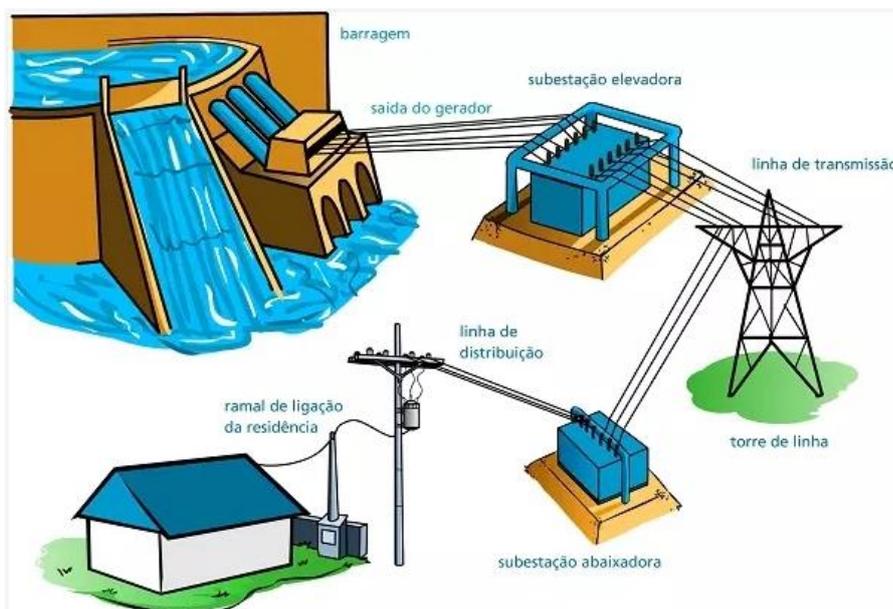
### 2.1 GERAÇÃO *DISTRIBUÍDA* E O SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

O sistema elétrico de potência (SEP) é composto por centrais geradoras, linhas de transmissão que interligam estas centrais ao sistema de distribuição e por sua vez

*subdivide* a energia produzida para a carga demandada. As linhas de transmissão se *subdividem* em transmissão e subtransmissão, classificados desta forma pelos níveis de tensão que transmitem. O montante de energia elétrica gerado é distribuído para os centros de carga (GONÇALVES et al., 2016).

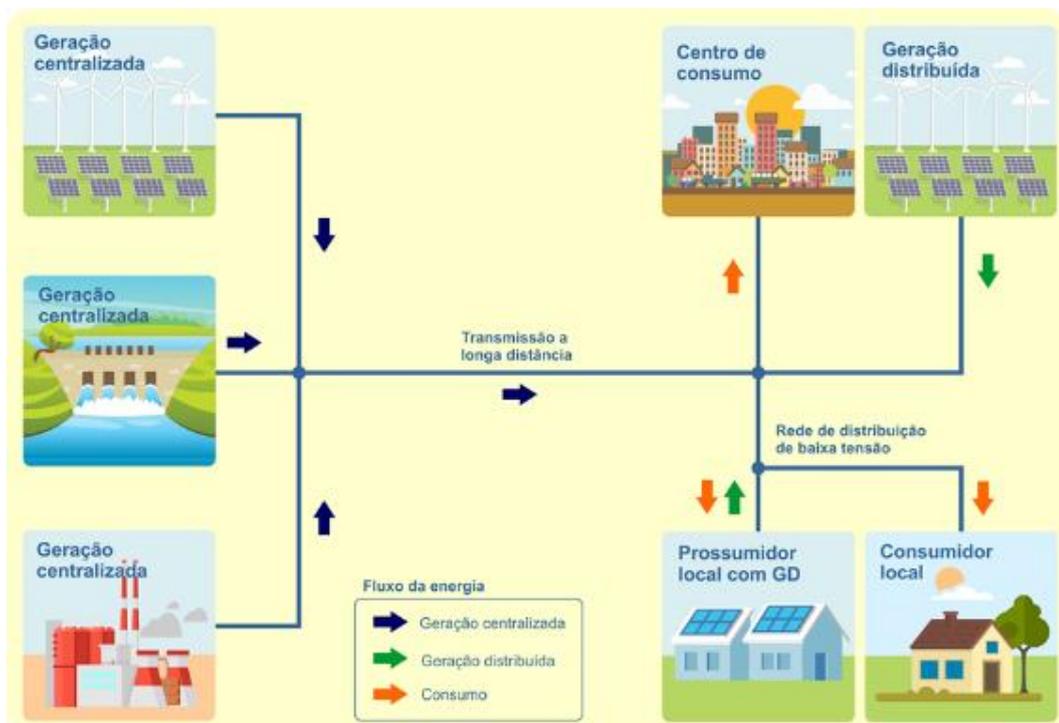
A adição em larga escala de GDs muda o entendimento e operação do SEP drasticamente, onde antes se tinha um sistema centralizado e unidirecional, agora tem-se um sistema bidirecional, onde as cargas também operam como geradores, alterando o fluxo de potência na rede de distribuição. A Figura 2 mostra o SEP centralizado, onde a energia é gerada em uma grande instalação e transmitida até os centros urbanos e a Figura 3 mostra o SEP com adição de GDs onde existem consumidores com geradores próprios assim como instalação de geração próxima a centros urbanos.

Figura 2: Sistema Elétrico de Potência



Fonte: Mundo da elétrica

Figura 3: Sistema elétrico de Potência com Geração Distribuída



Fonte: Canal Solar

A expansão da GD contribui, dentre vários aspectos, para a diversificação da matriz energética, para o abastecimento local das cargas, e para um maior apreço a sustentabilidade (KUMAWAT et al., 2017). Todavia, o seu crescimento reflete diretamente na operação e planejamento das redes elétricas e na regulação e precificação do fluxo de energia, trazendo maior complexidade ao SEP e novos desafios às concessionárias que as abrigam (CÂMARA, 2017; PICCIARIELLO, ALVEHAG, SODER, 2015).

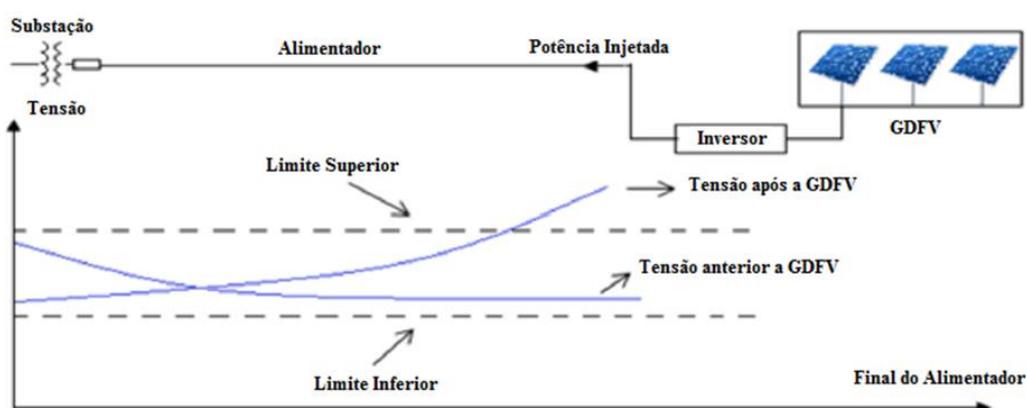
## 2.2 IMPACTOS DA GERAÇÃO *DISRIBUÍDA* NA REDE ELÉTRICA

A inserção de geração distribuída na rede altera o funcionamento no SEP, tanto de maneira positiva (maior confiabilidade na rede, mais potência disponível, diversidade na matriz energética), como negativa (sobretensões em alimentadores, injeção de harmônicos); nesse trabalho serão mostradas algumas dessas consequências através de simulações.

