

SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA FALHA DE DISJUNTOR¹

Geison B. de Freitas², Gabriel Galvagni³

Resumo – Este artigo descreve as principais particularidades de funcionamento do sistema de proteção contra falha de disjuntor, que é rigorosamente normatizado e fiscalizado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) através da publicação e edição dos procedimentos de rede, de tal maneira que, sua aplicação abrange todas as empresas conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN). São expostos conceitos relevantes das instalações elétricas de uma subestação, premissas lógicas e o exemplo de uma ocorrência de falta com atuação do disjuntor, validando os conceitos apresentados.

Palavras-chave – sistema de proteção, falha de disjuntor, subestação.

Abstract – This article describes the main features of operation of the protection system against circuit breaker failure, which is strictly standardized and inspected by the Operador Nacional do Sistema (ONS) through publishing and editing of network procedures, such that, your application covers all companies connected to Sistema Interligado Nacional (SIN). Are exposed relevant concepts of the electrical installations of a substation, logical premises, and the example of a fault occurrence with circuit breaker acting, validating the concepts presented.

Keywords – protection system, failure of circuit breaker, substation.

I. INTRODUÇÃO

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil, também chamado de Sistema Interligado Nacional (SIN), é basicamente hidro-termo-eólico, sendo composto majoritariamente por usinas hidrelétricas. A geração de energia por usinas eólica tem crescido nos últimos anos, porém ainda tem pouca participação no sistema, atualmente com 9,2% de participação do total de geração de energia elétrica por fonte no Brasil. Já as usinas térmicas desempenham um papel estratégico relevante para a segurança do SIN, principalmente na gestão de água armazenada nos reservatórios das usinas hidrelétricas [1], [9].

Por ser considerado um sistema de grande porte e bastante complexo, necessita de diversos normativos e sistemas de proteção para garantir sua operação e confiabilidade. Baseado nisso, o Operador Nacional do Sistema (ONS), propõe os Procedimentos de Rede, que são as regras para as atividades de

coordenação e controle da operação, geração e transmissão de energia elétrica dos integrantes do SIN [1]. Entretanto, para assegurar que a Rede Básica do SIN atenda ao desempenho e aos critérios dos Procedimentos de Rede, as instalações devem apresentar características técnicas e funcionais adequadas, sendo uma delas, a proteção contra falha de disjuntor [2].

Com base no exposto, este artigo tem como objetivo, a ilustração de uma lógica de proteção contra falhas de disjuntor, apresentando os conceitos, diagramas técnicos, e o exemplo de uma ocorrência real, onde esse sistema de proteção entrou em atuação, testando e validando os conceitos apresentados.

II. SUBESTAÇÕES DE ENERGIA.

De forma genérica, pode-se conceituar uma subestação como sendo um conjunto de sistemas específicos e interdependentes, concebidos para atender as necessidades e requisitos de um sistema elétrico. Uma nova subestação de energia surge após muitos estudos de planejamento e expansão. Nesses estudos são definidas suas principais características, entre elas, a configuração de barra, os equipamentos de pátio e os sistemas de proteção [3].

São inúmeros equipamentos que compõe uma subestação de energia elétrica, entre eles: transformador de potência (TF), barramento (BAP/BAPT), disjuntor (DJ), chave seccionadora (CS), transformador de corrente (TC), transformador de potencial (TP), para-raios (PR), relé de proteção e controle, banco de baterias, entre outros.

Na sequência, cita-se apenas alguns dos equipamentos, a fim de propiciar um melhor entendimento sobre o tema proposto.

A. Barramentos

A definição de barramento é descrita como sendo um conjunto de barras, normalmente produzidas em alumínio e dimensionadas para suportar mecanicamente e termicamente as correntes de curto-circuito e valor eficaz simétrico dessas correntes. Quando utilizadas em subestações, devem possuir mesma tensão nominal de trabalho, e juntamente com seus suportes e acessórios, permitem a conexão dos equipamentos [1], [10].

