

## ESTUDO DE CASO SOBRE UMA OCORRÊNCIA EM UMA USINA HIDRELÉTRICA, DEVIDO A ATUAÇÃO DE PROTEÇÃO NAS LINHAS DE TRANSMISSÃO

<sup>1</sup>Emerson Gonçalves Moreira; <sup>1</sup>Manuel Ferreira Neto

<sup>1</sup>Universidade de Uberaba - Uniube

[emerson\\_goncalves\\_moreira@hotmail.com](mailto:emerson_goncalves_moreira@hotmail.com); [manuel.neto@uniube.br](mailto:manuel.neto@uniube.br)

### RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre o desarme das linhas de transmissão LT 5 e LT 6, e as proteções que desarmaram as unidades geradoras: 01, 04 e 05, na ocorrência do dia 15/08/2021 em uma usina hidrelétrica. A causa fundamental que ocasionou a sensibilização da proteção foi uma queimada próximo as linhas de transmissão. Houve também a perda de comunicação com o COS CEMIG (centro de operação do sistema) devido ao rompimento do cabo OPGW (cabo para raio que possui fibras ópticas em seu núcleo).

Neste sentido, a proposta deste trabalho foi de analisar e mostrar a importância do sistema de proteção, pois se não fosse ele iria acarretar um dano significativo, com o não desarme das linhas de transmissão, pois fecharia o arco elétrico, danificando assim equipamentos e o sistema envolvido.

**Palavras-chave:** Energia elétrica. Sistema de proteção. Operação do sistema elétrico. Desarme do sistema elétrico.

### 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento das atividades diárias da sociedade, consumidora em sua essência, de forma que interrupções no seu fornecimento podem causar grandes perdas.

O sistema elétrico deve sempre estar preparado para minimizar ocorrências que podem gerar problemas e as proteções são elementos chave nesse processo, eliminando os distúrbios de forma rápida e respeitando a seletividade.

O sistema elétrico de usinas apresenta grande complexidade operativa, uma vez que,

grande parte é interligado e as fontes de geração estão distribuídas nas diversas regiões do país.

Algumas ocorrências podem isolar pequenas áreas com presença de unidades de geração e carga, porém, ocorrerá uma diferença do montante gerado em relação ao consumido, causando distúrbios no sistema ilhado. Com isso, ocorre a atuação de proteções, deixando uma área desabastecida, por conseguinte interrompendo a operação.

Devido a importância da proteção no sistema elétrico, podemos trabalhar sem ela?

Cada proteção mostra o que aconteceu durante a ocorrência, por isso temos que estudá-las, para verificar realmente o que ocasionou o desarme das linhas e das unidades geradoras. Lembrando que o sistema elétrico é de suma importância para a vidas das pessoas, essa avaliação tem que ser o mais breve possível e sem erros, pois: “os geradores são máquinas de grande importância dentro de um sistema de potência. Sua falha ou saída intempestiva provoca graves consequências no sistema elétrico se não houver geração disponível para substituir a unidade defeituosa.” (Mamede 2007, p. 462).

Assim, podemos justificar a relevância deste estudo, apresentando as ações tomadas para solucionar o problema ocorrido e normalizar o suprimento de energia ao SIN (Sistema Interligado Nacional).

Por meio deste trabalho é possível enfatizar a importância da proteção no sistema elétrico de potência e identificaremos o que é cada função que atuou em cada unidade geradora e como é sensibilização desta função. Também qual o provável defeito que apresentou a unidade geradora 5 ao tentar interligá-la.

O objetivo é mostrar o processo para normalizar o sistema reestabelecendo as linhas de transmissão e as unidades geradoras ao SIN

(Sistema Interligado Nacional). Analisar e levantar outras possibilidades de solução e formas para que não ocorra a parada.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na operação do Sistema Interligado Nacional (SIN), frequentemente ocorrem falhas no processo de geração de e transmissão da energia que ocasionam interrupções no fornecimento de energia para os consumidores, refletindo na qualidade do serviço prestado.

A causa mais comum e conhecida para falhas em sistemas elétricos é o curto-circuito, que origina correntes elevadas em todos os elementos conectados, resultando em grandes alterações de tensão, que em muitos dos casos levam a danos irreversíveis aos instrumentos e instalações dos pontos de consumo. Outro fator que acarreta distúrbios no sistema de potência gerando danos, são as sobrecargas.

