

ESTUDO DE PROTEÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO PARA MINIMIZAR AS FREQUÊNCIAS SIMPLES SUSTENTADAS

MASSMANN, Juliana Costa Massmann¹
Centro Universitário Academia – UniAcademia
SILVA JÚNIOR, Dalmo Cardoso²
Centro Universitário Academia – UniAcademia

Linha de pesquisa: Sistemas de Energia Elétrica

RESUMO

O estudo apresenta, inicialmente, a importância no cenário mundial da continuidade e da qualidade do fornecimento de energia para os grandes centros urbanos e rurais, assim como a importância neste sistema da coordenação e seletividade para as faltas que o sistema elétrico está susceptível. A ideologia é apresentar os principais equipamentos instalados no SEP de modo que quando do surgimento de alguma anomalia no circuito, essa por sua vez, venha a ser isolada impactando o menor número de clientes possível. O estudo de caso apresenta um alimentador com característica mista e seu desempenho operativo nos sistemas de distribuição, com análise nos índices ANEEL e que impactaram diretamente os consumidores atendidos neste circuito. Nestas faltas, permite analisar o quanto os consumidores foram impactados pelas interrupções através dos índices DIC, FIC e DMIC. Além de apresentar as propostas para segurança nas instalações e minimizar as frequências e tempo das interrupções com ações de curto prazo.

Palavras-chave: Proteção de Sistemas Elétricos. Automação de Redes Elétricas. Continuidade

¹ Graduanda em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia.

² Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

1 INTRODUÇÃO

Observou-se nas últimas décadas uma crescente expansão dos sistemas elétricos de potência (SEP) no Brasil, trazendo novos desafios aos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia. Sabe-se que o aumento da eficiência no setor elétrico é de grande relevância para atender a demanda de energia no país. Neste cenário, tornou-se necessária a busca de novas tecnologias e pesquisas científicas para desenvolver e atender o ramo produtivo, assegurando continuidade do serviço prestado, além de qualidade no fornecimento de energia elétrica. Para exemplificar o crescimento do consumo neste setor, em abril de 2021 foi registrado um valor de 42,211 GWh, elevação de 13,8% em relação a abril de 2020 (EPE, 2021)³.

Nos sistemas de distribuição, a automatização de sistemas e operação pode solucionar problemas e permitir melhoria nos indicadores de confiabilidade, qualidade e eficiência no fornecimento de energia elétrica.

Dada a importância, tanto no âmbito de qualidade, mas também de continuidade, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador, vem revisando os Procedimentos de Energia Elétrica no Setor Elétrico Nacional. Estes documentos normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica (PRODIST, 2017). Esse órgão acompanha os serviços prestados pelas distribuidoras através dos indicadores individuais e coletivos de qualidade no fornecimento, tais como:

- ✓ DEC: duração equivalente de interrupção por unidade consumidora.
- ✓ FEC: frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora.
- ✓ DIC: duração de interrupção individual por unidade consumidora.
- ✓ DMIC: duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora
- ✓ FIC: frequência de interrupção individual por unidade consumidora.
- ✓ DICRI: Duração da Interrupção Individual Ocorrida em Dia Crítico.

³ Disponível em: < <https://infosolar.com/mercado/consumidor/epe-consumo-nacional-de-energia-eletrica-sobe-13-8-em-abril>>. Acesso em 01 set. 2021.

A ANEEL monitora a qualidade do fornecimento dos serviços de distribuição de energia elétrica, inclusive aplicando sanções às distribuidoras para os casos de interrupção de fornecimento (queda de energia). As concessionárias de distribuição de energia elétrica devem garantir um alto grau de confiabilidade. Por ser um sistema complexo, não imune a perturbações, defeitos e falhas, poderão ocorrer interrupções no fornecimento de energia elétrica, causando danos pessoais (acidentes) e materiais dos componentes que constituem o sistema.

As intervenções e contingências não programadas na rede de distribuição acontecem a todo momento e causam prejuízos para as concessionárias. Tanto com as perdas de faturamento pelo não fornecimento de energia, quanto com multas impostas pelo órgão regulador. Não obstante para a sociedade, tais intervenções e contingências, podem acarretar avarias em equipamentos, transtornos em hospitais, trânsito, e perda de produção em indústrias, entre outros (TONELLI, 2015).

Segundo Zambon (2006) as concessionárias que não cumprirem as metas estabelecidas estão sujeitas a sanções, tais como o pagamento de compensações financeiras (multas). A cada ano, as metas se tornam mais exigentes, obrigando as empresas a realizarem investimentos cada vez maiores na rede de distribuição. No intuito de tornar as redes de energia elétrica e os sistemas mais eficazes, as concessionárias estão buscando formas de aperfeiçoar e aplicar os conceitos de redes inteligentes. A automação da rede de distribuição surge como um recurso para reduzir os custos operacionais e diminuir o tempo de descontinuidade de fornecimento de energia elétrica.

Todavia, os expressivos e constantes investimentos realizados na proteção e automação dos sistemas de potência, as redes de distribuição estão a todo tempo susceptíveis ao surgimento de falhas nos seus componentes, na maioria das vezes, de difícil detecção, em função de suas topologias, comumente aérea. Dentre essas faltas, sobressaem as Faltas de Alta Impedância (FAI), que produzem baixos níveis de corrente elétrica, e em alguns casos podem não ser perceptíveis pelos dispositivos convencionais, fusíveis e relés dos sistemas de proteção empregados (BENNER; RUSSEL, 1997).

Deve-se salientar que muitas das falhas apresentadas decorrem, geralmente, de rompimentos de condutores caídos ao solo e de contato com vegetação em cabos

energizados. Estes eventos trazem sérios riscos a população, animais e funcionários que trabalham no setor elétrico.

Este estudo busca contribuir na melhoria contínua do desempenho operativo nos sistemas de distribuição, garantindo segurança nas instalações, melhoria dos índices de qualidade e continuidade dos serviços prestados pela concessionária. Assim como a diminuição da frequência e tempo das interrupções com ações de curto prazo.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O estudo tem como objetivo realizar estudo de caso real, de um alimentador de distribuição de energia elétrica que atende o município de Matias Barbosa - MG. Este circuito é responsável pela proteção e fornecimento de energia de toda a região, além de ser a principal interligação entre as regiões de Matias Barbosa, Simão Pereira, Belmiro Braga, Cotegipe, Sobragi, Vila Fortaleza e São José das Três Ilhas.

O propósito deste estudo é a melhoria no desempenho do SEP, potencializando o fornecimento, garantindo a continuidade, confiabilidade e controle nos equipamentos além da oportunidade de aplicar os métodos propostos nos dados fornecidos pela concessionária para otimizar e modelar os indicadores de confiabilidade da rede de distribuição da região.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este projeto tem o propósito de alcançar tais objetivos específicos:

- ✓ Realizar levantamento de campo do circuito trifásico para análise do caso;
- ✓ Estudar o equilíbrio de cargas instaladas no circuito;
- ✓ Demonstrar a frequência e a duração de interrupções através dos índices DIC, FIC DMIC;

2 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Em um sistema de transmissão interligado é possível o consumo de energia gerada em qualquer ponto deste sistema, desde que o sistema de distribuição esteja

interligado e representando a parte final da trajetória da energia elétrica que é o ponto mais próximo das unidades consumidoras, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Sistema Elétrico de Potência⁴



Fonte: ABRADÉE, 2021

Segundo Moura (2010), o sistema de distribuição é integrado da seguinte maneira:

- ✓ Sistema de subtransmissão – é responsável pela interligação entre as subestações de transmissão de 230, 500, 750 kV e as subestações de distribuição, cuja tensão usualmente adotada é 69 kV ou 138 kV.
- ✓ Subestação (SE) – Ponto de interligação, utilizada para modificar os níveis de tensão, controlar níveis de tensão e carregamento, seccionar linhas de subtransmissão e distribuir a energia através dos circuitos alimentadores utilizando equipamentos de proteção e controle.

2.1 INDICADORES ANEEL

No intuito de mensurar a eficiência das distribuidoras, a ANEEL estabelece dois principais indicadores que são: indicadores de continuidade e indicadores de conformidade. Estes indicadores controlam a qualidade do serviço prestado pelas concessionárias e a qualidade do produto entregue aos consumidores respectivamente.

⁴Disponível em: < <https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia/>>. Acesso em 08 dez 2021.

O conceito de interrupção definido pela ANEEL considera uma interrupção como descontinuidade parcial ou total do fornecimento de energia elétrica a uma unidade consumidora, provocada por uma falha no dimensionamento ou falhas nos componentes do sistema. Considera-se esta interrupção quando a tensão de fornecimento for igual ou inferior a 70% (setenta por cento) da tensão nominal. Segundo ANEEL (2017) e Souza (2019), dentro do conceito de interrupção segmentadas o Módulo 8 do PRODIST nos seguintes tipos de interrupções:

- ✓ Interrupção momentânea de tensão: toda interrupção no SEP com duração menor ou igual a 3 (três) segundos.
- ✓ Interrupção temporária de tensão: toda interrupção no SEP superior a 3 (três) segundos e inferior a 3 (três) minutos.
- ✓ Interrupção de Longa Duração: toda interrupção no SEP com duração maior ou igual a 3 (três) minutos.
- ✓ Interrupção de Emergência: desligamento manual de equipamentos ou nas linhas quando não há tempo hábil para comunicação com o Centro de Operação de Distribuição (COD), realizado para evitar danos aos sistemas, equipamentos e risco para a integridade física de pessoas, para as instalações ou para o meio ambiente.
- ✓ Interrupção de Fornecimento de Caráter Sistêmico: Interrupção de fornecimento de energia elétrica que cause elevada concentração de chamadas junto à central de tele atendimento da distribuidora e que caracterize o respectivo dia ou período como atípico.
- ✓ Interrupção de Fornecimento: desligamento temporário da energia elétrica para conservação e manutenção da rede elétrica e em situações de casos fortuitos ou de força maior.
- ✓ Interrupção em Situação de Emergência: interrupção motivada por caso fortuito ou de força maior, a ser comprovada documentalmente pela distribuidora.
- ✓ Interrupção não programada: interrupção do fornecimento de energia elétrica aos consumidores motivada por desligamentos não programados de componente do sistema elétrico.
- ✓ Interrupção Programada: interrupção antecedida de aviso prévio, por tempo preestabelecido, para fins de intervenção no sistema elétrico da distribuidora

ou transmissora. A apuração dos indicadores de continuidade individuais deve considerar, obrigatoriamente, as interrupções de longa duração registradas pelo sistema de medição ininterrupta.

2.1.1 Indicador de continuidade

O indicador de continuidade demonstra a qualidade do serviço de fornecimento de energia elétrica prestado pela concessionária na área onde eles foram apurados. A resolução publicada pela Aneel (2000) e posteriormente estudada por Zambon (2006) define os seguintes índices de continuidade: DEC, FEC e os individuais: DIC, FIC, DMIC e DICRI.

2.1.2 Indicadores de continuidade individuais

Os indicadores são auditados pela agência reguladora para todas as unidades consumidoras e são expressos como: Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC), Freqüência de Interrupção por Unidade Consumidora (FIC) e Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora, todos expressos em horas e centésimos de hora. Este trabalho trata dos índices FIC, DIC que são apurados em períodos mensais, trimestrais e anuais. O indicador DMIC apenas para períodos mensais. Os demais indicadores não foram estudados, portanto, não serão mais citados.

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i)$$

$$FIC = n$$

$$DMIC = \max[t(1)]$$

onde:

i é o índice de interrupções da unidade consumidora no período de apuração, que varia de 1 a n ;

n é o número de interrupções da unidade consumidora;

$t(i)$ é o tempo de duração de interrupção i da unidade consumidora ou ponto de conexão, no período de apuração;

máx. $[t(i)]$ corresponde ao valor da máxima duração de interrupção contínua i , no período de apuração, verificada na unidade consumidora.