### 2.2.1 Impactos no perfil de tensão de alimentadores

A instalação de geração distribuídas em unidades consumidoras, muitas vezes, acarreta no fluxo reverso de energia; isso ocorre quando a produção de energia é superior ao consumo e devido à falta de controle ou ferramentas de armazenamento a energia excedente é injetada na rede elétrica.

Figura 4: Perfil de tensão de alimentadores com GDFV



Fonte: Adaptado de (RIBEIRO et al., 2020).

A Figura 4 mostra o perfil de tensão de um alimentador em operação normal e com instalação de geração distribuída fotovoltaica (GDFV), é possível observar a mudança de comportamento na curva do alimentador, isso ocorre devido a diminuição da queda de tensão ao longo da rede devido a inserção de GDs, podendo causar sobretensão na rede caso a potência gerada supere a demanda do alimentador (Almeida,2017).

### 2.2.2 Impacto nas perdas na rede de distribuição

Foi realizado um estudo sobre os impactos causados pela geração distribuída fotovoltaica em sistemas reais de baixa tensão pertencentes a distribuidora de Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc). Os resultados mostraram alterações nos níveis de tensão nos alimentadores e no perfil das perdas técnicas, dependendo da potência de geração instalada. Foi verificado que a geração distribuída fotovoltaica

contribui para reduzir as perdas técnicas até um determinado limite de penetração, passando posteriormente a incrementá-las, os valores observados para diferentes alimentadores variam entre 50% a 90% de inserção (DJAMBOLAKDJIAN, 2022).

### 3 METODOLOGIA

Para se determinar o efeito de alterações no sistema elétrico de potência, utiliza-se o fluxo de potência, onde diversas iterações são feitas de modo a se chegar ao resultado que demonstrará os efeitos da alteração no sistema, no caso desse trabalho, a adição de geração distribuída nos consumidores de baixa tensão.

Nesse trabalho foi utilizado o programa OpenDSS, nele foram realizados dois fluxos de potência, primeiro foi testado o fluxo de potência sem geração distribuída para se obter o comportamento padrão do SEP, após isso um novo fluxo foi realizado com a adição de 60 GDs ligadas em consumidores de BT (1,16% do total de cargas ligadas em BT). As cargas foram escolhidas aleatoriamente, e os geradores instalados foram dimensionados de forma que sua maior entrega de potência fosse igual ao pico de consumo da carga.

Para a criação do fluxo de potência, foram utilizadas curvas de cargas com um período de um ano (foram utilizados multiplicadores de forma a aumentar a demanda no inverno e finais de semana e diminuir no verão e em dias úteis) e geradores que operem com base na curva de geração fotovoltaica (Figura 9) de modo a criar o efeito de painéis fotovoltaicos. O fluxo de potência entregará resultados com tempo de um ano, fornecendo os dados de cada hora.

Para a avaliação quanto a subtensão e sobretensão, foram utilizados os critérios estabelecidos pela ONS(Operador Nacional Elétrico), onde o limite máximo de operação é 1,05p.u e o mínimo de 0,95p.u, qualquer tensão acima dessa faixa (0,95p.u) caracteriza-se como sobretensão, e qualquer tensão abaixo dos 0,95 irá ser subtensão (ONS).

#### 3.1 FLUXO DE POTÊNCIA

A análise do fluxo de cargas, ou fluxo de potência, é de fundamental importância para entender o comportamento do sistema elétrico de potência. Ela é uma ferramenta muito relevante para análises de expansão e estudos de situações de falhas em componentes e geradores, auxiliando na identificação da necessidade de expansão do sistema ou de readequação do arranjo. Ainda, ajuda a entender os impactos de novas fontes ou de grandes cargas no sistema atual (DA SILVEIRA, MARTIN, CUKLA, 2022).

Devido à complexidade do sistema elétrico de distribuição (não linearidade, número de variáveis, número de equações) os cálculos de fluxo de potência, em sua maioria, utilizam métodos iterativos (como: Newton-Raphson e Gauss-Seidel) para serem resolvidos, muitas vezes requerendo várias iterações até a convergência do resultado. Por isso torna-se necessário o uso de programas para auxiliar a resolução de fluxos de potência. Programas como o ANAREDE e OpenDSS geralmente são utilizados para resoluções em redes elétricas de distribuição e transmissão.

O fluxo de potência determina certos parâmetros, como:

- Fluxo de potência ativa e reativa;
- Tensões nos barramentos;
- Tap de transformadores;
- Perdas no sistema;
- Dimensionamento de equipamentos;
- Carregamento de equipamentos;
- Desempenho sob cargas e mínimas;
- Desempenho sob contingências.

Com esses dados pode-se comparar dois fluxos de potência (a menos que já se tenha os dados de operação normal do circuito), onde um deles mostra a operação normal do circuito e outro a operação de circuito com a mudança desejada: curto-circuito, adição de geradores, remoção de transformadores, adição de cargas, etc.

### 3.2 CURVAS DE CARGA

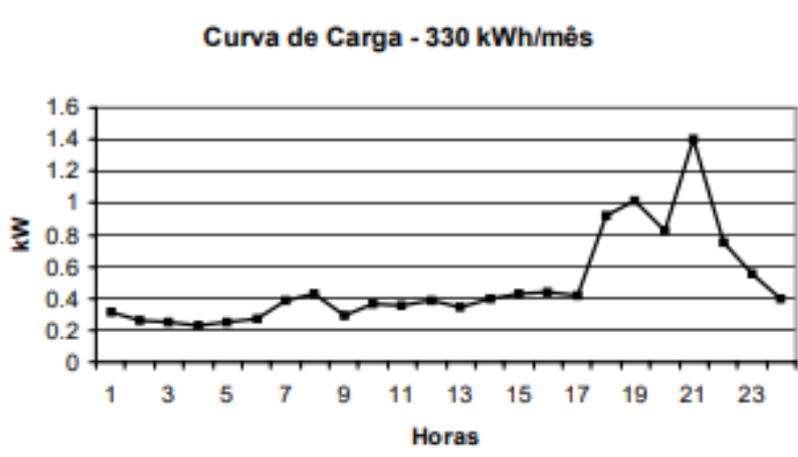
O perfil de consumo da energia elétrica varia dependendo do momento do dia, estação do ano, do tipo de consumidor. Essa mudança constante de comportamento leva a criação de perfis elétricos, que demonstram ao longo de um período de análise quando a carga tem seus períodos de demanda máxima e mínima. Esses perfis ajudam no planejamento do sistema de distribuição, permitindo um melhor aproveitamento do SEP.