Ainda existem mais dois fenômenos que podem afetar o funcionamento do sistema elétrico, com origens que vão desde manobras a descargas atmosféricas, entre outras. São as sub e sobretensões, que se associam também em alguns casos aos curtos-circuitos.

Sub e sobretensões, sobrecargas e curtos-circuitos são inevitáveis ao funcionamento dos sistemas de potência, mesmo com todos os cuidado e precauções tomados no desenvolvimento dos projetos e na execução dos processos de instalação, seguindo as recomendações e normas vigentes. Essas situações indesejadas provocam consequências desastrosas ou irrelevantes, dependendo da preparação da proteção do agrupamento em questão.

A função essencial de um sistema de proteção é assegurar que os elementos sejam desconectados, para que as anormalidades que excedem aos valores previstos não venham a causar danos. Tendo como objetivo também a possibilidade de obtenção de informações, a fim de auxiliar na identificação das causas para que os operadores que façam as devidas correções.

Os relés constituem uma ampla gama de dispositivos que oferecem proteção aos sistemas elétricos nas mais diversas formas:

sobrecarga, curto-circuito, sobretensão, subtensão etc. (Mamede 2007, p. 27)

Os relés, possuem uma grande gama de dispositivos, que variam em suas formas de construção e funções incorporadas, para diversas aplicações, dependendo da segurança necessária e da importância da instalação. Os relés têm o dever de atuar no disjuntor ou religador, que são os responsáveis pela desconexão do circuito afetado. A Fig.1 apresenta a foto do relé utilizado para atuar junto aos disjuntor.

**Figura 1: Foto relé DGP.**



**Fonte:** Arquivo pessoal dos autores.

Aplicando os seguintes critérios é possível a detecção de um efeito em um sistema elétrico:

- aumento da corrente;
- aumento ou queda de tensão;
- alteração do sentido da corrente;
- mudança da impedância do sistema;
- comparação do módulo e ângulo de fase na saída e na entrada do sistema.
- Representação básica da estrutura de sistema de proteção
- Faltas no sistema de potência

Como citado previamente, os curtos-circuitos correspondem as falhas mais críticas recorrente nos sistemas elétricos de potência, causando alterações nas grandezas elétricas envolvidas (corrente, frequência, tensão e resistência). Estes eventos indesejados consistem em um contato entre condutores sob o efeito de diferentes potenciais colocando em

risco a segurança das linhas de transmissão e distribuição, os equipamentos eletromecânicos e eletrônicos. Seu contato pode ser direto ou indireto (através de arcos voltaicos). Podem ocorrer entre as três fases, entre duas fases, compreendendo ou não a terra, também entre uma fase qualquer e a terra.

Podemos considerar, normalmente, que os curtos-circuitos ocorrem em:

- Barramentos das Subestações, quadros elétricos, geralmente devido à ação de elementos externos;
- Linhas aéreas, devido a sobretensões de descargas atmosféricas ou ação de elementos externos (aves, ramos de árvores etc.), ruptura de condutores, isoladores e apoios;
- Cabos subterrâneos, transformadores e máquinas rotativas e aparelhagem de corte, devidos a falhas de isolamento (aquecimento, efeitos mecânicos, envelhecimento, campos elétricos elevados).

E como principais causas dos curtos-circuitos com maior frequência de ocorrência em sistemas de potência, destacamos os seguintes: queimadas; falhas de isolamento; manobras incorretas; ventos e tempestades; descargas atmosféricas; envelhecimento dos componentes elétricos;

A presença de animais silvestres em quadros elétricos;

Queda de árvore sobre as linhas de transmissão aéreas.

Conclui-se que a maior parte das falhas estão ligadas a equipamentos e defeitos nos materiais, podendo ser corrigidos com manutenções mais frequentes. É notável que ocorrem principalmente fora das unidades geradoras e subestações, sendo mais presentes nas linhas de transmissão.