O indicador de Duração de Interrupção Individual Ocorrida em Dia Crítico (DICRI) representa o valor expresso em horas e centésimos de hora, em que o fornecimento de energia foi interrompido em um dia crítico em uma unidade consumidora ou ponto de conexão.

$$DICRI = t_{crítico}$$

onde:

t expressa a duração da interrupção ocorrida em dia crítico.

O evento considerado como crítico é definido como aquele no qual a quantidade de ocorrências emergências em um conjunto elétrico ultrapasse determinado limite no dia, estabelecido como a média mais três desvios padrões, dos valores diários verificados nos últimos dois anos em relação ao ano precedente.

2.2 TOPOLOGIA DAS REDES

A partir das saídas de subestações, as redes de distribuição de média tensão (MT) apresentam-se em dois formatos: áreas ou subterrâneas. As redes áreas possuem maior aplicação devido ao seu custo. E as redes subterrâneas são, normalmente, aplicadas em áreas com grande densidade de carga ou limitações paisagísticas.

O sistema de distribuição aérea é constituído de alimentadores urbanos e rurais. Estes alimentam transformadores que integram o seu conjunto na mesma tensão, transformando-a na tensão compatível para um nível de consumo em baixa tensão.

Normalmente, seus circuitos operam em anel, o que possibilita as transferências de blocos de cargas entre os circuitos de acordo com a necessidade, condições operacionais, risco no sistema ou para atendimento de operação em condições de contingência devido à manutenção corretiva ou preventiva.

Este sistema busca atender os mais variados tipos de consumidores, podendo ser consumidores industriais, residenciais, conjuntos comerciais e iluminação pública. Dada estas características apresentadas que será definido o recurso a ser instalado para melhor atender o consumidor final.

2.2.1 Configuração das redes

Conforme Braga (2011), o sistema de distribuição apresenta-se em três formatos de ligação:

- ✓ Sistema de rede com primário a 3 condutores: Muito empregada em área urbana onde se concentra elevada densidade de carga, apresenta-se na sua configuração de rede vários alimentadores de pequenas e médias extensões. Sendo um sistema conectado ao aterramento da SE, possui condutor neutro de BT contínuo e multi aterrado comum ao circuito primário e secundário. Em grande parte destes sistemas, os trechos possuem proteção, condição necessária no projeto de construção e flexibilidade quanto a transferência de carga de modo a minimizar pontos sem a devida proteção.
- ✓ Sistema de rede com o primário a 2 condutores: Utilizado para atender às pequenas localidades ou clientes em áreas rurais, predominantemente seu circuito é radial, ou seja, o alimentador não tem a possibilidade de transferências de cargas. Devido a própria condição esse sistema está muito mais susceptível às ações da natureza do que a as redes em áreas urbanas. Independente da extensão, todos os trechos deverão ter alguma forma de proteção.
- ✓ Sistema primário a 1 condutor: Constituído por um circuito primário com uma única fase, com neutro multiaterrado e contínuo de baixa tensão, que pode ser trazido desde a subestação até os transformadores. Pode também se apresentar sem neutro, caso seja desta forma, tanto os transformadores, como a rede de baixa tensão, serão aterradas no local. Normalmente empregue para atender cargas extremamente baixas, este tipo de sistema pode apresentar dezenas de quilômetros de extensão e é essencialmente radial.

As tensões nominais das redes de distribuição existentes são: 11,4 kV, 13,8 kV, 22 kV e 34,5 kV para as redes primárias e 380/220V, 220/127V e 240/120V para as redes secundárias. As redes áreas que predominam no sistema utilizam-se de postes de madeira em áreas rurais e postes de concreto em áreas urbanas. Todos equipados com estruturas de sustentação dos cabos de média tensão e de baixa tensão. Possuem como componentes, transformadores, dispositivos de proteção e manobra, isoladores de pino e disco que usualmente são instalados nos suportes metálicos,

cintas, cruzeta de madeira, fibra ou metálica. Utiliza-se condutores de alumínio nus com alma de aço (CAA), ou sem alma de aço (CA), protegidos e em casos específicos, cabos isolados. Os transformadores instalados na rede de distribuição são em sua maioria trifásicos e possuem conexão no lado AT em delta e no lado da BT em estrela com o neutro aterrado.

As configurações dos alimentadores de acordo com as possibilidades e necessidades, podem oferecer alterações em sua tipologia através de reconfiguração de dispositivos de seccionamentos. Este sistema possibilita abertura / fechamento de equipamentos manuais ou automatizados instalados ao longo do SEP que assegura melhor distribuição de clientes, melhor distribuição de cargas, melhoria nos níveis de tensão e agilidade no restabelecimento do fornecimento de energia elétrica em casos de defeitos que exijam manutenção corretiva ou mesmo isolar um determinado trecho de rede para manutenções preventivas.

As transferências via modo remoto, é uma das principais premissas para a garantia da coordenação e seletividade entre os equipamentos de proteção envolvidos na configuração, caso haja a realização de alterações na topologia das redes. De acordo com Ramos (2014), é de extrema importância a coordenação e seletividade entre os equipamentos de proteção para uma correta operação. Pois, a reconfiguração na rede de média tensão é algo constante em uma distribuidora de energia elétrica. Falhas nestes sistemas podem acarretar em acidentes, operações indevidas, erro na interpretação por parte do operador do sistema, avaria de equipamentos e dentre outros problemas que afetam as concessionárias seria a queda nos indicadores de qualidade.

3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DOS SISTEMAS ELETRICOS DE DISTRIBUIÇÃO

O SEP é constituído de diversos dispositivos de proteção nas redes de distribuição, mas sendo em sua maioria, formado por redes áreas, estas são mais suscetíveis a falhas e que podem ter origem através de:

- ✓ Abalroamento de veículos em postes;
- ✓ Descargas atmosféricas;
- ✓ Galhos de árvores tocando em condutores;

- ✓ Incidência de pipas;
- ✓ Instabilidade sistêmicas;
- ✓ Outros.

Segundo Ramos (2014), estes dispositivos possuem a função básica de efetuar a proteção dos equipamentos instalados no sistema elétrico, que possui alto valor agregado. Além disso, a confiabilidade exigida e as consequências no caso de uma anomalia ou interrupção no fornecimento de energia evidencia a importância de se manter o sistema operando o maior tempo possível.

3.1 CONCEITOS DE EQUIPAMENTOS

Um sistema de proteção tem por finalidade é a de isolar a menor parcela possível do sistema, submetido à intercorrências que o faça operar fora dos limites preestabelecidos. Simultaneamente, deve fornecer informações relevantes para o operador do sistema, com o intuito de facilitar a identificação de defeitos e falhas.

A premissa da proteção dos sistemas consiste na técnica de selecionar, aplicar, coordenar e ajustar os diversos equipamentos e dispositivos protetores de um sistema elétrico, de modo que, quando do surgimento de uma anomalia no circuito, essa por sua vez, venha a ser isolada, sem que os demais sejam afetados. O principal foco é desconectar a parcela mínima do sistema quando da ocorrência de alguma falha, em que um tempo ínfimo com o propósito de reduzir danos aos condutores, população e equipamentos (BRAGA, 2011).

3.1.1 Terminologia de proteção

Segundo Mamede (2011), os termos aplicados seguem a seguinte definição:

- ✓ Bloqueio – condição que o dispositivo de proteção permanece, uma vez efetuado uma ou mais operações de abertura / fechamento de seus contatos (ciclo de operação), não os fechando novamente.
- ✓ Capacidade Nominal: valor máximo da corrente que um componente ou equipamento do circuito podem conduzir sem que o acréscimo de temperatura provoque danos aos equipamentos ou a outros elementos vizinhos.
- ✓ Capacidade de interrupção ou abertura: é a maior corrente que o equipamento pode interromper sem sofrer qualquer dano.

-
- ✓ Característica de Operação: trata-se da curva tempo x corrente em que o religador, relé ou outro dispositivo de proteção irá atuar.
 - ✓ Curto Circuito: ligação acidental, ou intencional entre dois ou mais pontos de um circuito, por meio de pequena impedância.
 - ✓ Coordenação: ato de dispor dois ou mais equipamentos de proteção em série seguindo determinada ordem de operação, estabelecida de acordo com uma filosofia e característica dos sistemas a ser protegido.
 - ✓ Corrente de Curto Circuito: elevação abrupta das correntes do circuito, que provoca arco-elétrico, podendo destruir componentes do sistema.
 - ✓ Corrente de Pick-up: é a menor corrente exigida para fechar os contatos de um equipamento de proteção, não existe garantia que para esta dada corrente o equipamento irá.
 - ✓ Equipamento Protetor: são equipamentos instalados à jusante⁵ da fonte.
 - ✓ Equipamento Protegido: são equipamentos de proteção instalados do lado da fonte.
 - ✓ Faltas: caracterizada por todo fenômeno acidental que impede o funcionamento de um sistema ou equipamento do SEP.
 - ✓ Sequência de Operação: caracteriza-se pela sequência de desligamentos e religamentos de um equipamento com a intenção de eliminar as faltas de natureza transitória, a fim de assegurar a continuidade dos serviços. Caso a falta persistir, a interrupção do fornecimento deverá ser feita pelo equipamento mais próximo do trecho defeituoso.
 - ✓ Seletividade: a capacidade do equipamento de proteção e coordenação mais próximo do defeito, de atuar de forma a desconectar e isolar a parte defeituosa do sistema elétrico.
 - ✓ Proteção Coordenada: é a proteção que foi projetada e ajustada que permite o restabelecimento automático em caso de faltas momentâneas e seletivas para as faltas sustentadas.

⁵ Jusante – referencial de um ponto mais distante a saída da subestação, é quando se está mais próximo aos centros de cargas.

- ✓ Proteção Seletiva: é a proteção projetada e ajustada para que, na ocorrência de quaisquer tipos de faltas, o equipamento protetor atue antes do dispositivo protegido, isolando assim o trecho defeituoso.
- ✓ Zona de Proteção: É delimitada pelo trecho da rede protegida por um dispositivo de proteção, sendo a partir do curto-circuito fase-terra que será calculada.

3.2 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

Normalmente são estes os dispositivos de proteção mais utilizados nos sistemas de proteção: chaves fusíveis, chaves fusíveis repetidoras, religadores (eletromecânicos e digitais) e seccionalizadores. Todos possuem características próprias para aplicação, operação e ajustes. Portanto, um correto ajuste se torna imprescindível para manter a segurança do sistema e dos equipamentos submetidos às correntes de curto circuito. Segundo Ramos (2014), quanto mais rápida a atuação da proteção, menores serão os danos causados aos equipamentos instalados no sistema. Os relés, os fusíveis incorporados aos disjuntores e religadores, em sua maioria, são os componentes responsáveis por desconectar o circuito defeituoso da fonte que está sendo alimentada que compõem os circuitos de proteção (CAMINHA, 2012).

3.2.1 Disjuntores e relés

Os disjuntores utilizados atualmente são a vácuo ou a SF6. São modernos e microprocessados. Portanto, tem grande flexibilidade de ajustes, que facilitam a coordenação da proteção (Cemig, 2017).

3.2.2 Religadores

Nos últimos anos, as concessionárias de energia elétrica têm intensificado a instalação dos religadores, equipamentos de automação com alto valor agregado, mas que oferecem amplos recursos de proteção, medição e controle. Sua aplicação pode ser para a proteção da saída de alimentadores, como para a proteção de linhas, ao longo do alimentador.