Os sistemas de distribuição apresentam vários tipos de conexão na rede elétrica, isso é consequência da grande quantidade de diferentes perfis de cargas. Estes tipos de cargas podem ser caracterizados como: *residência*, comerciais,

industriais, rurais, iluminação pública e serviço público. Cada um destes perfis apresenta uma necessidade diferente de potência para funcionar (LUCCHESI, 2016).

A curva de carga de um consumidor residencial caracteriza-se por um consumo praticamente constante durante parte do dia, com um aumento no fim da tarde e um pico de demanda, provocado pelo uso de equipamentos de maior potência, como chuveiros e ar condicionados (entre 18h e 21h). Na Figura 5 é mostrada a curva de carga de um dia útil de um consumidor real (FRANCISQUINI, 2006).

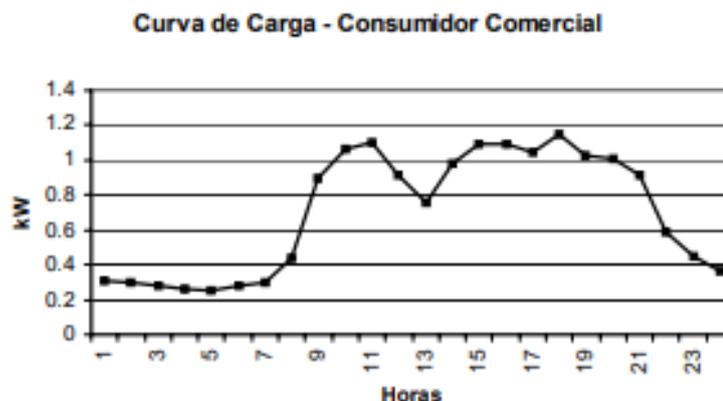
Figura 5: Curva de carga de um consumidor residencial



Fonte: Francisquini, 2006

A curva de carga de consumidores comerciais é caracterizada por ter uma demanda durante o horário comercial (entre as 8h e 18h) com um leve declínio no horário de almoço. Fora do horário comercial a demanda desses consumidores é praticamente para iluminação e refrigeração. Um exemplo de curva de carga para um consumidor comercial real é mostrado na Figura 6 (FRANCISQUINI, 2006).

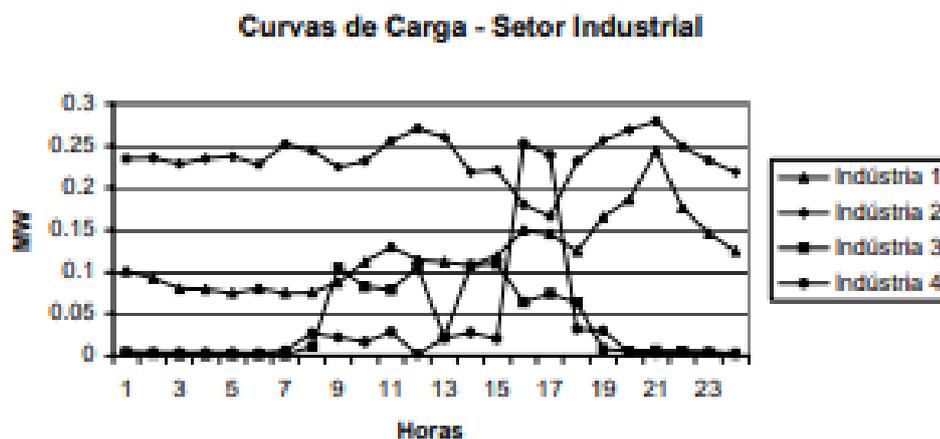
Figura 6: Curva de carga de um consumidor Comercial



Fonte: Francisquini, 2006

Devido a uma enorme variação de atividades do setor industrial, as curvas representativas apresentam grande variedade, não possuindo um perfil padrão. A Figura 7 mostra a mescla de alguns modelos (FRANCISQUINI, 2006).

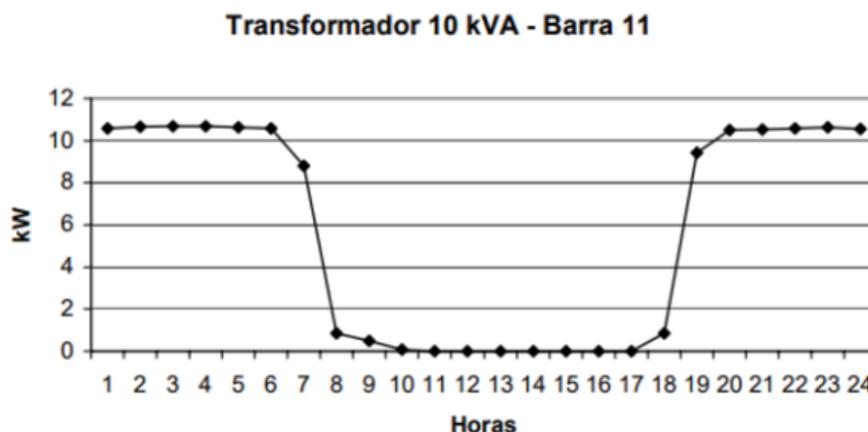
Figura 7: Curvas de cargas de consumidores Industriais



Fonte: Francisquini, 2006

O sistema de iluminação pública *apresenta* uma curva constante e simples, *apresenta* demanda apenas nos horários noturnos (entre as 19h e 7h, podendo variar conforme a estação do ano), a Figura 8 mostra esse comportamento.

Figura 8: Curva do Sistema de iluminação publica



Fonte: SEUNIPRO

### 3.2.1 Irradiação solar e curva de geração fotovoltaica

Radiação solar é a energia liberada pelo Sol, principalmente sob forma de ondas eletromagnéticas, dos quais mais de 50% chega à superfície. Parte da radiação é vista em forma de luz, outra parte foge do espectro de percepção visual, porém os efeitos são sentidos, principalmente raios infravermelhos (IV) e os ultravioletas (UV) (QUANTUM ENGENHARIA, 2017).

Irradiação é a propagação de energia sem a necessidade de meio material, que atinge uma determinada área em um intervalo de tempo, normalmente medida em watt hora por metro quadrado ( $Wh/m^2$ ). No caso da energia solar, a irradiação é a energia utilizada pelos módulos fotovoltaicos para a geração de energia elétrica. Essa irradiação varia ao longo do dia e dos meses do ano, de acordo com o movimento do sol em relação à posição do módulo, bem como com as interferências atmosféricas, principalmente das nuvens.