¹ Artigo apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de Pós-Graduação em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. Ano 2021. Orientador: Prof. Sérgio Martins Barcelos, Mestre.

² Pós-graduando em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica pela Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. E-mail: geisonbnd@gmail.com

³ Pós-graduando em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica pela Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. E-mail: gabrielgalvagni@yahoo.com.br

Uma das configurações mais utilizadas nos níveis de tensão de 138kV e 230kV, é a configuração Barra Dupla (Principal e Principal/Transferência), com quatro chaves seccionadoras por vão. O disjuntor de interligação (*tie*) também faz a função de transferência de vão para liberação de outros disjuntores.

A configuração de barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves, Figura 1, é assim denominada por acrescentar-se uma chave de *by-pass* em cada vão (código operacional 757, por exemplo), de forma que, o disjuntor possa ser liberado para manutenção e reparos sem que seja necessário desligar o circuito correspondente [3]. Assim, aproveita-se a vantagem da operação normal em barra dupla e, nas emergências para disjuntores. Uma das barras, previamente definida, é utilizada como barra de transferência, permanecendo temporariamente dedicada à função de transmissão correspondente. A chave seccionadora 751 interliga a Função de Transmissão (FT) na Barra Principal (BP); a 753 faz a interligação com a Barra Principal/Transferência (BPT) e a 755 faz a conexão da Linha de Transmissão (LT).

Esta configuração além de ter boa flexibilidade operativa, também oferece facilidades para expansão da Subestação, pois, pode-se liberar temporariamente uma barra sem que se provoquem desligamentos de circuitos ligados ao sistema.

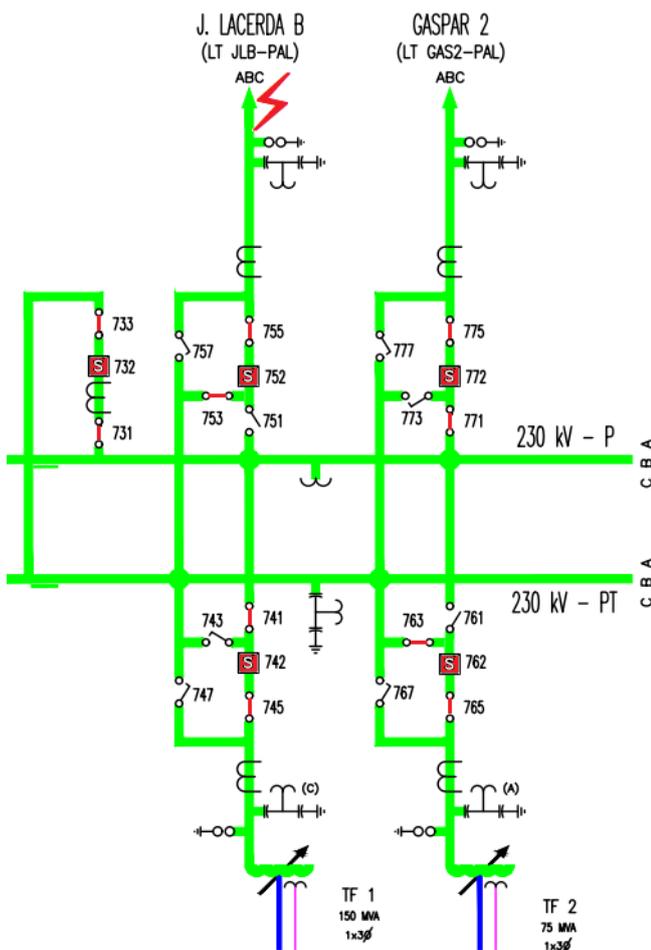


Figura 1. Barra Dupla (Principal e Principal/Transferência) da SE Palhoça
Fonte: CGTEletrosul (editado)

B. Disjuntores

O disjuntor é um dispositivo eletromecânico utilizado para

abrir ou fechar um circuito elétrico em condições normais ou anormais de operação (curto-circuito, por exemplo). A norma C37-2 da IEEE/ANSI (*American National Standards Institute*) padroniza numerações simbolicamente para as funções dos elementos, equipamentos e dispositivos que são utilizados em diversos documentos relacionados à proteção de sistemas elétricos. O disjuntor de corrente alternada é identificado pelo número 52 [4].