De acordo com Ramos (2014), a instalação destes equipamentos permite minimizar as interrupções de energia em função de defeitos transitórios, uma vez que é possível parametrizar o equipamento com intervalo de tempo entre os três ciclos de religamento automático de forma que o circuito permaneça ligado após o defeito transitório. Seu princípio está associado diretamente com as correntes de falta, tendo seu comportamento de atuação descrito pelas curvas de atuação do equipamento, as quais são plotadas no gráfico “tempo *versus* corrente”. Normalmente nestes dispositivos, quanto maior for a corrente de falta, menor será o tempo de atuação deste dispositivo.

Ainda segundo Ramos (2014), os religadores possuem um sistema temporizado, o qual possibilita o equipamento ser ajustado conforme necessidade do circuito:

- ✓ Operação Lenta: ajuste que possui maior tempo para extinguir defeitos permanentes, queimando os elos fusíveis entre o local do defeito e o religador.
- ✓ Operações Rápidas: ajuste que reduz a possibilidade de danificar o sistema protegido e ao mesmo tempo evita a queima de elos fusíveis à jusante do equipamento.

3.2.3 Seccionalizadores

É um dispositivo automático de proteção e sua aplicação está associada a um dispositivo de retaguarda. Usualmente um religador, instalado sempre dentro da zona de proteção do equipamento munido de religamento automático situado a montante⁶. (ND-4.15, 2017)

Este dispositivo não é capaz de interromper correntes de curto-circuito, apesar de poder interromper correntes até sua capacidade nominal.

O seccionalizador possui um sensor de sobrecorrente e um sistema para contagem de operações do equipamento de retaguarda. Seu funcionamento consiste quando circula uma corrente de curto-circuito passando pelo seccionalizador, o dispositivo será sensibilizado com sua retaguarda. A retaguarda irá abrir os contatos e, conseqüentemente, a corrente no dispositivo será interrompida ou cairá a um valor abaixo de seu valor de disparo. Com isso, ele começará sua contagem de operações

⁶ Montante – referencial de um ponto mais próximo a saída da subestação.

do equipamento a montante. Após determinado tempo, o religador irá energizar o circuito novamente. Se o defeito persistir, o processo se repetirá e o seccionizador irá acumular outra contagem. No momento em que a contagem for atingida o circuito protegido pelo seccionizador será desligado.

Se comparados às chaves fusíveis, apresentam vantagem na coordenação com o religador de retaguarda. Podem ser instalados em determinadas condições como:

- ✓ corrente é muito alta para utilização de elos fusíveis.
- ✓ onde a coordenação de proteção entre elos fusíveis não atenda aos objetivos.
- ✓ circuitos com grandes extensões e também circuitos problemáticos.

3.2.4 Chaves repetidoras

As chaves repetidoras é um dispositivo de proteção contra sobrecorrente, monofásico, com três operações de abertura. Trata-se de três chaves fusíveis base tipo C acopladas, montadas em conjunto, interligadas mecânica e eletricamente com possibilidade de receber elo fusível máximo 40T ou 40K. Apenas uma das três chaves do conjunto irá conduzir a corrente do circuito. Quando esta chave opera, um mecanismo transfere a corrente do circuito para a outra chave do circuito. É indicada para redes rurais com baixa corrente de curto-circuito. Ela permite que os primeiros defeitos transitórios sejam eliminados.

Os benefícios da instalação frente às chaves fusíveis convencionais é a redução do número de interrupções do sistema e a redução no número de deslocamentos para atendimento e restabelecimento do sistema o que acarreta na melhoria da continuidade e fornecimento. Portanto há considerável redução dos custos operacionais, sobretudo com as equipes que realizam esses atendimentos.

3.2.5 Chaves fusíveis

A chave fusível é um dispositivo com estrutura projetada para a conexão de um cartucho contendo um elo fusível entre seus terminais. O conjunto chave e elo fusível formam um dispositivo de proteção instalado por fase em sistemas de distribuição com a finalidade de interrupção do circuito em condições de sobrecorrente.

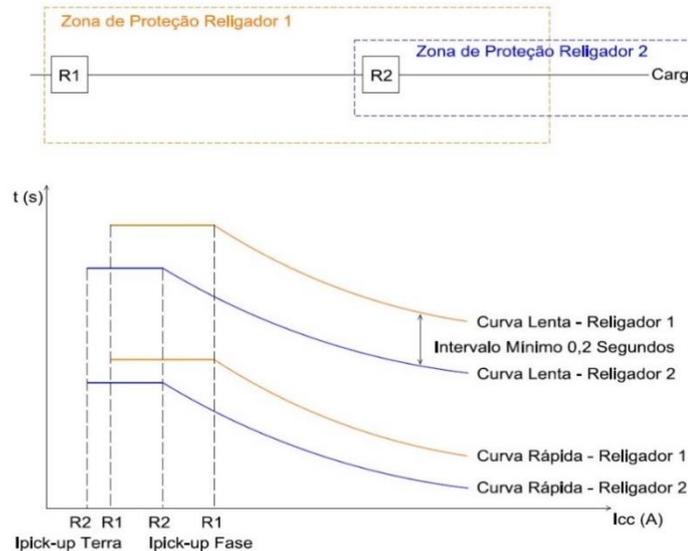
A operação de uma chave fusível ocorre quando há incidência de perturbação à jusante do ponto do circuito onde está localizada, há um acréscimo significativo no valor de corrente elétrica, superior ao valor nominal do elemento fusível ocasionando a queima deste componente. Normalmente sua principal causa de atuação são as descargas atmosféricas e os curtos-circuitos na rede, provenientes de galhos de árvores que tocam nos condutores.

4 ESTUDO DE PROTEÇÃO

Os dispositivos de proteção garantem a segurança do sistema da população, mas é importante enfatizar que é essencial seguir os critérios de aplicação e de coordenação para uma correta operação destes dispositivos (RAMOS, 2014).

4.1 COORDENAÇÃO ENTRE RELIGADOR E RELIGADOR

A coordenação religador-religador tem como base a análise da corrente mínima de atuação e das curvas de tempo x corrente, de tal forma que o religador da retaguarda não opere na curva lenta para qualquer valor de curto-circuito na zona de proteção mútua. É admissível a operação simultânea nas curvas rápidas, entretanto, nas curvas temporizadas a seletividade é obrigatória (com um intervalo mínimo de 0,2 segundos, não ocorrerão operações simultâneas). No caso de se obter coordenação nas curvas rápidas os dois religadores atuarão em tempos distintos, primeiro o religador protetor, em seguida o religador protegido; só depois então, é que o religador protetor atuará na curva temporizada (Cemig, 2017) que poderá ser constatado na Figura 2.

Figura 2: Coordenação Religador – Religador ⁷


Fonte: Cemig, 2017

4.2 COORDENAÇÃO ENTRE RELIGADOR E ELO FUSÍVEL

Segundo Mamede (2011), o afastamento entre a curva tempo *versus* corrente da unidade de sobrecorrente de fase e de neutro e a curva tempo *versus* corrente do elo fusível em todo o trecho protegido pelo religador deve ser 0,20 s, para garantir a coordenação. Portanto, nesta coordenação o elo fusível deve, em condições ideais, suportar sem danificar, todas as operações rápidas do religador na tentativa de extinguir as faltas transitórias.

Conforme a ND-5.15 (Cemig, 2017) as faltas permanentes, o religador deve dar tempo suficiente ao elo fusível para que este possa fundir, o que evitará a fusão parcial do elo e muito possivelmente problemas de descoordenação. o religador deve dar tempo suficiente ao elo fusível para que este possa fundir, o que evitará a fusão parcial do elo e muito possivelmente problemas de descoordenação.

Recomenda-se que a coordenação entre religador e o elo fusível seja projetada com o ajuste do religador para duas operações na curva rápida e para duas operações em curva lenta (temporizada).

⁷ Disponível em: < https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/07/nd_4_15_000001p.pdf>. Acesso em 19 nov. 2021.

4.2.1 Aplicação de elo fusível

De acordo com Cemig (2010) e Mamede (2011), nas concessionárias de energia elétrica é rotineiro a utilização de chaves fusíveis para proteção de ramais de distribuição, pois este dispositivo possui baixo custo de instalação e fácil manuseio. Seguem alguns critérios preestabelecidos:

- ✓ Conhecer a corrente de carga ao longo do alimentador de média tensão.
- ✓ Conhecer as correntes de curto-circuito trifásica, bifásica e fase-terra ao longo do ramal estudado.
- ✓ Assegurar que a corrente nominal do elo fusível seja igual ou inferior a 25% da corrente de curto-circuito fase-terra mínima possível no final do trecho para uma impedância de contato de pelo menos 40 Ω .
- ✓ A corrente nominal da chave deve ser igual a pelo menos 150% da corrente nominal do elo fusível que será utilizado na proteção do ramal de distribuição.
- ✓ A corrente nominal do elo fusível deve ser igual ou superior a 150% da corrente máxima de carga no ponto de alocação da chave.
- ✓ Prever o elo fusível para suportar transferências de cargas nos casos onde o sistema não for radial.

4.3 COORDENAÇÃO ENTRE ELOS FUSÍVEIS

Para cada elo fusível há uma curva de corrente *versus* tempo particular, o qual seu tempo de abertura está associado a um determinado valor de corrente. Podem ser classificados em três principais grupos: os elos tipo K que possuem atuação rápida, os tipos T de atuação lenta, e os ideais para transformadores que são os elos tipo H, que são os tipos de alto surto (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2011).

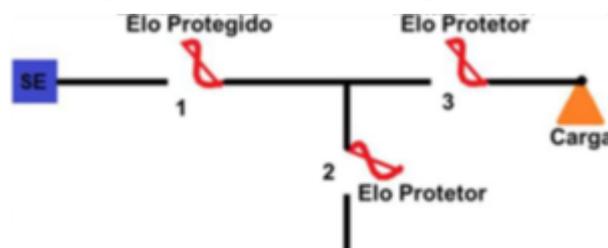
- ✓ Tipo H: são elos que suportam correntes de curta duração (*inrush*⁸, partida de motores e surtos atmosféricos), para que não ocorram interrupções desnecessárias durante a energização. São utilizados em proteção de transformadores de distribuição (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2011). São especialmente desenhados para proteção contra sobrecargas e sobrecorrente.

⁸ Inrush – corrente de curto.

- ✓ Tipo K: apresenta tempo de atuação rápido, sendo utilizados geralmente na proteção de ramais de alimentadores em redes aéreas de distribuição. São agrupados em dois diferentes tipos que indicam ao usuário somente a coordenação entre os fusíveis dentro de um mesmo grupo:
 - Preferenciais: 6,10,15,25,40,65,100,140 e 200.
 - Não preferenciais: 8,12,20,30,50 e 80.
- ✓ Tipo T: apresenta tempo de atuação lento, são mais lentos para altas correntes, por isso permitem uma coordenação numa faixa mais ampla de corrente. Também são divididos em preferenciais e não preferenciais.

É essencial a aplicação de critérios mínimos de coordenação e seletividade, a fim de garantir a interrupção do menor número possível de clientes. Para uma melhor compreensão quanto à disposição dos elos fusíveis, é importante entender os conceitos de elo protetor e elo protegido. A figura 3 apresenta a posição do elo fusível protegido e protetor, sendo possível ter a percepção de que a função do elo protetor é proteger o elo protegido de possíveis falhas na rede de média tensão a jusante deste.