A Figura 9 mostra uma curva de como seria uma geração próxima a 100% de aproveitamento, onde nos horários de maior irradiação (entre as 10h e 14h) acontece também a maior geração. Nesses horários também poderá ocorrer de a produção ser superior ao consumo, fazendo com que esse excedente seja injetado na rede, ou armazenado pelo proprietário da fonte se este tiver dispositivos para isso.

Figura 9: Exemplo de curva de geração fotovoltaica



Fonte: BlueSol

### 3.2.2 Uso na simulação

Como foi demonstrado nesse item, as curvas de carga e de irradiação variam com o tempo; por isso a análise QSTS se torna necessária, uma vez ela irá realizar a simulação hora a hora e somar os efeitos dessa variação temporal, permitindo então um estudo detalhado de cada ponto da simulação e permitirá uma melhor análise dos dados desejados para esse trabalho, como: contribuição da GD no consumo de energia, injeção de potência na rede, efeito nas perdas.

### 3.3 OPENDSS

O OpenDSS é um simulador do sistema elétrico de distribuição (Electric Power Distribution System Simulator), foi desenvolvido em 1997 com o propósito de calcular o tempo e local de impactos causados pela integração de geração distribuída na rede elétrica introduzindo o conceito de análise Quasi-Static Time-Series (QSTS) (EPRI, 2022).

### 3.3.1 Quasi-static time-series (QSTS)

QSTS resolve uma série de fluxos de potência de estado estável onde a solução (que apresentou convergência) de cada iteração é usado como ponto inicial da próxima. Isso permite o registro de parâmetros que variam e dependem do tempo, como: cargas, reguladores, certos equipamentos de controle (BRODERICK, 2022).

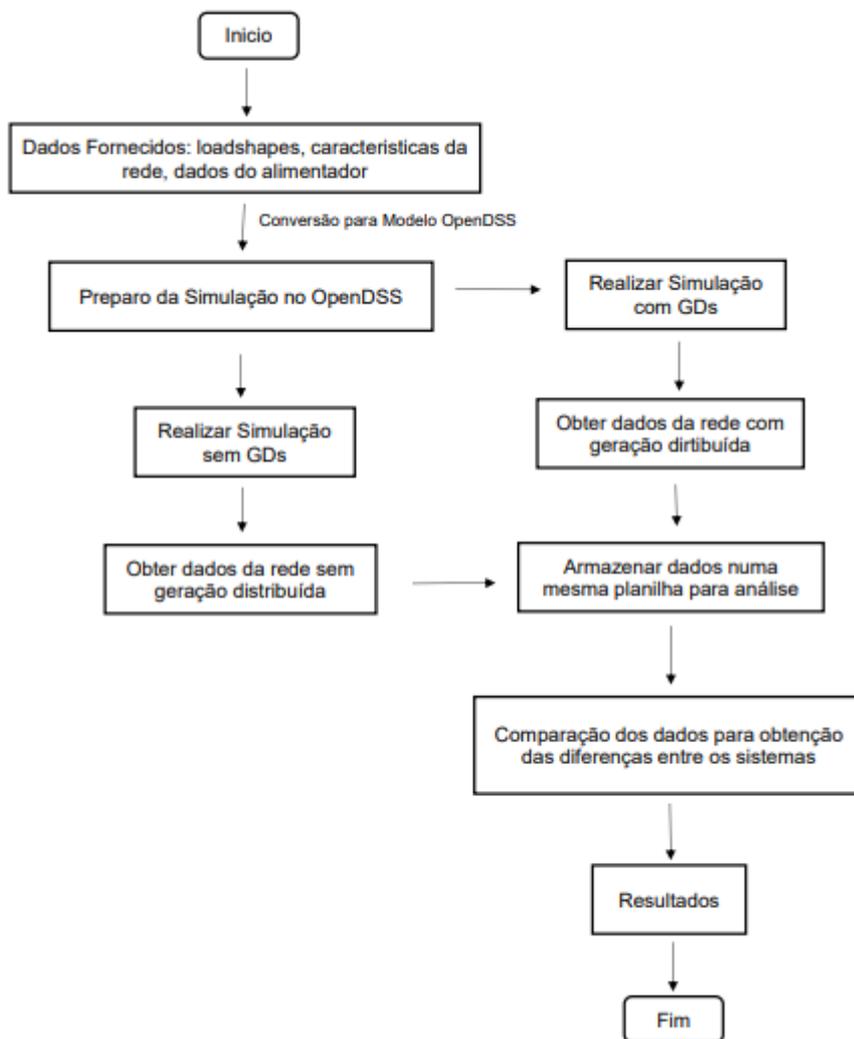
Uma simulação QSTS é feita como uma *série-temporal* permitindo registrar cada estado de controles dependentes do tempo, isso ajuda no entendimento do impacto que fontes de geração distribuída terão na rede.

O uso de simulações QSTS oferece certas vantagens:

- Análises não são limitadas a períodos específicos de tempo, o que auxilia em estudos com Geração distribuída.
- Permite o estudo de algoritmos e equipamentos de controle, como inversores.
- Simula impactos de variação de tensão como os causados por equipamentos de geração própria.
- Determina a duração de condições extremas como um consumidor com sobretensão ou um condutor em sobrecarga.

Com a análise *série-temporal* tem-se um entendimento melhor do comportamento de reguladores de tensão o que permite determinar com mais exatidão o efeito de gerações distribuídas nesses equipamentos.

Figura 10: Fluxograma da metodologia




---

Fonte: Autor

## 4 SIMULAÇÃO E RESULTADOS

### 4.1 SIMULAÇÃO

A simulação da Figura 11, mostra o código utilizado para realizar o fluxo de potência com GD; o mesmo código foi utilizado para realizar o fluxo sem GD, para isso foram removidas as linhas de *redirect* que se referiam aos geradores; para se ter

uma noção dos impactos a simulação foi realizada com um período de 1 ano (8760 horas).

Nessa simulação foram adicionados 60 geradores fotovoltaicos em consumidores, esses geradores foram modelados de modo que se sua utilização for 100% irá equivaler a demanda máxima do consumidor.

O comando *redirect* executa os outros arquivos de simulação do OpenDSS e opera todos numa única simulação, foram utilizados para criar o circuito de rede de distribuição de um alimentador.