Uma das tarefas mais difíceis confiadas aos disjuntores instalados em sistemas de potência, é interromper correntes de curto-circuito em curtíssimos intervalos de tempo. Devido a todas suas características construtivas para atender suas funções com total confiabilidade, torna o disjuntor um dos equipamentos de maior complexidade instalados em uma subestação de energia elétrica. Desta forma, de maneira direta, a principal função do disjuntor é a interrupção de correntes de falta tão rapidamente quanto possível (em geral dois ciclos), com o intuito de mitigar ao máximo os possíveis danos em outros equipamentos no momento do curto-circuito [3].

Os disjuntores podem ser classificados construtivamente em vários tipos. Cita-se os principais: a óleo, ar comprimido, a vácuo e a gás SF₆ (hexafluoreto de enxofre), este último, sendo o mais utilizado atualmente.

A Figura 2, apresenta algumas imagens internas de um disjuntor a gás SF₆. A corrente elétrica segue o caminho da linha tracejada, entre os dois tubos (2), que são pressionados por uma mola (3) rigidamente acoplados a um cilindro de sopro (4), formando com isso, uma parte móvel, juntamente com um pistão (1). O acionamento se dá pela haste (5), que aumenta a pressão do gás SF₆, que atua na extinção do arco elétrico (6).

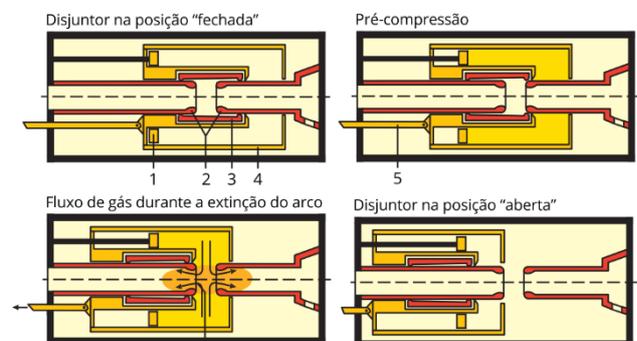


Figura 2. Princípio do sistema de autosopro à SF₆ da Siemens
Fonte: FRONTIN [3] (editado)

Como todo equipamento elétrico e mecânico, falhas podem ocorrer durante as manobras, impedindo a abertura completa do equipamento em condições normais de carga ou de curto-circuito, motivo principal da existência de sistema de proteção para esta situação. Pode-se listar algumas, tais como: mola descarregada, falhas de alimentação do circuito das bobinas de abertura, quebra da haste de acionamento, entre outras.

C. Relés de proteção

Um sistema de potência é projetado para gerar energia suficiente para atender à demanda estimada dos usuários, transmiti-la, e levar até os locais onde será utilizada. Para manter a confiabilidade dos serviços, é importante que este sistema

seja mantido em operação sem interrupções, de tal forma, que se faz necessário controlar e minimizar os efeitos de possíveis falhas [5].

A proteção de sistemas elétricos de potência é feita pelos relés, que são sensores colocados estrategicamente no sistema, que efetuam a proteção do mesmo. Desta forma, quando há uma perturbação ou defeito no sistema, que sensibilize o relé além do seu ajuste, este atua isolando o defeito do resto do sistema ao promover à abertura de disjuntores. Em casos não tão críticos, somente dispara alarmes e sinalizações.

Na ocorrência de um defeito no sistema elétrico, a proteção deve abrir o disjuntor o mais rápido possível de modo a eliminar o curto-circuito, e evitar ao máximo, o número de consumidores sem energia elétrica [4].

III. SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA FALHA DE DISJUNTOR

Segundo os Procedimentos de Rede do ONS, em seu submódulo 2.11 de 2021, que estabelece os requisitos mínimos para os sistemas de proteção, de registros de perturbações e de teleproteção, todo disjuntor da subestação (na Rede Básica) deve ser protegido por dois esquemas para falha de disjuntor, de forma redundante, que não precisam ser necessariamente dedicados, mas podem ser integrados a outros sistemas de proteção, inclusive nas proteções de barramentos [6].

A função contra falha de disjuntor tem como objetivo principal, a eliminação de defeitos causados em alguma função de transmissão, por exemplo: a proteção do próprio equipamento foi acionada para abrir o disjuntor, e este não abriu na sua totalidade (um ou mais pólos do disjuntor permaneceu fechado). Desta forma, para eliminação deste defeito com o disjuntor em falha, o esquema de proteção solicita (via outros relés) a abertura de disjuntores adjacentes ao equipamento protegido, seguindo algumas premissas pré-determinadas [7].

Para a função de proteção contra falha de disjuntor, são atribuídos os seguintes códigos [4], assim como, a numeração empregada para denominação de disjuntor (52), são eles:

50BF – relé de proteção contra falha de disjuntor com detecção de corrente (BF é a abreviatura, em inglês, *Breaker Failure*)

62BF – temporização. Caso transcorrido algum tempo de

atuação de uma proteção, e verificado que o disjuntor não foi aberto, é iniciada uma sequência pré-definida para acionamento de outras proteções, objetivando a abertura de outros disjuntores e a eliminação total do curto-circuito.

86BF – relé auxiliar que quando operado, desliga um equipamento ou circuito, e seu rearme pode ser elétrico ou manual. Este relé é acionado quando da atuação do relé 50BF, impedindo o fechamento do disjuntor em falha, ou qualquer outro disjuntor adjacente aberto para eliminação do defeito. Seu rearme poderá ocorrer quando as chaves seccionadoras do disjuntor que falhou forem abertas. Desta forma, poderá o 86BF ser rearmado, e com isso, normalizado (fechado) os demais disjuntores para recomposição do sistema.

A seguir, lista-se algumas das principais premissas de um esquema de proteção contra falha de disjuntor [7], que devem atender aos procedimentos de rede do ONS.

O esquema de falha de disjuntor somente deverá atuar no referido disjuntor. Sistemas Especiais de Proteção de caráter sistêmicos não devem partir o esquema de falha de disjuntor.

A lógica do esquema, deverá monitorar as correntes e estados dos pólos do disjuntor associado.

O relé de bloqueio (86BF) do disjuntor em falha, deve ser operado pelo esquema. Em caso de linha de transmissão, deverá ser operado o relé de bloqueio (86L) no terminal remoto. Deverá ser interrompido fisicamente o circuito de fechamento de todos os disjuntores adjacentes ao disjuntor que falhou.

A. Lógica

Na Figura 3, tem-se o modelo padrão de lógica aplicada pela CGTEletrosul nos seus esquemas de falha de disjuntor. Pode-se observar que todas as premissas listadas anteriormente são validadas [7].

O esquema considera que, para a atuação da proteção de falha de disjuntor, o disparo da proteção ocorre por fase (mesmo sendo disparo tripolar). Ao mesmo tempo, é verificado a existência de corrente no circuito elétrico, e o fechamento do disjuntor se dará em cada fase; (é condicionado também se as chaves isoladoras do disjuntor estão fechadas), para então, acionar os temporizadores de retrip e 62BF. O acionamento do retrip deverá anteceder a atuação do esquema de falha e bloqueio.