O principal dano causado às linhas de transmissão está relacionado aos curto-circuito provocados pelo excesso de poeira e fuligem que as queimadas produzem. O fogo junto à base das torres pode danificar a sua estrutura e causar sua queda. Pode ainda aquecer e danificar os cabos condutores e demais componentes da linha de transmissão. Além disso a fumaça em excesso gera fuligem que reduz a rigidez dielétrica do ar, que é a sua capacidade de isolamento da alta tensão dos

condutores, acarretando o desligamento da linha de transmissão, podendo causar interrupção no fornecimento e deixar cidades no escuro.

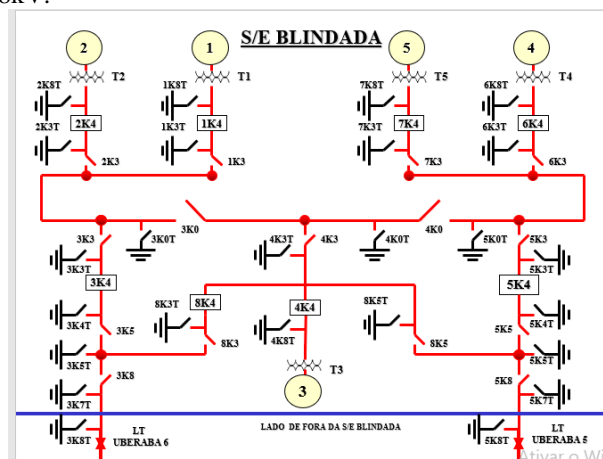
Além de perigoso, atear fogo próximo as linhas de transmissão é crime federal, segundo Decreto 2.661, de 08/08/1988. É proibido fazer queimadas:

- A menos de 15 m dos limites das faixas de servidão;
- Em faixa de 100 m ao redor da área de domínio da subestação;
- Em faixa de 50 m ao redor de unidades de conservação ambiental;
- Em faixa de 15 m de cada lado de rodovias estaduais, federais e ferrovias.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para entendermos os procedimentos metodológicos, considere o desenho técnico da subestação mostrado a Figura 2.

**Figura 2:** Desenho técnico da subestação blindada 138kV.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores.

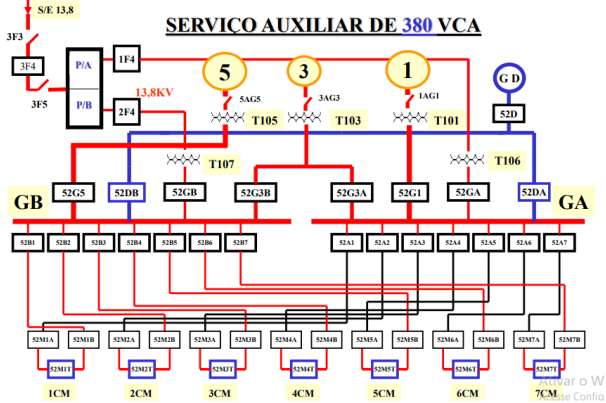
A Usina Hidrelétrica é composta por 5 unidades geradoras que trabalham de 13 a 42 MW cada uma. E duas linhas de transmissão LT 5 e LT 6.

Assim, os serviços auxiliares são compostos por fontes de alimentação em corrente alternada independentes e confiáveis destinadas a alimentar as cargas necessárias ao processo de funcionamento da usina, tendo como



alternativa outras formas de alimentação em caso de desligamento total ou parcial.

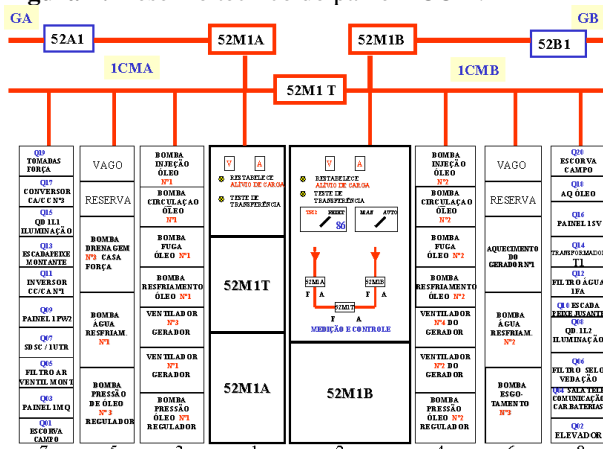
Figura 3: Desenho técnico do serviço auxiliar 380Vca.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores.