As principais funções utilizadas para realização da simulação foram:

- **Loadshapes MT e BT:** representam as curvas de carga de consumidores de Média e Baixa tensão ao longo de 1 ano. As curvas foram baseadas nos tipos de consumidores, descrito no item 3.2, sendo aplicado multiplicadores de forma a gerar o efeito de sazonalidade no comportamento das cargas.
- **PV\_anual\_1h\_Podal e Geradores:** cria o perfil de geração de energia dos geradores baseado no perfil de índice de geração solar, descrito no item 3.2.1., dessa forma os geradores tem um perfil de geração próximo ao de painéis solares reais. Foram aplicados multiplicadores de forma a se obter o efeito de sazonalidade, no entanto, no caso dos painéis, isso não é tão preciso, uma vez que podem ocorrer momentos em que a geração é zero e não apenas reduzida.
- **Cargas MT e BT:** Define o modelo da carga como: ligação, tensão, potência e número de fases. São modeladas com as *loadshapes* para criar os pontos de demanda ao longo de 1 ano.
- **Medidores:** efetua as medições do alimentador e fornece os dados para planilhas e gráficos.

Figura 11: Script da simulação no OpenDSS

```

! Criação da seção do arquivo master
Clear
Redirect 'CircuitoMT_5707_CGU_5_-----1-----.dss'
Redirect 'CodCondutor_5707_CGU_5_-----1-----.dss'
Redirect 'LoadshapesMT_5707_CGU_5_.dss'
Redirect 'LoadshapesBT_5707_CGU_5_.dss'
Redirect 'ChavesMT_5707_CGU_5_-----1-----.dss'
Redirect 'SegmentosMT_5707_CGU_5_-----1-----.dss'
Redirect 'TransformadorMTMTMTBT_5707_CGU_5_-----1-----.dss'
Redirect 'SegmentosBT_5707_CGU_5_-----1-----.dss'
Redirect 'RamaisBT_5707_CGU_5_-----1-----.dss'
Redirect 'Medidores_5707_CGU_5_-----1-----.dss'
Redirect 'CargasMT_5707_CGU_5_-----1-----.dss'
Redirect 'CargasBT_5707_CGU_5_-----1-----.dss'
Redirect 'Tensoesbase_5707_CGU_5_-----1-----.dss'
Redirect 'PV_anual_1h_Podal.dss'
Buscoords cgu_5_gis_mt.dss

Set Casename=Master
Set overloadreport=true
Set voltexcept=true
set demandinterval=true
set DIVerbose=true

!Redirect 'Geradores_1.dss'
!Redirect 'Geradores_2.dss'
!Redirect 'Geradores_3.dss'

Set mode=yearly number=8760
Set year=1

Solve
CloseDI

```

Fonte: Autor

## 4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Comparando os resultados das simulações tem-se os impactos que a GD causará na rede de distribuição do estudo de caso. As análises foram feitas com base nas 8760 horas criados pela simulação, entretanto devido a quantidade de pontos criados os quadros contaram com uma amostra de 24h (das 0h até 24h) do terceiro dia simulado, no caso dia 03/01, sendo considerado um dia útil no cenário simulado.

Quadro 1: Amostra de dados das medições do sistema sem GDs

Hora	Energia Fornecida (kWh)	Perdas (kWh)	Subtensões em BT	Sobretensões em BT
1	778,261	32,87865687	91	0
2	706,9336	30,73938409	16	0
3	639,1139	28,65730516	0	0
4	608,0689	27,80189561	0	0
5	605,8966	27,69833907	0	0
6	595,1492	27,45811731	0	0
7	582,2645	27,14558302	0	0
8	635,3722	28,3578549	3	0
9	660,0528	29,01066884	6	0
10	723,3871	30,66708574	65	0
11	813,3977	33,39476536	105	0
12	907,9416	36,85821157	167	0
13	825,8522	34,0597056	109	0
14	832,2053	34,08275988	114	0
15	783,6759	32,41289897	85	0
16	823,0168	33,88481238	113	0
17	791,9643	32,88629854	53	0
18	852,8211	34,97086759	123	0
19	1009,075	41,7620786	518	0
20	992,5767	41,33042024	504	0
21	1021,133	42,77384061	667	0
22	993,6562	41,63652605	625	0
23	935,0388	38,7651581	465	0
24	838,2635	34,98927251	186	0

Fonte: Autor

Quadro 2: Amostra de dados das medições do sistema com GDs (Continua)

Hora	Energia Fornecida (kWh)	Perdas (kWh)	Subtensões em BT	Sobretensões em BT
1	778,261	32,87865687	91	0
2	706,9336	30,73938409	16	0
3	639,1139	28,65730516	0	0
4	608,0689	27,80189561	0	0
5	605,5746	27,69146935	0	0
6	576,0671	27,16109872	0	0
7	511,577	27,11111147	0	0
8	511,8941	29,84509649	0	0
9	510,3034	31,67313743	0	5
10	538,4694	35,4337531	51	21
11	608,6176	39,08757493	51	21
12	698,0677	42,25840914	84	21
13	623,2393	39,63497986	72	21
14	650,4076	37,87363227	66	14
15	626,5115	34,85134434	65	0

Quadro 2: Amostra de dados das medições do sistema com GDs (Conclusão)

Hora	Energia Fornecida (kWh)	Perdas (kWh)	Subtensões em BT	Sobretensões em BT
16	705,0847	34,18207916	66	0
17	724,4388	32,23114664	31	0
18	833,2432	34,46287456	108	0
19	1006,073	41,64505503	513	0
20	992,5546	41,32956613	504	0
21	1021,133	42,77384129	667	0
22	993,6562	41,63652584	625	0
23	935,0388	38,7651581	465	0
24	838,2635	34,98927251	186	0

Fonte: Autor

Quadro 3: Amostra da diferença dos dados entre medições sem e com GD

Hora	Energia Fornecida (kWh)	Perdas (kWh)	Subtensões em BT	Sobretensões em BT
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0,3220159	0,00686972	0	0
6	19,082037	0,29701859	0	0
7	70,687516	0,03447154	0	0
8	123,47811	-1,48724159	3	0
9	149,74948	-2,66246859	6	-5
10	184,91771	-4,76666736	14	-21
11	204,78004	-5,69280957	54	-21
12	209,8739	-5,40019757	83	-21
13	202,61285	-5,57527426	37	-21
14	181,79773	-3,79087239	48	-14
15	157,16439	-2,43844537	20	0
16	117,93208	-0,29726677	47	0
17	67,52544	0,65515191	22	0
18	19,577924	0,50799302	15	0
19	3,002492	0,11702357	5	0
20	0,0221051	0,00085411	0	0
21	1,32E-08	-6,7466E-07	0	0
22	0	2,1097E-07	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0

Fonte: Autor

Quadro 4: Resumo dos resultados

	Sem GD	Com GD	Diferença
Sobretensões	0	11.290	+ 11.290
Maior Sobretensão	1,0044	1,0839	+ 0,0782
Subtensões	1.309.114	1.246.965	- 62.149
Menor Subtensão	0,802655599	0,802655599	0
Total de Energia Ativa	6.711.421,97	6.349.625,24	- 361.796,73
Perdas (kWh)	289619,6618	292587,7733	+ 2968,1114

Fonte: Autor

O Quadro 4 mostra os dados totais de um ano de entrega de energia, perdas no sistema, sobretensões e subtensões. Utilizando Excel foram determinadas as principais diferenças entre os dois fluxos.