Figura 3: Posição dos Elos Fusível Protegido e Protetor



Fonte: Adaptada de Mamede Filho e Mamede (2011)

5 ESTUDO DE CASO

O estudo das redes de distribuição para minimizar as frequências simples e as sustentadas é devido a alta incidência de curtos-circuitos no sistema elétrico. Elas podem ser identificadas em diferentes partes do sistema de distribuição, como, transformadores com vazamento, isoladores com pequenas trincas ou nos condutores com rompimento que resulta em elevada circulação de corrente, gerando distúrbios de tensão com danos no sistema e em equipamentos. Não obstante a necessidade de elaboração de um sistema projetado que atue de forma seletiva e coordenada para

as frequências e que em faltas, afete o menor número de clientes. Segundo Farias (2017) as faltas são definidas como:

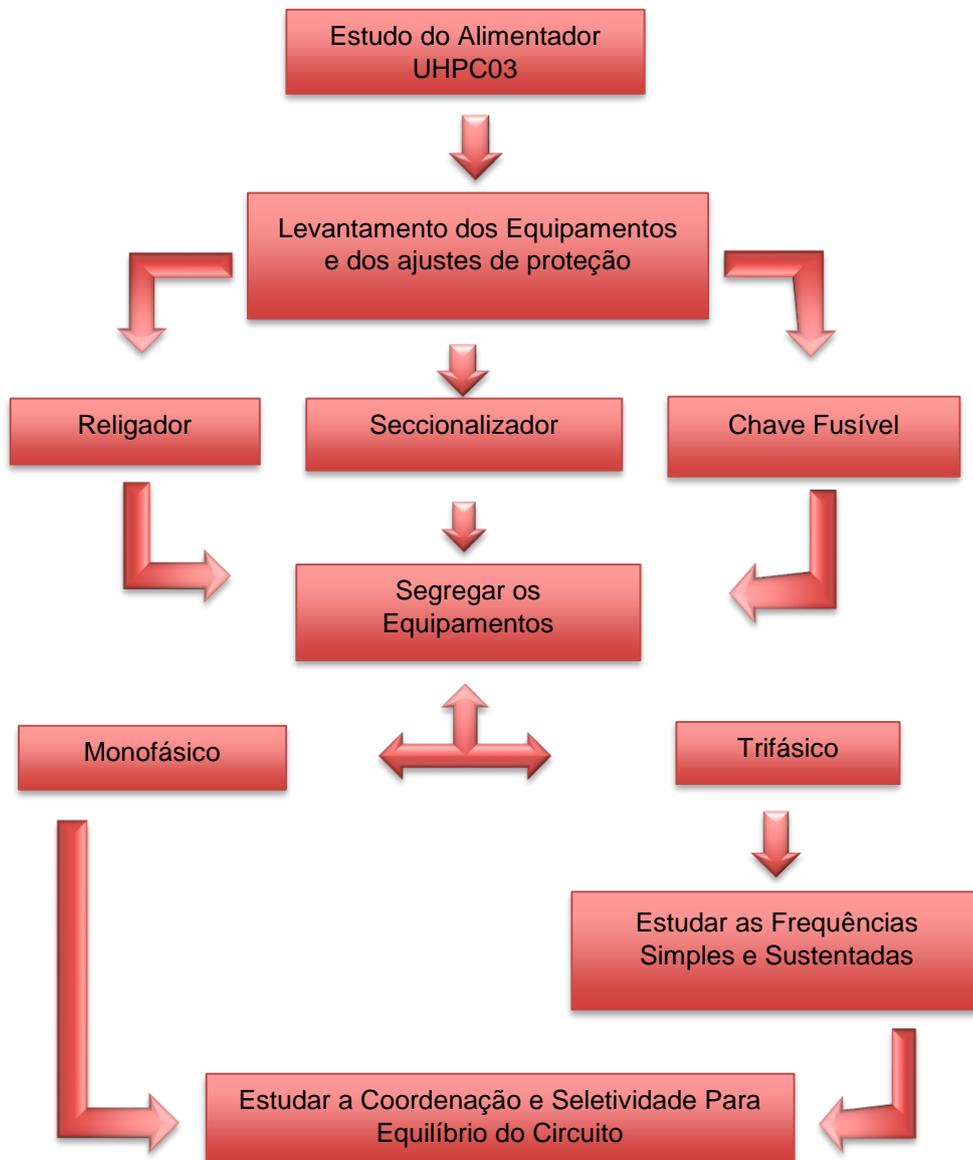
- ✓ **Simples ou Temporárias:** Após a operação do equipamento, sendo ele o religador ou relé, a falta é eliminada e o circuito é restabelecido. Muitas vezes, pelo simples contato de um galho de árvores, é detectada uma falha e rapidamente essa falta é eliminada. As causas mais comuns de defeitos transitórios são: descargas atmosféricas, sobretensões de manobra, contatos momentâneos entre condutores, abertura de arco elétrico e materiais sem isolamento adequada.
- ✓ **Permanentes ou Sustentadas:** É quando a falta temporária evoluiu para a falta tipo permanente, onde não houve o restabelecimento do circuito porque faltou a operação adequada do equipamento de proteção. Nestes casos, é necessário a intervenção das equipes de manutenção para detecção e correção do defeito para normalizar o circuito. Pode-se destacar como possíveis causas: acidentes de trânsito que envolvam os postes de energia, descargas atmosféricas, quebra de isoladores e cruzetas, quedas de árvores ou de galhos sobre as redes e incidência de animais nas estruturas.

5.1 O SISTEMA ELÉTRICO ATUAL

A subestação de Matias Barbosa (SE UHPC) é a estação responsável pelo fornecimento de energia elétrica para a região objeto do estudo de caso cuja tensão nominal de saída é de 22 kV. Atualmente, o alimentador UHPC03 é responsável por atender 5875 clientes estratificados em: 06 (seis) consumidores primários ligado em MT, 138 (cento e trinta e oito) consumidores rurais, 5731 (cinco mil setecentos e trinta e um) clientes urbanos atendidos em BT. Quanto a sua tipologia, o alimentador possui extensão total de 96,39km de comprimento. Quanto ao tipo de rede, 88,06 km são constituídos de redes aéreas (RDA) convencional, apenas 7 km de rede protegida (RDP) e 0,02 de rede aérea isolada de MT.

5.2 COLETA DE DADOS

Com objetivo de guiar a realização do estudo de caso foi desenvolvido um fluxograma (Figura 4) para representar as etapas de elaboração e execução do projeto.

Figura 4: Fluxograma do Projeto


Fonte: Própria Autora, (2021)

Este estudo partiu do levantamento em campo dos equipamentos de proteção do alimentador UHPC03, estratificando-os por tipo e fases (trifásicos e monofásicos), para elaboração do diagrama unifilar com todos os equipamentos instalados em campo.

A Figura 5 retrata o diagrama unifilar do alimentador UHPC03 com seus principais equipamentos de proteção a partir da SE – Matias Barbosa. É possível observar que o estudo abordou os principais equipamentos de proteção que compõem o sistema de distribuição responsáveis pelo fornecimento de energia.

Figura 5: Diagrama Unifilar do Alimentador UHPC03



Fonte: Própria Autora, 2021

Através do Sistema NiX Proteasy⁹ foram obtidos os valores das correntes de curto-circuito em três pontos do alimentador que foram utilizados para verificar a coordenação e seletividade entre os equipamentos de proteção. É possível observar pelo diagrama unifilar que o alimentador possui várias ramificações. Mas neste estudo foram abordados os equipamentos de proteção que compõem o sistema de distribuição responsável pelo fornecimento de energia para a área urbana de Matias Barbosa. Foi elaborada uma tabela com os valores de ajustes de proteção e alguns dados sobre as correntes de curto-circuito a jusante¹⁰ da SE, Religador UHPC 3H4. A Tabela 1 estratifica estes valores.

Tabela 1 – Dados dos Dispositivos de Proteção

RELIGADORES			
	SE UHPC	201692 (Trifásico)	194797 (Trifásico)
<i>Pick up</i> de fase [A]	200	180	120
<i>Pick up</i> de neutro [A]	50	45	40
Curvas rápidas [s]	Não possui	Não possui	1
Curvas lentas [s]	4	3	3

Fonte: NiX Proteasy, 2021

A partir dos dados do software foi possível obter o relatório das medições de corrente dos Religadores 201692 e 194797 no dia 17/12/18, com objetivo de analisar

⁹ Nix Proteasy – Software que auxilia nos cálculos dos parâmetros de proteção entre os equipamentos instalados nos sistemas de cadastro da rede georreferenciada.

o equilíbrio de corrente de carga entre as fases. A Figura 6 apresenta uma amostra das medições de corrente, onde observou-se uma elevação acentuada nos níveis de corrente do religador 201692, principalmente nos horários de 10:43:28, 11:03:58, 1:46:29 e 2:42:05.

Conforme ND-4.15 (Cemig, 2017), os valores de Pick-up de fase e neutro à corrente nominal dos religadores com a curva de tempo definido limitou-se a 0,20 segundos. Foi verificado que com este ajuste é possível proteger o equipamento e os cabos da rede de média tensão. É premissa utilizar o critério de 200 milissegundos entre as curvas de todos os equipamentos inseridos no circuito para atingir as proteções e coordenações sem que haja perda de seletividade.

Figura 6: Relatório de Comandos, Eventos e alarmes do Xomni registrados no Religador 201692.