As fontes prioritárias são a unidade geradora 01 alimentando a barra GA e a unidade geradora 05 alimentando a barra GB. A fonte secundária é a unidade geradora 3 podendo alimentar tanto a barra GA como a GB. A fonte terciária é a alimentação da fonte externa Cemig de 13,8KV alimentando o painel P/A e P/B, onde eles irão alimentar respectivamente o painel GA e GB. Na falta de um painel GA ou GB os CCM's irão realizar a alimentação da outra barra através do disjuntor de transferência. Na falta das fontes primária, secundária e terciária quem entra alimentando é o grupo motor gerador de emergência, no qual alimenta as fontes essenciais da usina e uma unidade geradora que alimenta o serviço auxiliar.

Figura 4: Desenho técnico do painel 1CCM.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores.

O painel 1CCM realiza a alimentação e a proteção de todas as cargas que a unidade geradora 01 necessita para seu funcionamento, tendo duas barras A e B, pois os equipamentos que são de supra importância sempre têm um sobressalente do outro, assim se perdermos uma barra podemos trabalhar com a unidade geradora com geração reduzida para detecção do problema ou garantir a parada segura da mesma. Para tanto é necessário um relé de sincronismo, como mostrado na Fig. 5;

Figura 5: Foto relé de sincronismo.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores.

As principais aplicações do relé de sincronismo são:

- Conectando um gerador ao sistema.
- Restabelecer a conexão entre duas partes do sistema.
- Fechamento de disjuntores
- Religamento automático de um disjuntor após um disparo de relé.

O relé digital de verificação de sincronismo mede as tensões de barramento e linha. Ele testa:

- Diferença de tensão
- Desvio de frequência
- O ângulo de fase entre ambas as tensões

O equipamento fornece uma saída para permitir o fechamento do disjuntor quando todos os valores estiverem dentro dos limites definidos e permanecer lá durante o tempo escolhido para a configuração. Se todas as condições não forem atendidas, após um minuto o equipamento emite um sinal indicando falha nas condições de fechamento.

Alarmes e proteções durante a ocorrência

## SISTEMA DE SUPERVISÓRIO

O SDSC é o supervisório digital, onde há telas de visualização, comando e controle da usina e subestação. Todo equipamento da usina é supervisionado e qualquer alteração do seu status sobe um alarme para o SDSC. O SOE é a tela que sobe os alarmes e proteções mais relevantes da usina e subestação, como o status de disjuntores e chaves seccionadoras.

## DIAGRAMAS DE OPERAÇÃO

Através do diagrama de operação podemos identificar como é a configuração da usina e subestação, o que é necessário para operação de chaves seccionadoras, disjuntores e quais são as proteções dos geradores, transformadores e linhas de transmissão.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como pode se observar na tela de alarmes do SOE, temos toda eventualidade de proteções e alarmes que foram gravadas durante a ocorrência, assim o operador interpreta o ocorrido e toma a devida ação para normalizar o sistema.

## A USINA HIDRELÉTRICA

A Usina Hidrelétrica é composta por 5 unidades geradoras que trabalham de 13 a 42 MW cada uma. E duas linhas de transmissão LT 5 e LT 6.

No momento da ocorrência a usina encontrava na seguinte configuração:

- Unidade geradora 1 funcionando como gerador com 28,00 MW;
- Unidade geradora 2 desinterligada por conveniência operativa;
- Unidade geradora 3 desinterligada por conveniência operativa;
- Unidade geradora 4 funcionando como gerador com 28,00 MW;
- Unidade geradora 5 funcionando como gerador com 28,00 MW;
- LT 5 138KV em serviço;
- LT 6 138KV em serviço;

- Vertedouro fechado;

Houve desarme das duas linhas de transmissão, com a abertura dos disjuntores das duas linhas de transmissão, atuando a proteção de sequência negativa ou potência inversa nos geradores que estavam em serviço sendo:

- UG 05 TAG “5G – 32/46”, abrindo o disjuntor 7K4 de interligação as linhas;
- UG 04 TAG “4G – 32/46”, abrindo o disjuntor 6K4 de interligação as linhas;
- UG 01 TAG “1G – 32/46”, abrindo o disjuntor 1K4 de interligação as linhas;

O serviço auxiliar da usina hidrelétrica estava sendo alimentado pela seguinte configuração: unidade geradora 01 alimentando o painel GA e a unidade geradora 05 alimentando o painel GB.