A entrega de energia pelo alimentador foi reduzida em 361.796,7 kWh, o equivalente a uma redução em 5,4% a demanda de energia do mesmo. Apesar das GDs terem sido aplicadas a poucos consumidores, a diferença já é notada pelo sistema.

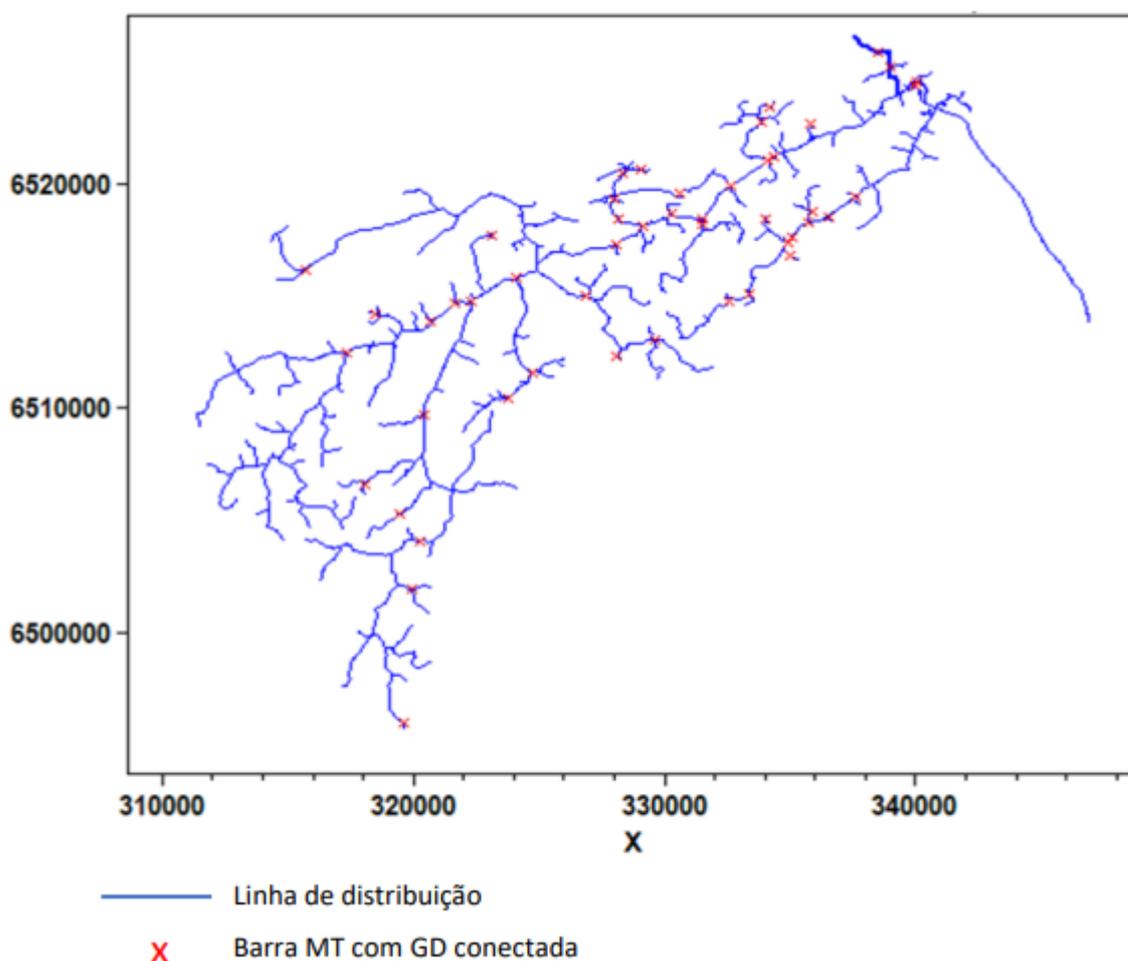
No Quadro 3 é possível notar que as perdas em certos horários (17h, 18h e 19h, esse intervalo de tempo corresponde a parte do horário de pico do sistema que é das 17h até 21h) foi reduzida, entretanto as perdas totais tiveram um aumento de 1,02%. Isso ocorre devido ao fluxo inverso de energia, que carrega, os cabos próximos a locais com GDs, com mais potência do que teriam naquele horário em local, acarretando assim num aumento das perdas.

O número de subtensões reduziu em 62.149, igual 4,74% do total sem GDs. Isso gera uma maior confiabilidade na rede de distribuição. Entretanto a adição de GDs causou o aumento de sobretensões em 11.290. Isso ocorre devido ao fluxo inverso de potência, fazendo com que as tensões em alguns alimentadores estejam maiores do que a referência da rede, nesse caso o alimentador da subestação

Com base no Quadro 2, observa-se que as sobretensões ocorreram entre as 10h e 14h; com base na curva de geração solar (Figura 9), nota-se que é nesse horário que ocorre a maior geração fotovoltaica, em adição a Figura 5 mostra que, nesse mesmo horário, a demanda das residências não está em seu valor mais elevado. Portanto a energia produzida nesse intervalo é maior que a consumida, fazendo com que ocorra injeção de energia na rede no sentido clientes para o alimentador, gerando assim as sobretensões.

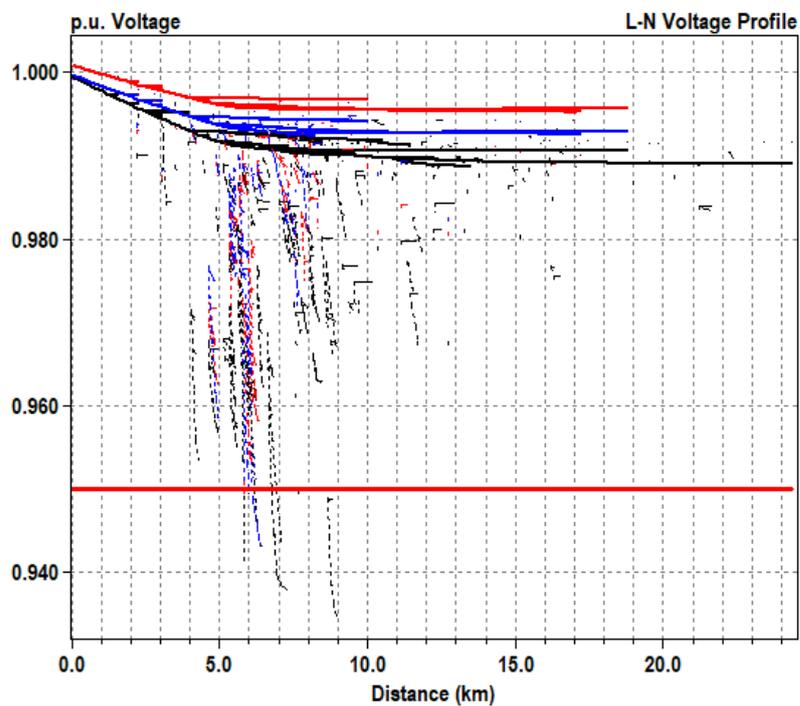
A Figura 12 mostra o diagrama do circuito da rede de distribuição do alimentador utilizado nas simulações, os pontos vermelhos indicam a barra de média tensão em que estão localizados os consumidores com geradores; ele permite uma melhor análise das Figura 13 e Figura 14 que mostram o perfil de tensão do alimentador num determinado horário (as 12h), o perfil de tensão relaciona a tensão em pu com a distância do alimentador.