Relatório de Comandos, Eventos e Alarmes do Xomni									
Elaborado por Vicente Soares - Atualizado em 27/07/2017									
Data Início:	17/12/2018	TAG ou Equipeto:	201692	Observação: Existe um atraso entre o histórico e o tempo real em torno de 30 minutos. Neste intervalo podem não aparecer alguns dados requisitados.					
Data Fim:	17/12/2018								
Tempo do Relatório:	00:00:15								
DATA	HORA	DESCRIÇÃO	AÇÃO	EQUIPAMENTO	MAIHA	MATRÍCULA	FCNTE	Eng	
17/12/2018	10:43:23 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=1	R201692	MANH-F		ALARME	R201692QAB_ED	
17/12/2018	10:48:25 AM	RELIGADOR DE REDE	NULO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QPC_ED	
17/12/2018	10:49:23 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QAB_ED	
17/12/2018	10:49:25 AM	PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE	OPEROU	R201692	MANH-F		SOE	R201692PRTPR_ED	
17/12/2018	10:43:28 AM	DETECCAO DE CORRENTE DE FALTA	MUITO ALTA=419	R201692	MANH-F		ALARME	R201692IBRFAL_EA	
17/12/2018	10:43:28 AM	DETECCAO DE CORRENTE DE FALTA	MUITO ALTA=372	R201692	MANH-F		ALARME	R201692INPAL_EA	
17/12/2018	10:43:29 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=1	R201692	MANH-F		ALARME	R201692QAF_CD	
17/12/2018	10:43:33 AM	PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE	NORMAL	R201692	MANH-F		SOE	R201692PRTPR_ED	
17/12/2018	10:48:33 AM	RELIGADOR DE REDE	NULO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QAB_ED	
17/12/2018	10:49:33 AM	RELIGADOR DE REDE	FECHADO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QPC_ED	
17/12/2018	11:03:53 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=1	R201692	MANH-F		ALARME	R201692QAB_ED	
17/12/2018	11:03:53 AM	RELIGADOR DE REDE	NULO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QPC_ED	
17/12/2018	11:03:53 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QAB_ED	
17/12/2018	11:03:53 AM	PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE	OPEROU	R201692	MANH-F		SOE	R201692PRTPR_ED	
17/12/2018	11:03:58 AM	DETECCAO DE CORRENTE DE FALTA	MUITO ALTA=493	R201692	MANH-F		ALARME	R201692IBRFAL_EA	
17/12/2018	11:03:58 AM	DETECCAO DE CORRENTE DE FALTA	MUITO ALTA=425	R201692	MANH-F		ALARME	R201692INPAL_EA	
17/12/2018	11:03:58 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=1	R201692	MANH-F	MTS6458	ALARME	R201692QAF_CD	
17/12/2018	11:04:05 AM	PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE	NORMAL	R201692	MANH-F		SOE	R201692PRTPR_ED	
17/12/2018	11:04:05 AM	RELIGADOR DE REDE	NULO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QAB_ED	
17/12/2018	11:04:05 AM	RELIGADOR DE REDE	FECHADO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QPC_ED	
17/12/2018	1:46:23 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=1	R201692	MANH-F		ALARME	R201692QAB_ED	
17/12/2018	1:46:23 PM	RELIGADOR DE REDE	NULO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QPC_ED	
17/12/2018	1:46:23 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QAB_ED	
17/12/2018	1:46:23 PM	PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE	OPEROU	R201692	MANH-F		SOE	R201692PRTPR_ED	
17/12/2018	1:46:29 PM	DETECCAO DE CORRENTE DE FALTA	MUITO ALTA=494	R201692	MANH-F		ALARME	R201692IBRFAL_EA	
17/12/2018	1:46:29 PM	DETECCAO DE CORRENTE DE FALTA	MUITO ALTA=665	R201692	MANH-F		ALARME	R201692INPAL_EA	
17/12/2018	1:46:29 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=1	R201692	MANH-F		ALARME	R201692QAF_CD	
17/12/2018	1:46:33 PM	PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE	NORMAL	R201692	MANH-F		SOE	R201692PRTPR_ED	
17/12/2018	1:46:33 PM	RELIGADOR DE REDE	NULO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QAB_ED	
17/12/2018	1:46:33 PM	RELIGADOR DE REDE	FECHADO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QPC_ED	
17/12/2018	2:42:01 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=1	R201692	MANH-F		ALARME	R201692QAB_ED	
17/12/2018	2:42:01 PM	RELIGADOR DE REDE	NULO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QPC_ED	
17/12/2018	2:42:01 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QAB_ED	
17/12/2018	2:42:01 PM	PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE	OPEROU	R201692	MANH-F		SOE	R201692PRTPR_ED	
17/12/2018	2:42:05 PM	DETECCAO DE CORRENTE DE FALTA	MUITO ALTA=485	R201692	MANH-F		ALARME	R201692IBRFAL_EA	
17/12/2018	2:42:05 PM	DETECCAO DE CORRENTE DE FALTA	MUITO ALTA=544	R201692	MANH-F		ALARME	R201692INPAL_EA	
17/12/2018	2:42:06 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=1	R201692	MANH-F		ALARME	R201692QAF_CD	
17/12/2018	2:42:11 PM	RELIGADOR DE REDE	NULO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QAB_ED	
17/12/2018	2:42:11 PM	RELIGADOR DE REDE	FECHADO	R201692	MANH-F		SOE	R201692QPC_ED	
17/12/2018	2:42:11 PM	PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE	NORMAL	R201692	MANH-F		SOE	R201692PRTPR_ED	
17/12/2018	2:42:15 PM	RELIGADOR DE REDE	INDEFINIDO=0	R201692	MANH-F		ALARME	R201692QAF_CD	
17/12/2018	3:08:01 PM	2 - Ok - Realizar Integração em Remota - R201692	2 - OK	R201692		MTS5591	EVENTOS	R20169227CA_ED	
17/12/2018	11:14:38 PM	VCA DO CONTROLE DO RELIGADOR	FALTA TENSÃO	R201692	MANH-F		SOE	R20169227CA_ED	
17/12/2018	11:15:10 PM	VCA DO CONTROLE DO RELIGADOR	NORMAL	R201692	MANH-F		SOE	R20169227CA_ED	

Fonte: NiX Proteasy, 2021

No circuito a jusante do religador 201692, foi possível analisar também que no religador 194797 houve religamentos automáticos, ou seja, neste mesmo período de 10:43:06, 11:03:41, 11:57:08, 12:19:11, 1:46:10 e 2:41:48 foi detectado correntes de falta.

A Figura 7 apresenta ações ocorridas nos mesmos horários. Portanto, conforme demonstrado no coordenograma, não há seletividade entre as curvas lentas de fase dos Religadores 201692 e 194797.

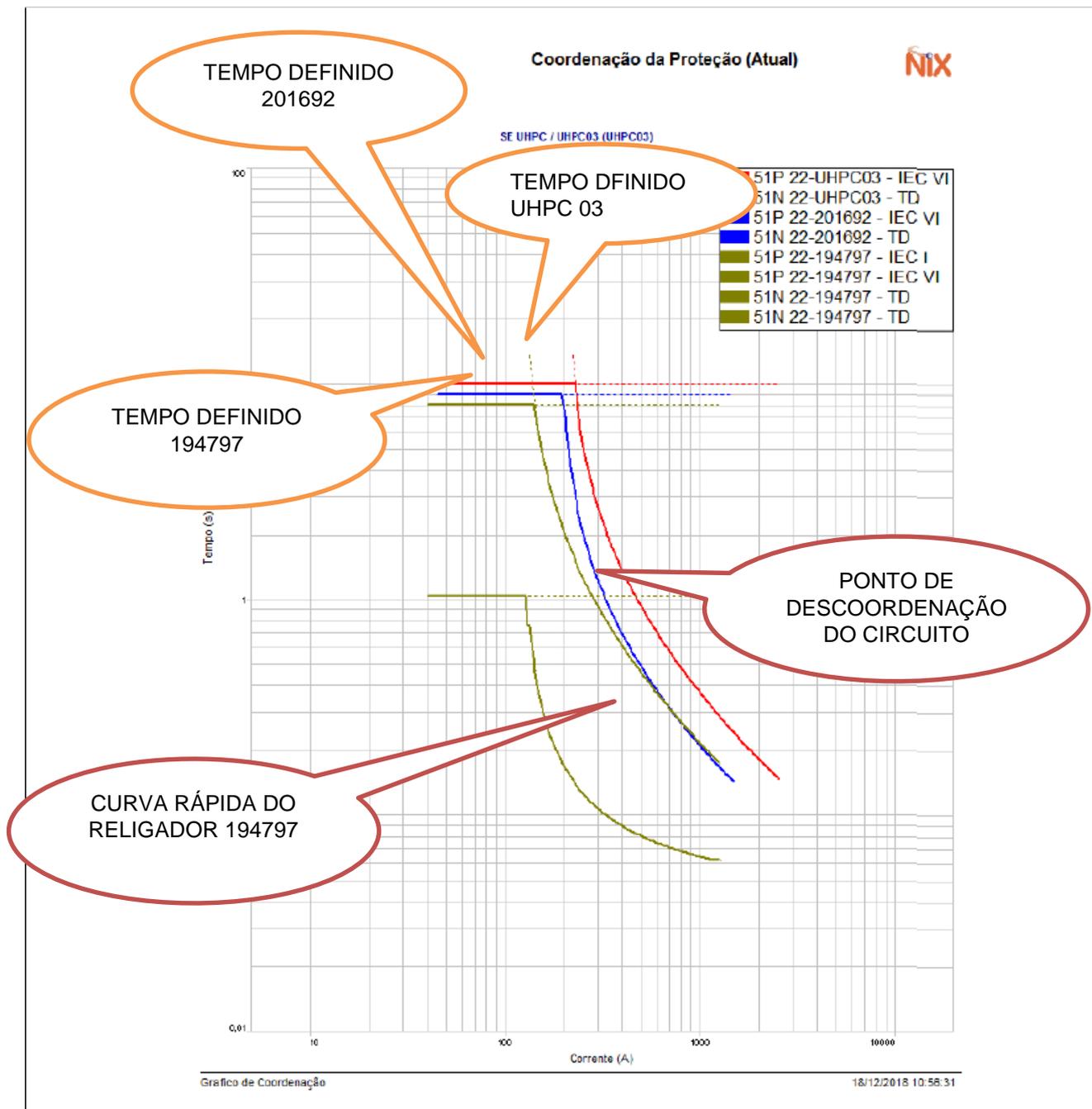
Figura 7: Relatório de Comandos, Eventos e alarmes do Xomni registrados no Religador 194797.

Relatório de Comandos, Eventos e Alarmes do Xomni								
Elaborado por Vicente Soares - Atualizado em 27/07/2017								
Data Início:	17/12/2018	TAG ou Equipto:		194797	Observação: Existe um retardo entre o histórico e o tempo real em torno de 30 minutos. Neste intervalo podem não aparecer alguns dados requisitados.			
Data Fim:	17/12/2018							
Tempo do Relatório:	00:00:29							
DATA	HORA	DESCRIÇÃO	AÇÃO	EQUIPAMENTO	MALHA	MATRÍCULA	FONTE	Tag
17/12/2018	10:43:06 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=0	R194797	MANTI-JF		ALARME	R194797EQAF_ED
17/12/2018	10:43:06 AM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	OPEROU	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	10:43:06 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	10:43:06 AM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	NORMAL	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	10:43:16 AM	RELIGADOR DE REDE	FECHADO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	10:43:27 AM	VCA DO CONTROLE DO RELIGADOR	FALTA TENSÃO	R194797	MANTI-JF		SOE	R19479727CA_ED
17/12/2018	10:43:40 AM	VCA DO CONTROLE DO RELIGADOR	NORMAL	R194797	MANTI-JF		SOE	R19479727CA_ED
17/12/2018	11:03:41 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=0	R194797	MANTI-JF	MT56458	ALARME	R194797EQAF_ED
17/12/2018	11:03:41 AM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	OPEROU	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	11:03:41 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	11:03:41 AM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	NORMAL	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	11:03:51 AM	RELIGADOR DE REDE	FECHADO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	11:57:06 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=0	R194797	MANTI-JF	MT56458	ALARME	R194797EQAF_ED
17/12/2018	11:57:06 AM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	OPEROU	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	11:57:06 AM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	11:57:06 AM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	NORMAL	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	11:57:16 AM	RELIGADOR DE REDE	FECHADO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	12:19:11 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=0	R194797	MANTI-JF		ALARME	R194797EQAF_ED
17/12/2018	12:19:11 PM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	OPEROU	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	12:19:11 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	12:19:11 PM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	NORMAL	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	12:19:22 PM	RELIGADOR DE REDE	FECHADO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	1:46:10 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=0	R194797	MANTI-JF		ALARME	R194797EQAF_ED
17/12/2018	1:46:10 PM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	OPEROU	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	1:46:10 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	1:46:10 PM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	NORMAL	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	1:46:20 PM	RELIGADOR DE REDE	FECHADO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	1:46:46 PM	2 - Ok - Realizar Integridade em Remota - R194797	2 - Ok	R194797		MT54711	EVENTOS	R19479727CA_ED
17/12/2018	2:41:49 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO=0	R194797	MANTI-JF		ALARME	R194797EQAF_ED
17/12/2018	2:41:49 PM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	OPEROU	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	2:41:49 PM	RELIGADOR DE REDE	ABERTO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	2:41:49 PM	PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE FASE	NORMAL	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797PRTFBR_ED
17/12/2018	2:41:59 PM	RELIGADOR DE REDE	FECHADO	R194797	MANTI-JF		SOE	R194797EQAF_ED
17/12/2018	11:14:54 PM	VCA DO CONTROLE DO RELIGADOR	FALTA TENSÃO	R194797	MANTI-JF		SOE	R19479727CA_ED
17/12/2018	11:15:10 PM	VCA DO CONTROLE DO RELIGADOR	NORMAL	R194797	MANTI-JF		SOE	R19479727CA_ED

Fonte: NiX Proteasy, 2021

O coordenograma 1, representado na Figura 8, confirma que após o primeiro religamento pela curva lenta de fase do religador 194797, persiste a falta, realizando a próxima abertura pelo religador 201692 à montante.

Figura 8: Coordenograma 1 – Simulação de coordenação a montante do religador 194797 (TAVRIDA).