A linha externa de 13,8KV, no momento da ocorrência estava com subtensão, ou seja, não estava chegando tensão por ela. Então o disjuntor 52GB e 52GA estavam sem alimentação. O painel GB ficou com subtensão, ou seja, sem alimentação. Com isso, o serviço auxiliar foi alimentado apenas pela unidade geradora 01, pois houve, o fechamento do disjuntor de transferência, assim, a barra A de cada CCM também passou a alimentar a barra B, com isso, todos equipamentos estão sendo alimentados.

Foi verificada perda de comunicação com o COS CEMIG (centro de operação do sistema), referente ao sistema de supervisão da usina (informações do supervisório da CEMIG, onde contém todas as informações e comandos dos equipamentos da usina) e o de telecomunicação (telefone e internet).

**Tabela 1:** horário mudança de status das linhas de transmissão

Horário	LT UB 5	LT UB 6
Ocorrência	14:12	14:15
Normalização	14:40	14:36

## LINHA DE TRANSMISSÃO 5

- Às 14:12 atuou a proteção na LT 5 138KV atuando “5K-94-XP -

PROTECAO PRINCIPAL  
DESLIG. OPERADO”, abrindo o disjuntor de alimentação da linha de transmissão da LT 5, que é o 5K4.

- Essa proteção é proveniente da atuação do relé de distância com os seguintes alarmes: “5K-21-Z1 – R. DISTANCIA ZONA 1 OPERADO” e “5K-21-Z3 – R. DISTANCIA ZONA 3 OPERADO”.
- Aberto também o disjuntor em anel com a linha de transmissão LT 6 que é o 8K4.
- As 14:40 fechado disjuntor 5K4 referente a linha de transmissão UBERABA 5, realizado teste de envio de tensão, resultado satisfatório.

#### LINHA DE TRANSMISSÃO 6

- Às 14:15 atuou a proteção na LT 6 138KV atuando “3K-94-XP - PROTECAO PRINCIPAL DESLIG. OPERADO”, abrindo o disjuntor de alimentação da linha de transmissão da LT 6 que é o 3K4.
- Essa proteção é proveniente da atuação do relé de distância com os seguintes alarmes: “3K-21-Z2 – R. DISTANCIA ZONA 2 OPERADO” e “5K-21-Z1 – R. DISTANCIA ZONA 1 OPERADO”.
- As 14:22 iniciou-se o reestabelecimento da linha de transmissão LT 6 138KV. Fechado o disjuntor 8K4 de fechamento do anel das duas linhas.
- As 14:36n fechado disjuntor 3K4 referente a linha de transmissão UBERABA 6, realizado teste de recebimento de tensão, para verificar se os cabos das fases estão ok, resultado satisfatório.

#### UNIDADE GERADORA 1

**Tabela 2:** horário mudança de status da unidade geradora 01.

Horário	U.G. 01
Ocorrência	14:15
Normalização	14:42

- As 14:15 atuou o alarme: “1K – 51/94 PROTECAO SOBRECORRENTE OPERADO”, não atuou rejeição de carga.
- Ficou alimentando o serviço auxiliar.
- As 14:42 foi interligada a unidade geradora 01, fechado disjuntor 1K4, sendo satisfatório o sincronismo com o SIN.

#### UNIDADE GERADORA 2

- Permaneceu parada por conveniência operativa.

#### UNIDADE GERADORA 3

**Tabela 3:** horário mudança de status da unidade geradora 03.

Horário	U.G. 03
Estava parada por conveniência operativa até as:	14:15
Interligada ao sistema:	15:00

- As 15:00 foi interligada a unidade geradora 03, fechado disjuntor 4K4, sendo satisfatório o sincronismo com o SIN.

#### UNIDADE GERADORA 4

**Tabela 4:** horário mudança de status da unidade geradora 04.

Horário	U.G. 04
Ocorrência	14:15
Normalização	16:20

- As 14:15 também ocorreu rejeição de carga na UG 04 “4P94” atuando o alarme: “4T – 24/81 T4 FREQ. VOLTS/HZ ANORMAL”.
- Houve abertura do disjuntor de campo da unidade geradora, assim ocorrendo a desexcitação da mesma.
- Ela não alimenta o serviço auxiliar.
- As 16:20 interligada a unidade geradora 04, fechado disjuntor 6K4, sendo satisfatório o sincronismo com o SIN.