Figura 12: Diagrama da rede de distribuição



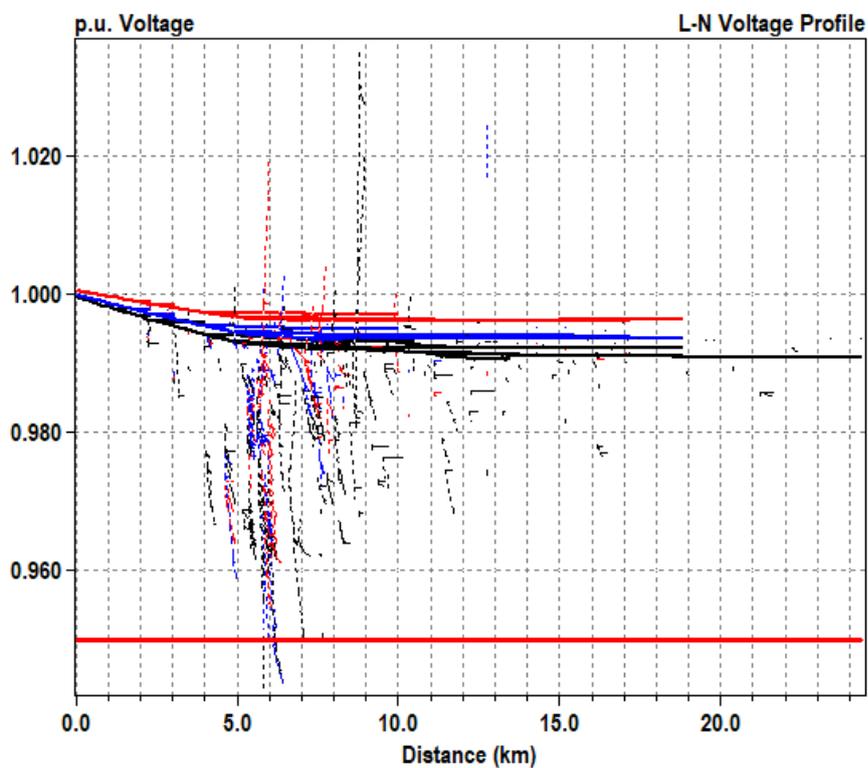
Fonte: Autor

Figura 13: Perfil de Tensão do alimentador sem GD



Fonte: Autor

Figura 14: Perfil de Tensão do Alimentador com GD



Fonte: Autor

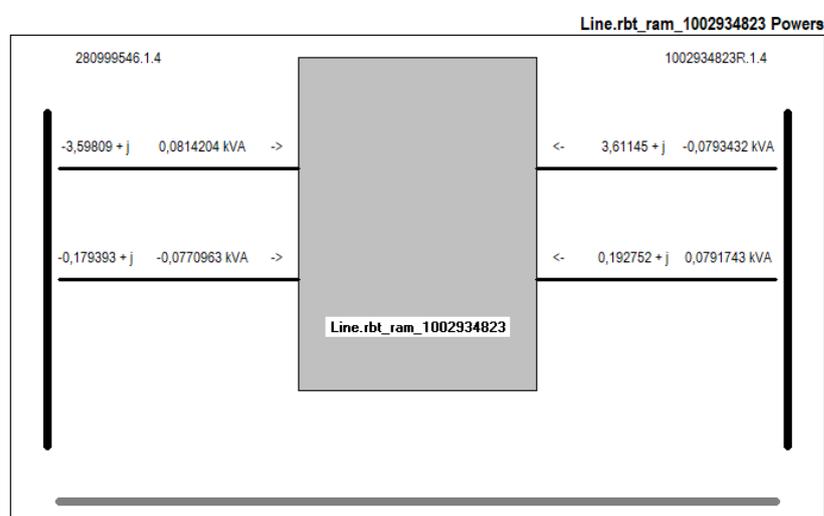
A Figura 13 representa o perfil de tensão de um alimentador sem GDs, já a Figura 14 mostra o mesmo perfil com a adição de GDs. As linhas contínuas são a rede primária de distribuição (13,8 kV) e as tracejadas a rede secundária (220/380 V).

Na Figura 13 nota-se um decaimento da tensão na rede primária conforme a distância do alimentador aumenta, percebe-se também que todos os pontos da rede secundária estão a baixo de 1 pu e alguns pontos encontram-se em condição de subtensão, abaixo de 0,95 pu.

Na Figura 14 o comportamento da rede primária não foi alterado, entretanto alguns pontos da rede secundária agora encontram-se acima de 1 pu, esses seriam os trechos onde foram alocadas as GDs. Apesar de não ter corrigido os problemas da rede, como os pontos em subtensão, a adição de GDs melhorou a entrega de energia nos trechos onde foi alocada. Uma inclusão maior de GDs alteraria até mesmo o comportamento da rede primária, como mostrado na Figura 4.

Utilizando o perfil de tensão na Figura 12, pode-se obter o fluxo de potência em um trecho específico da rede, como a Figura 15 demonstra.

Figura 15: Amostra de Fluxo de potência



Fonte: Autor

A Figura 15 mostra o fluxo de potência em um trecho que possui geração distribuída, nota-se que o valor da potência ativa está negativo, como o programa indica o fluxo no sentido alimentador/carga, esse valor negativo indica um fluxo de potência invertido, onde a carga está injetando energia na rede.

## 5 CONCLUSÃO

Para este trabalho, foi feito um estudo sobre geração distribuída e suas consequências na rede elétrica, e através da simulação vários desses efeitos puderam ser analisados de forma detalhada. As duas simulações foram realizadas no OpenDSS com um intervalo de 8760 h (1 ano) de forma a se obter os dados do comportamento da rede elétrica com e sem geração distribuída, de forma a poder comparar os resultados.

A comparação dos fluxos de potência mostrou que o alimentador sofreu uma redução de mais de 5% da sua demanda com a adição das GDs, assim como o número de subtensões foi reduzido em 4,7%, apesar disso as perdas em distribuição aumentaram em 1%, no entanto devido a diminuição da demanda do alimentador as perdas em transmissão irão reduzir.