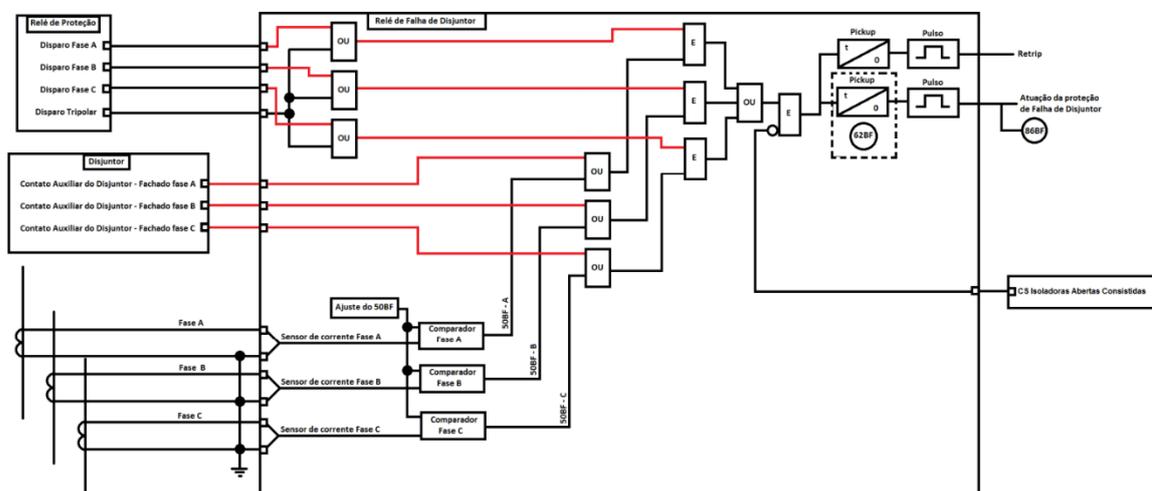


Figura 3. Lógica padrão de esquema de falha de disjuntor
Fonte: CGTEletrosul

Segundo o procedimento de rede [6], o tempo total de eliminação não deve exceder a 250 milissegundos (ms), incluindo, os tempos dos relés de proteção e relés auxiliares.

Na figura 1, mostrada anteriormente, com o arranjo barra dupla a quatro chaves, podemos ver quatro funções de transmissão: duas linhas de transmissão ligadas pelos disjuntores 752 e 772 e dois transformadores, pelos disjuntores 742 e 762. O interligador de barras (*tie*) é o disjuntor 732. O disjuntor 732 está fechado, interligando as barras. As chaves seccionadoras (em vermelho) e os disjuntores estão fechados, logo, a LT JLB-PAL e TF2 estão conectados na BPT, e a LT GAS2-PAL e TF1 estão conectados na BAP.

Para a seguinte situação hipotética: um curto-circuito fase “A” para terra ocorre ao longo da LT JLB-PAL por rompimento de cabo condutor. A proteção é sensibilizada de imediato, e envia um sinal de disparo para abertura do disjuntor 742. Em uma falha de abertura deste; o esquema de proteção contra falha de disjuntor, após satisfeitas as condições da lógica apresentada anteriormente, deve enviar um comando de disparo para todos os disjuntores da mesma barra, neste caso a BAPT, logo, serão abertos, o disjuntor do TF2, o disjuntor de interligação e disjuntor no terminal remoto da linha, ocorrendo a eliminação da falta e atuando o bloqueio de todos os disjuntores para novos fechamentos. A LT GAS2-PAL e o TF1, conectados da BAP, não devem ser abertos pelo esquema, mantendo suas funções de transmissão ligadas.

O disjuntor 742 deverá ser isolado com a aberturas das chaves seccionadoras 751, 753 e 757; com isso, o rearme do bloqueio pode ser realizado, liberando a energização do TF2, pela BAP (fechando a CS 761, abrindo a CS 763, e fechando o DJ 762). A recomposição da LT JLB-PAL poderá ocorrer somente após o reparo do cabo condutor, seja pelo seu disjuntor 742 (caso tenha acontecido o reparo), voltando a configuração inicial, ou, utilizando o disjuntor de transferência 732. ficando somente a LT JLB-PAL na BARRA PT. Demais funções ficariam conectadas na BAP.