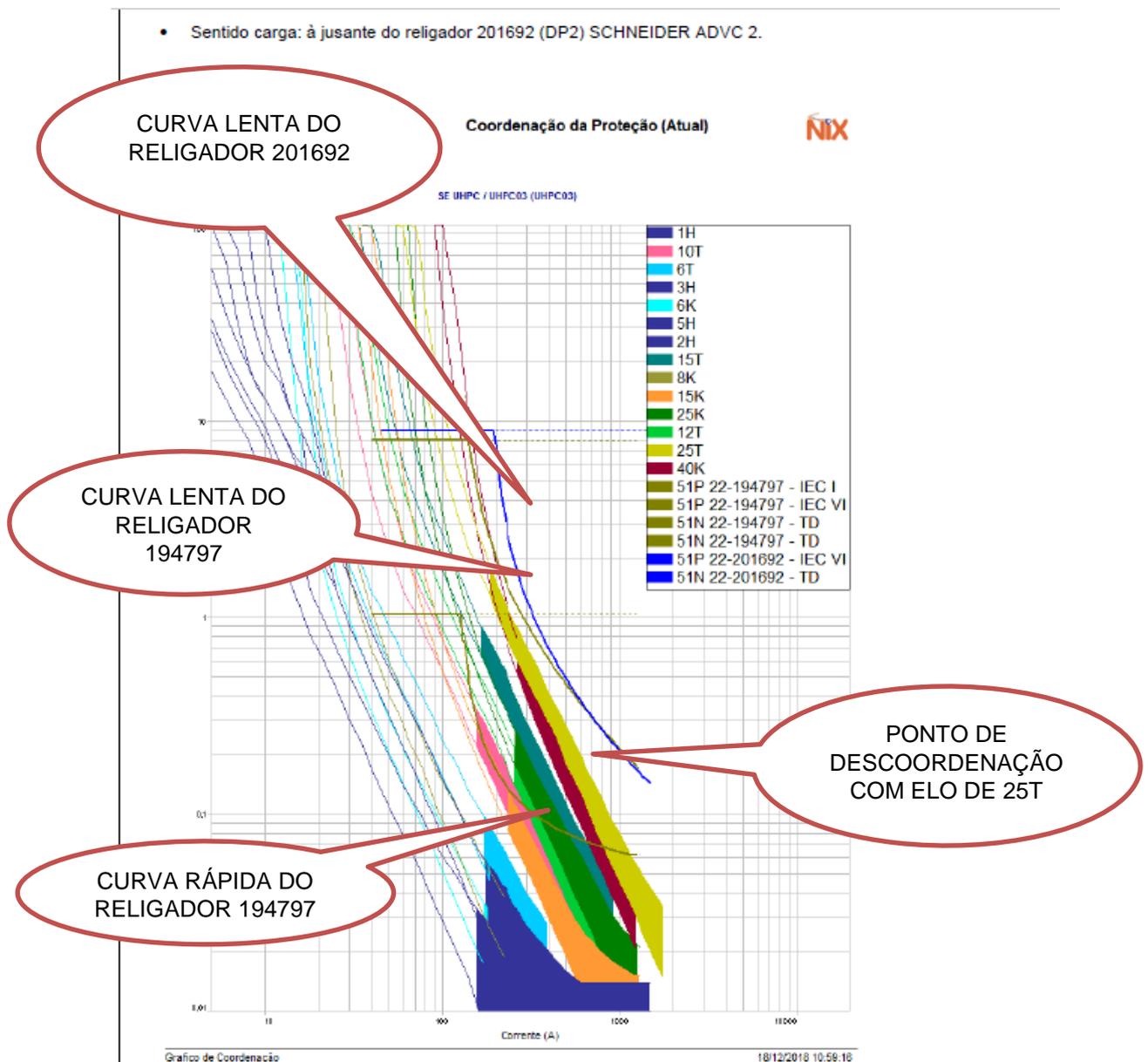


Fonte: NiX Proteasy, 2021

Constatou-se que a rede estudada não estava corretamente ajustada. Ocorreu uma descoordenação entre o religador e os elos fusíveis por atuação indevida das proteções instantâneas, conforme observa-se na Figura 9.

Esta descoordenação foi detectada no elo fusível de 25T da chave 122414 com a curva lenta do religador 194797, ou seja, para o curto circuito à jusante do religador, afetou todos os clientes a montante deste fusível que deveria ter atuado eliminando a falta.

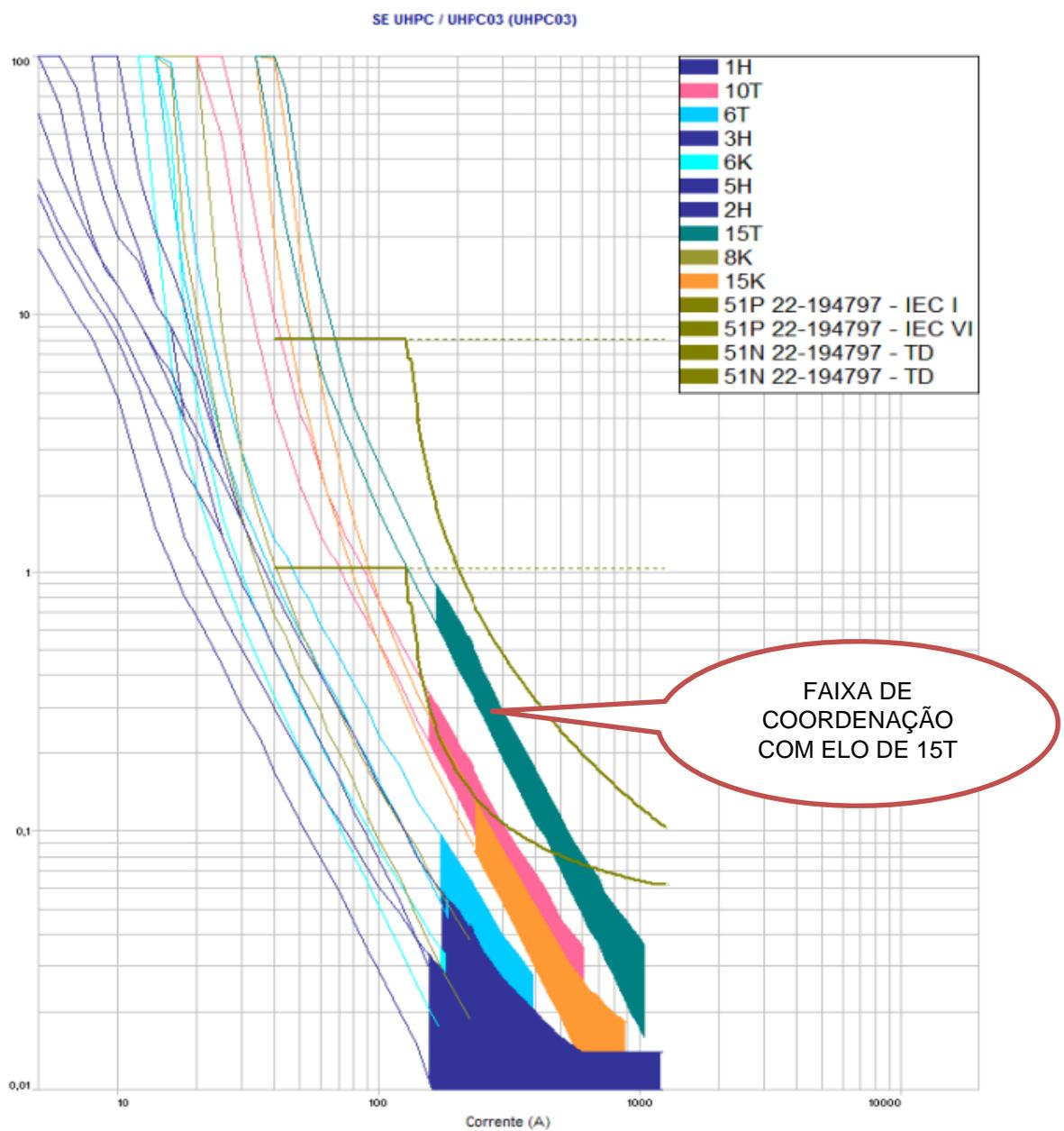
Figura 9: Coordenograma 2 – Simulação de coordenação sentido carga à jusante do religador 201692 (SCHNEIDER).



Fonte: NiX Proteasy, 2021

Após análise destes dados, este estudo de caso promoveu a substituição do elo de 25T para o elo de 15T na chave 122414, fazendo que tenha um aumento da faixa de atuação deste elo, evitando assim que as faltas afetassem os clientes a montante da chave 122414 caso houvesse faltas temporárias ou permanentes neste circuito que encontra-se representado na Figura 10.

Figura 10: Coordenograma 3 – Coordenograma do Religador 194797 sentido às cargas com o elo de 15T

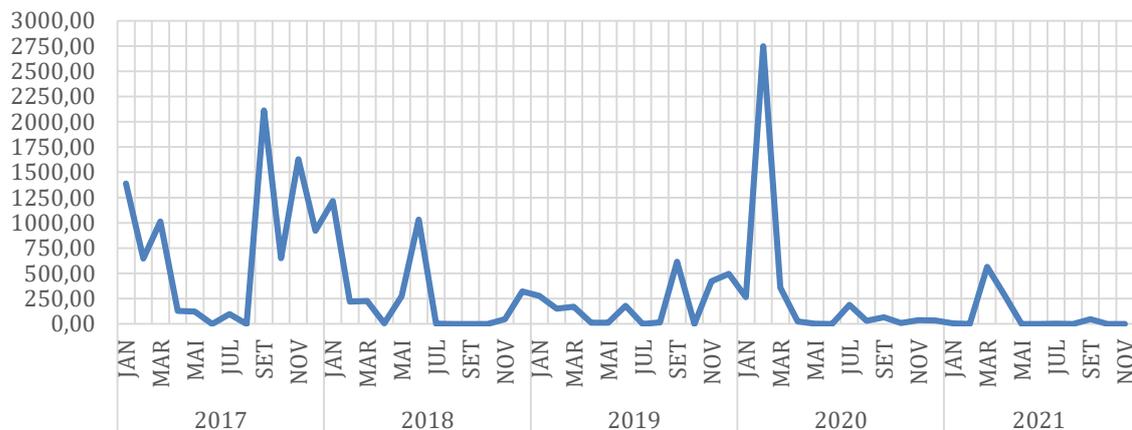


Fonte: NiX Proteasy, 2021

De acordo com Gráfico 1, pode-se observar interrupções em todos os períodos do ano, com quantidade maior de tempo de interrupção nos meses de janeiro a março de 2020 chegando a 2750 minutos de clientes interrompidos.