## UNIDADE GERADORA 5

**Tabela 5:** horário mudança de status da unidade geradora 05.

Horário	U.G. 05
Ocorrência	14:15
Normalização	23:31

- As 14:15 também ocorreu rejeição de carga na UG 05 “5P94” atuando o alarme: “7K – 51/94 PROTECAO SOBRECORRENTE OPERADO”.
- Houve a abertura do disjuntor de campo da unidade geradora, assim ocorrendo a desexcitação dela.
- Subtensão para alimentar o painel GB.
- As 14:50 realizada várias tentativas de sincronizar a unidade geradora 05 porém resultado insatisfatório.
- Das 15:10 às 16:00, realizadas tentativas de sincronizar a unidade geradora 05, sem sucesso.
- 16:10 acionada equipe de manutenção.
- A equipe de manutenção fez uma diagnóstico com verificação de falha no relé de sincronismo da unidade geradora.
- Substituída fonte de alimentação do relé o mesmo foi normalizado.

- As 23:31 foi interligada a unidade geradora 05, fechado disjuntor 7K4, sendo satisfatório o sincronismo com o SIN.

## CONCLUSÃO

Através desse estudo de caso verificamos qual a causa do desarme das linhas e transmissão e compreendemos tudo que aconteceu durante a ocorrência. Verificamos também como é importante e essencial o sistema de proteção, pois, sem ele poderíamos danificar equipamentos contidos no sistema elétrico de potência, contidos na instalação estudada e também nos meios de transmissão e consumidores, além de colocar em risco a vida das pessoas.

Como podemos evitar queimadas próximo a linhas de transmissão? Será possível um dispositivo automatizado de detecção e combate de incêndio próximo a linhas de transmissão sem a sensibilização das mesmas?

## REFERÊNCIAS

ABREU, Domingos. **Sistemas de Proteção.**

Disponível em:

<https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/8-sistemas-de-protecao/>.

Acesso em: 15/10/2022.

CURY, Anay. **Entenda o sistema de proteção das usinas e seu papel no apagão.**

Disponível em:

<http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/01/entenda-o-sistema-de-protecao-das-usinas-e-seu-papel-no-apagao.html>. Acesso em: 15/10/2022.

HITEC. **Energia contínua sob o seu controle.**

Disponível em: [https://hitec-](https://hitec-ups.com/pt/?gclid=CjwKCAiA7IGcBhA8EiwAFfUDsQdz9Ef2rU_KvJ1Nyy1joxz5v8cCuEPr29WOadaAi5Z4ihENXXzNIBoCD10QAvD_BwE)

[ups.com/pt/?gclid=CjwKCAiA7IGcBhA8EiwAFfUDsQdz9Ef2rU\\_KvJ1Nyy1joxz5v8cCuEPr29WOadaAi5Z4ihENXXzNIBoCD10QAvD\\_BwE](https://hitec-ups.com/pt/?gclid=CjwKCAiA7IGcBhA8EiwAFfUDsQdz9Ef2rU_KvJ1Nyy1joxz5v8cCuEPr29WOadaAi5Z4ihENXXzNIBoCD10QAvD_BwE). . Acesso em: 17/09/2022.



LABEGALINI, Paulo Roberto et al. **Projetos mecânicos das linhas aéreas de transmissão.** Editora Blucher, 1992. LOPES, Daniel do Souto. Modelos neurais autônomos para classificação e localização de defeitos em linhas de transmissão. 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/3932> Acesso em: 12/09/2022.

NICOLOTTI, Rafael Dalazuana et al. **Avaliação do desempenho dos relés de proteção antiilhamento em um sistema com geração distribuída.** Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9937/2/CT\\_COELE\\_2011\\_2\\_05.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9937/2/CT_COELE_2011_2_05.pdf) Acesso em: 18/10/2022.

OLIVEIRA, Thales Lima et al. **Desenvolvimento de um programa computacional livre, gráfico, e multiplataforma para analisar sistemas elétricos de potência em regime permanente e dinâmico.** Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/27257/1/DesenvolvimentoProgramaComputacional.pdf> Acesso em: 20/10/2022.