A adição de GDs no entanto causou um grande número de sobretensões na rede, isso pode acarretar problemas no isolamento de componentes, também o fluxo reverso de energia pode causar problemas nos transformadores presentes na rede; no entanto já existem tecnologias para remediar isso como os *TAP changers* que adequam o transformado a carga.

A geração distribuída mostrou-se uma solução viável para uma nova modalidade de consumo, uma vez que contribuí para diminuição da demanda do alimentador central e, portanto, das grandes centrais de energia. Essa nova modalidade onde o consumidor também gera a energia permite uma maior matriz energética e reduz o número de subtensões, aumentando a confiabilidade no sistema de distribuição.

## REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **ANEEL sinaliza novo recorde para expansão da geração em 2023**. Brasília, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-sinaliza-novo-recorde-para-expansao-da-geracao-em-2023>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

BADRA, M. **Geração distribuída deve crescer cerca de 8 GW em 2023, aponta ABGD**, Canal Solar, 2023. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/geracao-distribuida-deve-crescer-cerca-de-8-gw-em-2023-aponta-abgd/#:~:text=geração%20distribuída%20deve%20crescer%20cerca%20de%208%20gw%20em%202023%2c%20aponta%20abgd,-crescimento%20da%20geração&text=depois%20de%20dobrar%20de%20potência,a%20centuado%20nesse%20segmento%20em%202023.>> Acesso em 06 mar. 2023

BRODERICK, R. J. **Quasi-Static Time Series (QSTS) Simulations for High-Resolution Comprehensive Assessment of Distributed PV (SI- 30691)**. Sandia National Lab, 2018. Disponível em: <<https://www.osti.gov/servlets/purl/1581724>>. Acesso em 01 nov. 2022.

CÂMARA, C. C. S. O impacto da difusão da geração distribuída sobre o equilíbrio econômico-financeiro das distribuidoras de energia elétrica nos casos da Califórnia e da Itália. 2017. 145 p. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

DA SILVEIRA, M. F. **Análise do impacto da geração distribuída sobre a rede elétrica de distribuição devido à utilização de geradores fotovoltaicos**. Universidade Do Vale Do Rio Dos Sinos, 2013. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/4426/Miguel%20Francisco%20da%20Silveira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 06 fev. 2023

DA SILVEIRA, M. F.; MARTIN, A. A.; CUKLA, A. R.; **Sistemas Elétricos de Potência**. Grupo A, 2022. 9786556900872. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556900872/>>. Acesso em: 28 jul. 2022.

DE SOUZA, M. E. M. **Impactos Da Geração Distribuída Nas Redes De Baixa Tensão**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9J3GSM/1/monografia\\_marcio\\_eli\\_moreira\\_de\\_souza\\_assinada.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9J3GSM/1/monografia_marcio_eli_moreira_de_souza_assinada.pdf)>. Acesso em 06 fev. 2023

DJAMBOLAKDJIAN, G. S. **Análise dos Impactos Técnicos da Geração Distribuída em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica de Baixa Tensão**. UFGRS, 2022. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/239994/001142257.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Foi%20verificado%20que%20a%20geração,%25%20a%2090%25%20de%20inserção>>. Acesso em 02 jan. 2023.

EPRI, **What is OpenDSS?**. EPRI, Palo Alto, 2001-2022. Disponível em: <<https://www.epri.com/pages/sa/opensdss>>. Acesso em 23 nov. 2022.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. 2ª Edição. Santa Maria: Editora UFSM, 2010.

FRANCISQUINI, A. A. **Estimação De Curvas De Carga Em Pontos De Consumo E Em Transformadores De Distribuição**. 2006. (Mestrado). Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Elétrica, Faculdade De Engenharia De Ilha Solteira, Ilha Solteira. Disponível em: <[https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/161\\_dissertacao\\_aislan\\_antonio\\_francisquini.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/161_dissertacao_aislan_antonio_francisquini.pdf)>.

GONÇALVES, R.; BELLERINI, B. F.; DE FREITAS, E. L. **Influência da geração distribuída em redes de distribuição de energia elétrica**. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2016. Disponível em: <<https://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-16/proceedings/pa53-16-edited.pdf>> Acesso em 07 fev. 2023.

HEIDEIER, R. et al. Impacts of photovoltaic distributed generation and energy efficiency measures on the electricity market of three representative Brazilian distribution utilities. **Energy for Sustainable Development**, v. 54, p. 60-71, 2020.

LUCHESE, F. C. **Estudos Elétricos Para Avaliação Do Impacto Da Geração Distribuída E Do Armazenamento Elétrico Em Sistemas De Potência**. Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

PORTAL SOLAR, **Geração distribuída de energia (GD): o que é, regras, benefícios e como fazer parte**. Portal solar, 2014-2023. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

QUANTUM ENGENHARIA, Você sabe o que é irradiação solar? Entenda como é possível gerar energia fotovoltaica mesmo em dias nublados. **Quantum Engenharia**, 2017. Disponível em: <<https://www.quantumengenharia.net.br/irradiacao-solar-dias-nublados/>>.

SENNA, G. **Consumo De Energia Solar No Brasil Teve Aumento De 30% De Gigawatts Em Relação Ao Segundo Semestre De 2021**. G1, Bom Dia Brasil, 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/inovacao/noticia/2022/07/28/consumo-de-energia-solar-no-brasil-teve-aumento-de-30percent-de-gigawatts-em-relacao-ao-segundo-semester-de-2021.ghtml>>.

SIEMENS, Energia Distribuída: Vantagens e Desvantagens. **Siemens**, Brasil, 1996-2023 Disponível em: <<https://www.siemens.com/br/pt/empresa/stories/energia/vantagens-desvantagens-sistema-descentralizado.html>>. Acesso em 09 fev. 2023

DECRETO Nº 5.163 DE 30 DE JULHO DE 2004, Governo Federal, 2004. Disponível em: <<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=5163&ano=2004&ato=336kXRU5keRpWT468#:~:text=Ementa%3A,ELÉTRICA%2C%20E%20DÁ%20OUTRAS%20PROVIDÊNCIAS>>.

ALMEIDA, Gabriel L. S. **Estudo Da Elevação De Tensão Em Redes De Distribuição De Energia Elétrica Com Alta Concentração De Geradores**. CEFET/MG, 2017. Disponível em: <[https://www2.dee.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/18/2017/11/TCC\\_2017\\_1\\_GLSAlmeida.pdf](https://www2.dee.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/18/2017/11/TCC_2017_1_GLSAlmeida.pdf)>

**Submódulo 23.3 Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos**. Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2002. Disponível em: <[https://www.ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede%2FMódulo%2023%2FSubmódulo%2023.3%2FSubmódulo%2023.3\\_Rev\\_0.0.pdf](https://www.ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede%2FMódulo%2023%2FSubmódulo%2023.3%2FSubmódulo%2023.3_Rev_0.0.pdf)>