B. Análise de Ocorrência

Visando atender ao objetivo do artigo, foi realizado um estudo de caso ocorrido em 2018, na Subestação Santo Ângelo (SE STA), de propriedade da CGTEletrosul [8].

Em julho de 2018, uma atuação de esquema de falha de disjuntor ocorreu na Subestação Santo Ângelo, após um curto-circuito monofásico, fase “A” à terra, na LT MIS-STA 230kV. Houve uma falha na abertura do disjuntor 782, e a consequente atuação do esquema de falha de disjuntor, desligando a BAP de 230kV da subestação e todos os equipamentos conectados: TF1 e TF2 (525/230/13,8kV), LT SRO1, LT SAG2 e a própria LT MIS, em 230kV.

Os disjuntores conectados na BPT 230 kV, à exceção do DJ 752, permaneceram fechados, conforme mostra a figura 4.

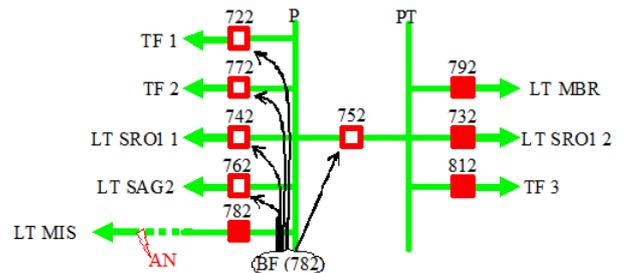


Figura 4. Ilustração da ocorrência de atuação BF.
Fonte: CGTEletrosul, 2018.

Na Figura 5, onde é apresentada a oscilografia das funções de transmissão no momento da falta, é possível observar o momento do curto circuito na fase “A” da LT MIS, com corrente de curto-circuito na ordem de grandeza de 10kA. Os transformadores TF1 e TF2 também apresentaram altas correntes, que ajudaram a fazer a composição da corrente de curto-circuito.

A eliminação do curto-circuito ocorreu em 580 ms após a falta pela atuação do esquema BF do disjuntor 782, que comandou a abertura de todos os disjuntores da BAP 230 kV: disjuntor 752 (*tie*), disjuntor 722 (TF1), disjuntor 772 (TF2), disjuntor 742 (LT SRO1) e disjuntor 762 (LT SAG2).

Após os desligamentos, o disjuntor 782 foi isolado e a LT MIS 230 kV foi energizada pela barra de transferência utilizando o disjuntor 752 (*tie*).