Gráfico 1: Duração das interrupções de energia no circuito

Duração das Interrupções de Consumidores MT/BT - em minutos



Fonte: Cemig, 2021

5.3 SIMULAÇÃO E PROPOSTA DE MELHORIA NO SEP

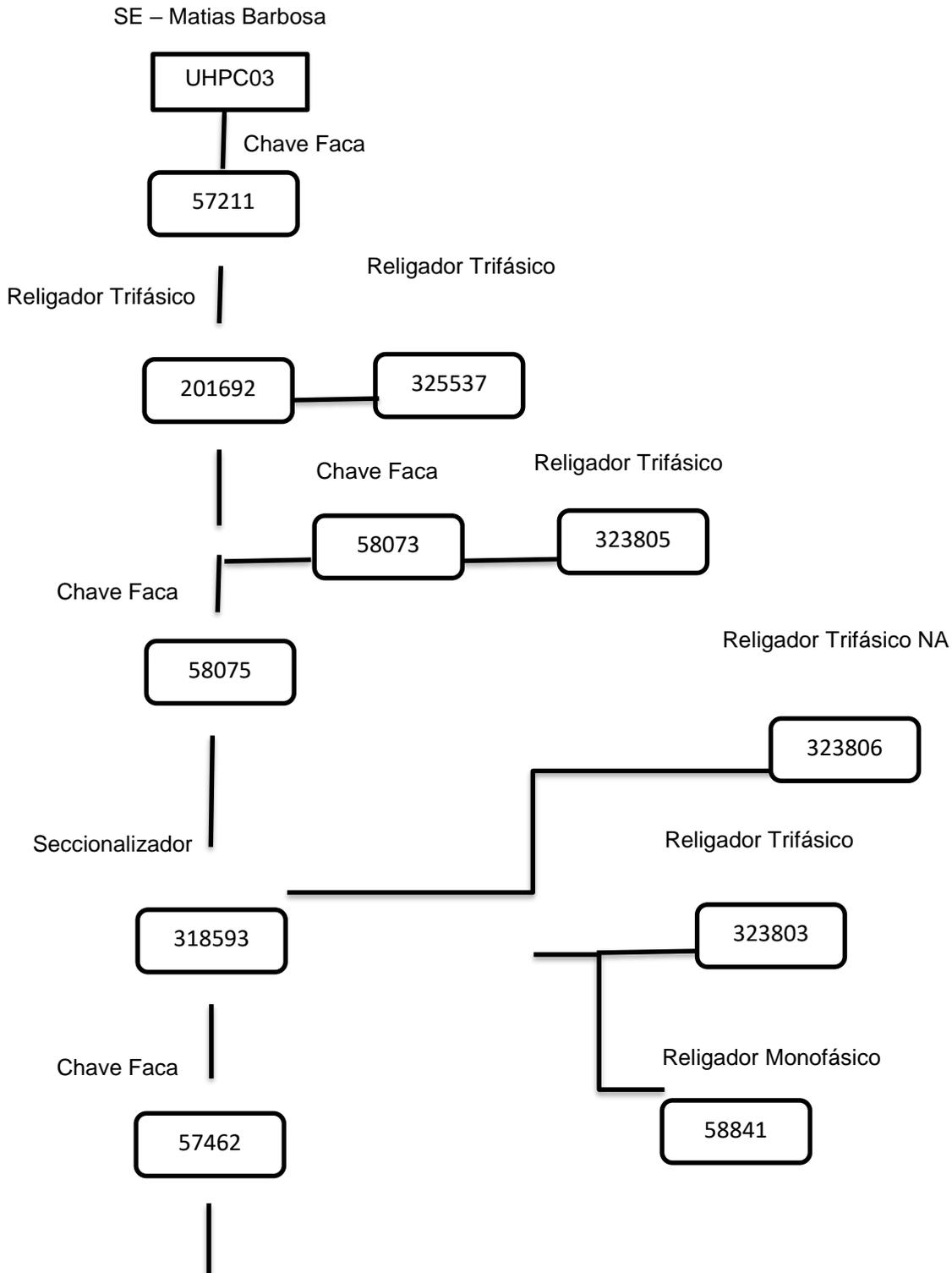
As simulações foram realizadas através de um software comercial, envolvendo os ajustes de proteção implementados em campo foi possível detectar as falhas de coordenação e seletividade entre os equipamentos de proteção do alimentador UHPC 03, objetos deste estudo.

Foram adotados para os estudos de coordenação da proteção os níveis de curto circuito fornecidos pelo GEMINI (curto trifásico, curto fase-terra máximo e curto fase terra mínimo) e considerada uma impedância de curto circuito de 40 Ω .

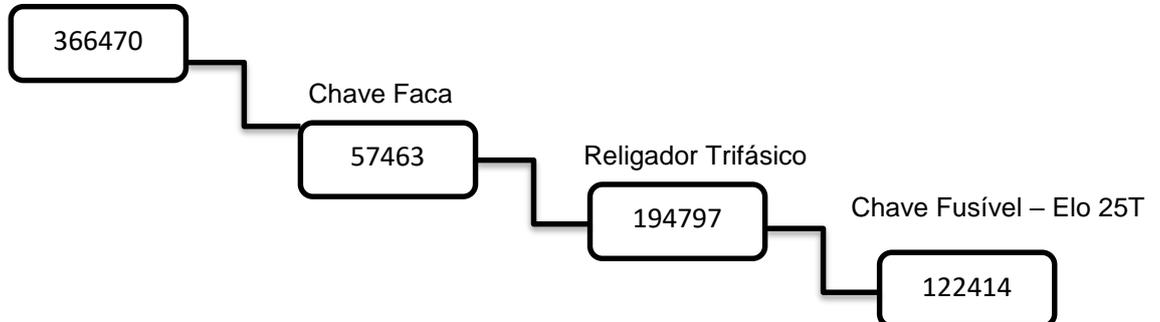
Para o sucesso da operação do sistema, a modelagem da rede estudada deve estar corretamente ajustada, caso contrário é possível que ocorra descoordenação entre o religador e os elos fusíveis por atuação indevida das proteções instantâneas. Inicialmente, os equipamentos de rede foram estratificados no diagrama unifilar para definir as simulações que seriam realizadas tendo como ponto de partida a SE Matias Barbosa e, por conseguinte os equipamentos a jusante desta subestação.

A figura 11 apresenta, em sequência, todos os equipamentos de proteção que integram o UHPC03, tendo como ponto de partida a SE até a cidade de Matias Barbosa.

Figura 11: Diagrama Unifilar do Alimentador UHPC03



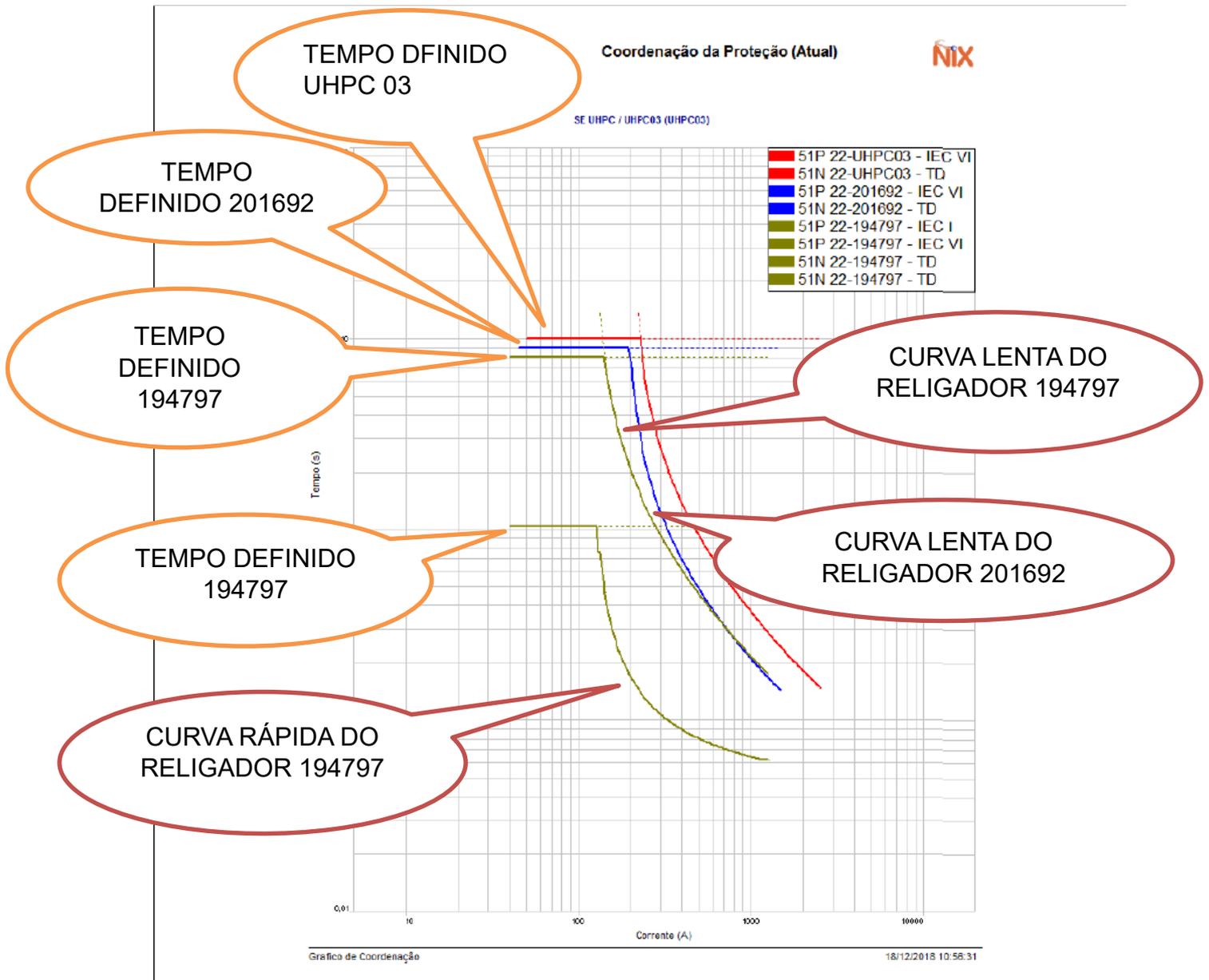
Chave Faca



Fonte: Própria Autora, 2021

Em seguida, o coordenograma 4 apontando os problemas de coordenação dos equipamentos envolvidos após as alterações propostas. A figura 12 apresenta a simulação de todos os equipamentos a jusante partindo da SE, com a situação atual em campo.

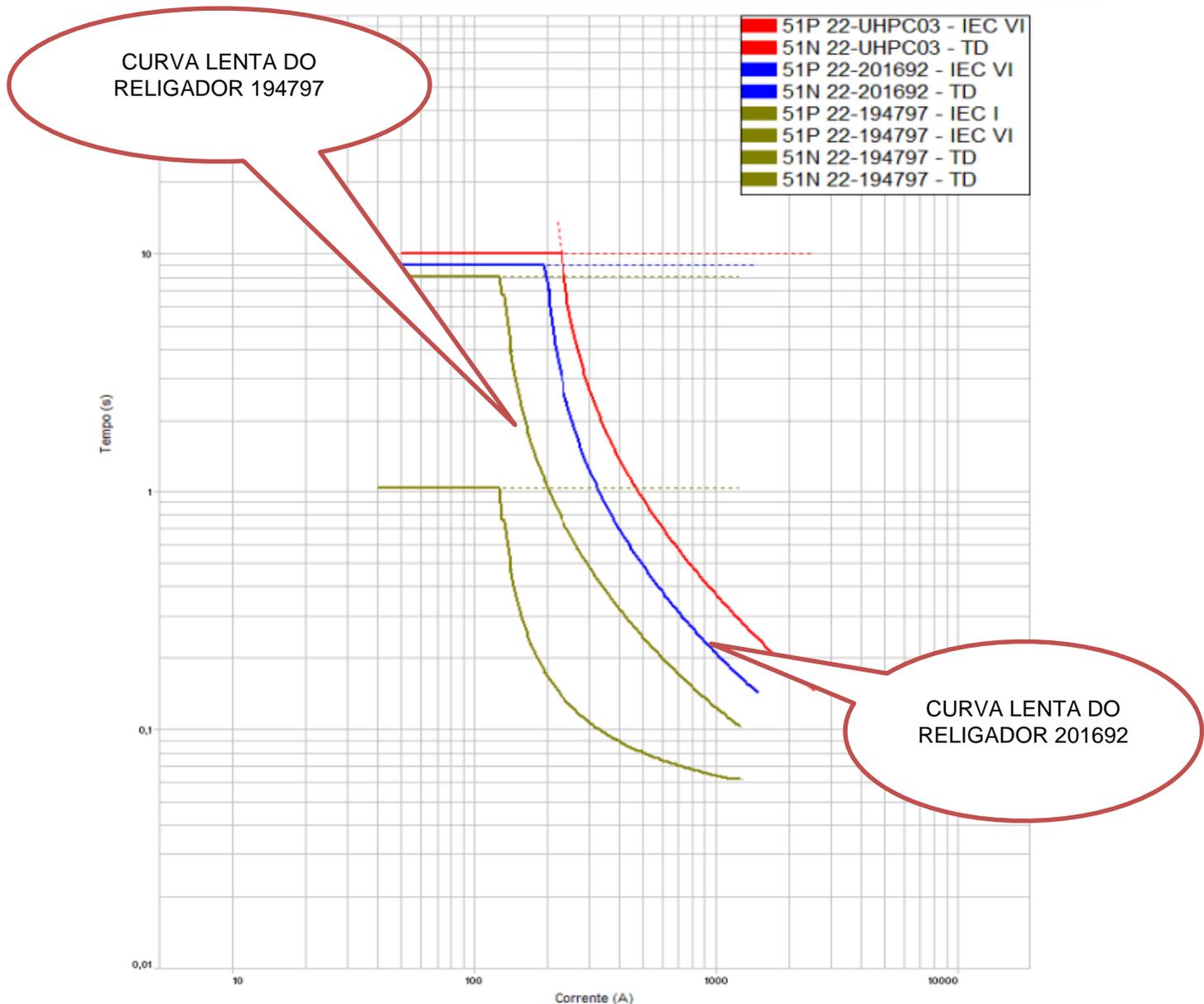
Figura 12: Coordenograma 4 – Simulação de coordenação à montante do Religador 201692.