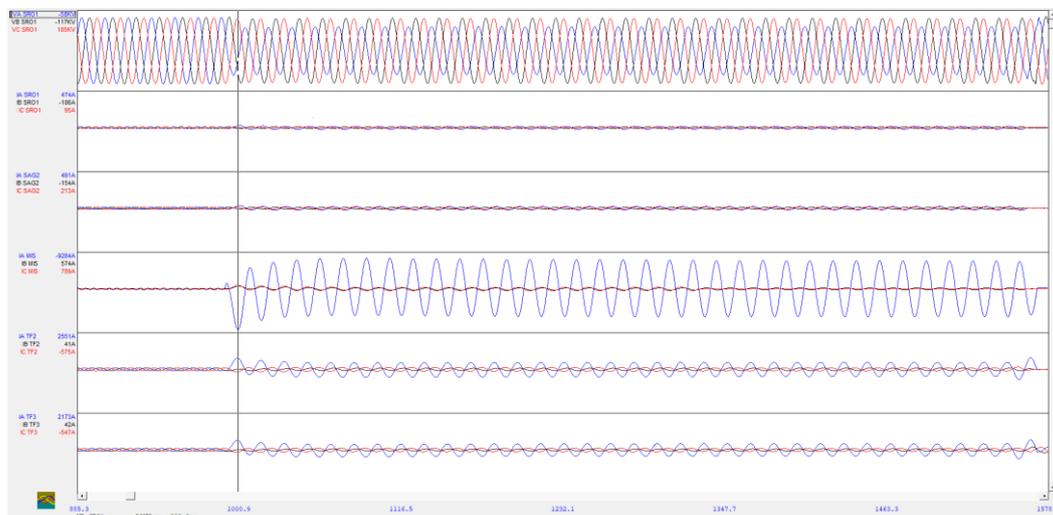


Figura 5. Oscilografia da ocorrência
Fonte: Registrador Digital de Perturbação Reason - CGTEletrosul

Segundo à análise da equipe de manutenção, foi verificado que a recusa de abertura do disjuntor 782 foi causado por ressecamento da graxa lubrificante de componentes (roletes e gatilhos) do mecanismo de acionamento de abertura.

Verificou-se também que o esquema, mesmo tendo atuado na eliminação da falta com abertura dos disjuntores adjacentes, não atendeu um dos requisitos estabelecidos pelos Procedimentos de Rede do ONS, já que o tempo para atuação e eliminação da falta, não deveria ultrapassar 250 ms. Foi constatado falha de ajuste e configuração do relé de proteção de atuação do BF, que não era de propriedade da CGT Eletrosul, mas de outra empresa acessante à subestação.

IV. CONCLUSÕES

O Sistema Interligado Nacional é bastante complexo e necessita de muitos sistemas de proteção para sua manutenção, confiabilidade e estabilidade. Para garantir isso, o ONS regulamenta e ordena todos os Procedimentos de Rede de forma criteriosa e organizada.

O esquema 50BF é implementado para dar uma maior garantia de confiabilidade no sistema elétrico em casos de curtos-circuitos com falha de disjuntores, de forma a isolar e eliminar o problema com menor quantidade de desligamentos possíveis.

As ocorrências de atuação do esquema de falha de disjuntor não são tão comuns, mas ainda assim ocorrem, e caso os relés não estejam corretamente configurados e ajustados, podem ocasionar danos imensuráveis ao sistema. Por sorte, na análise de ocorrência citada, mesmo com o ajuste configurado equivocadamente no relé, o esquema atuou de forma satisfatória, evitando danos maiores.

Logo, percebe-se que as equipes técnicas devem estar sempre atentas e capacitadas para solucionar os diversos problemas, desde a manutenção preventiva para identificar possíveis falhas tempestivamente, até a manutenção corretiva eficiente, em caso de uma ocorrência de emergência.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. **O sistema interligado nacional**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 28 set. 2021.
- [2] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. **Procedimentos de rede**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 22 set. 2021.
- [3] FRONTIN, Sérgio O (organizador). **Equipamentos de Alta Tensão: Prospecção e Hierarquização de Inovações Tecnológicas**. 1 Ed. Brasília: Teixeira, 2013.
- [4] KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência: Volume 1**. 3 Ed. Florianópolis: UFSC, 2012.
- [5] ELETROBRÁS – FURNAS. **Construção de Subestações**. Montagem Eletromecânica. Vol I e II. Rio de Janeiro: DACW.C, 2011.
- [6] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. **Submódulo 2.11: Requisitos mínimos para os sistemas de proteção, de registro de perturbações e de teleproteção**. Revisão 2020.12. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>. Acesso em: 21 set. 2021.
- [7] ELETROBRAS CGTEletrosul. **Filosofias de Proteção**. Departamento de Operação Florianópolis, SC. Ver. 04. Abr. 2019.
- [8] SANTOS, Valdeí Gonçalves. **Análise de Ocorrência no Sistema**. ELETROBRÁS CGTEletrosul Departamento de Operação, Florianópolis, SC. Análise da perturbação. AOS-309/2018, Jul. 2018.
- [9] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2021.pdf>. Acesso em: 07 out. 2021.
- [10] F. MAMEDE, João. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 4 ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2013.