Fonte: NiX Proteasy, 2021

Observa-se que houve descoordenação entre o religador 194797 (curva verde do gráfico), com a curva lenta do religador 201692 (indicado pela curva azul do gráfico 13, muito inversa, ou seja, IEC VI), ou seja, para o curto-circuito a jusante do religador na faixa > 300A, poderá ocorrer operações indevidas do religador a montante, penalizando assim todos os clientes a montante do elo fusível que deveria ter atuado eliminando a falha.

Figura 13: Coordenograma 5 – Simulação de coordenação à jusante do Religador 201692.



Fonte: NiX Proteasy, 2021

Após implementação do estudo de caso, foram alteradas as duas curvas lentas dos religadores 194797 e 201692, houve um ganho com alteração da curva de muito inverso para extremamente inversa.

Para melhoria no circuito do alimentador UHPC03 de Matias Barbosa, após análise in loco foi construído um circuito trifásico de rede protegida com cabos 50mm com extensão de 1,07km entre as coordenadas 673766:7579693 e 674059:7578686

para desviar dos pontos onde havia conflitos de árvore com a rede, minimizando os curtos-circuitos, e por consequência foram reduzidas as frequências simples sustentadas. Devido a construção deste circuito, houve a desativação da rede de distribuição com cabo nu 1/0 CAA entre as coordenadas 673345:7579329 até 674059:7578686.

Na coordenada 675277:7575523 foi instalada uma chave fusível repetidora para reduzir o trecho de linha tronco do circuito, e também para coordenar com as proteções dos equipamentos a montante e à jusante do ponto. Além da instalação do religador 323800 na coordenada 673766:7579693 exclusivo para atender o circuito problemático.

Foram instalados dois religadores 305391 e 217637 N.A (normalmente Aberto) nos pontos de coordenadas 679231:7582072 e 674415:7582126 para aumentar a confiabilidade do sistema. Caso em uma eventual perda da Usina de Paciência, o município de Matias Barbosa será atendido pela usina de Joasal através desses equipamentos que possuem operação remota.

5.4 COMPENSAÇÕES PELA TRANSGRESSÃO DOS LIMITES DE CONTINUIDADE

As melhorias no SEP, assim como a qualidade fornecida pelas concessionárias, são uma das premissas exigidas pela ANEEL. Estes dados são acompanhados através dos indicadores de qualidade como DEC, FEC, DMIC. Caso não sejam cumpridos, a concessionária é penalizada, podendo vir a ter seu contrato de concessão rescindido. Logo, o estudo de proteção das redes de distribuição se faz importante para uma melhoria contínua no que diz respeito a qualidade de energia fornecida, segurança e operações do sistema.

Não obstante ao tema, que aborda as premissas das frequências simples e sustentadas, é necessário estratificar os indicadores acompanhados pela ANEEL e que impactam diretamente os consumidores atendidos neste circuito. Este estudo permite analisar através das faltas, o quanto os consumidores foram impactados pelas interrupções através dos índices DIC, FIC e DMIC.

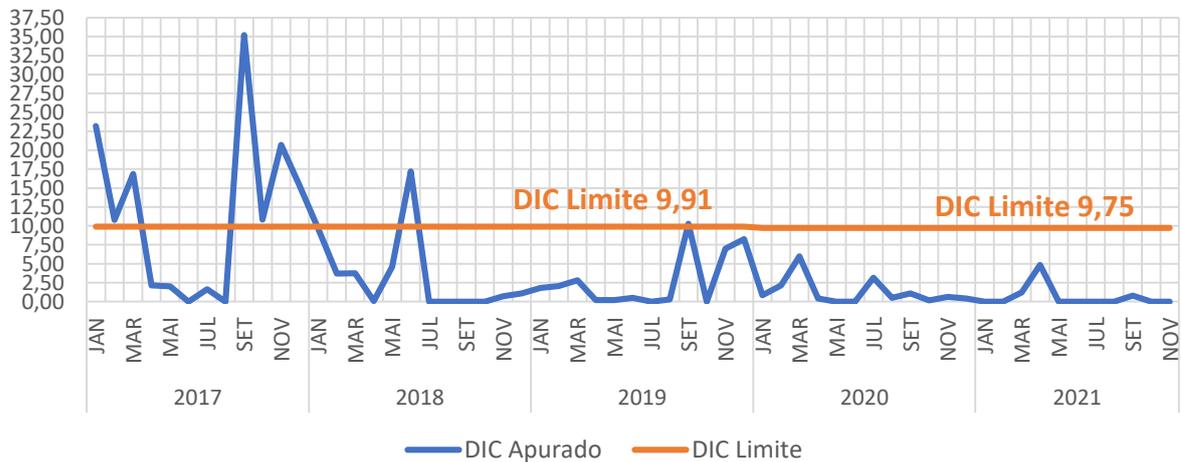
No Gráfico 2 verifica-se que no ano de 2017 o indicador DIC superou o limite previsto em pelo menos 07 meses, quando comparado a meta prevista de 9,91 horas. Comparando o índice DIC para o ano de 2018, houve uma diminuição se comparado

ao período de 2017, mas também com pelo menos dois meses de DIC acima do previsto. Para o ano de 2019 manteve-se a queda nas previsões do DIC mensal com apenas o mês de setembro acima do previsto de 9,91.

Para os anos de 2020 e 2021, constatou-se que apesar do DIC Limite sofrer alteração para 9,75 horas, houve decréscimo bem acentuado se comparado nos últimos três anos, ficando bem abaixo do limite no período.

Gráfico 2: DIC Apurado x DIC Limite.

DIC - Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora

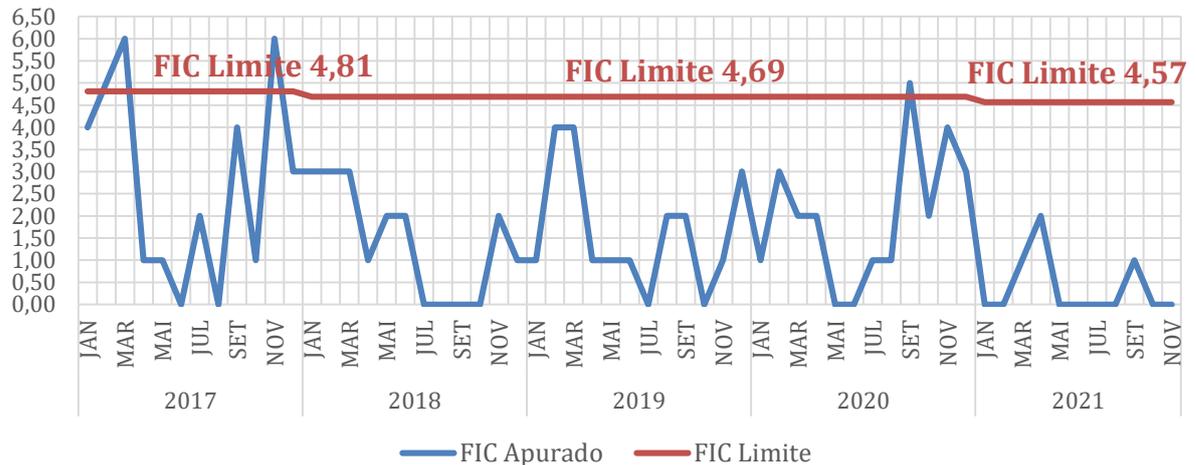


Fonte: CEMIG, 2021

Para o FIC (Gráfico 3) constatou-se que no ano de 2017 houve três períodos que ficaram acima do esperado para o mês de 4,69 horas e esta elevação voltou a ocorrer apenas no mês de setembro do ano de 2020.

Gráfico 3: FIC Apurado x FIC Limite.

FIC - Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora



Fonte: CEMIG, 2021

A Tabela 2 demonstra o indicador FIC anual com as compensações do cliente X. Este circuito apresentou índices fora dos padrões exigidos pela ANEEL, que por consequência houve as compensações financeiras referentes aos anos anteriores.

Tabela 2 – Compensações FIC Anual

FIC - ANUAL				
Mês/Ano	Limite	Apurado	Fatura	Compensação
Fev./19	39,66	40,67	R\$ 23.134,97	-R\$ 416,09
Fev./20	39,66	33,36	R\$ 19.826,96	-R\$ 466,50
Jan./21	39,02	15,32	R\$ 19.391,39	-R\$ 1.808,93

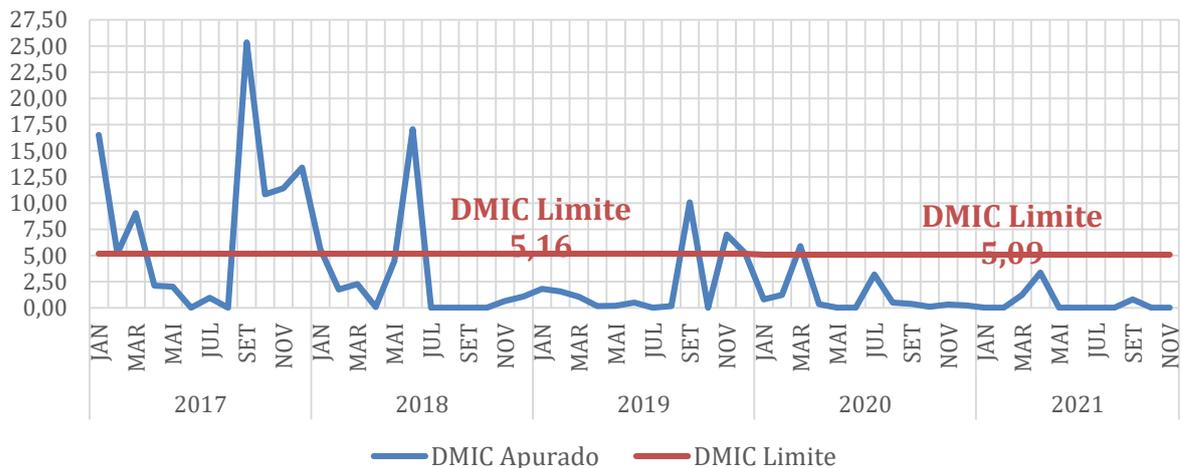
Fonte: CEMIG, 2021

Pode-se observar no Gráfico 4 que o DMIC no ano de 2017 foi o pior índice, o apurado superou em 07 meses o previsto que é de 5,16 horas, em alguns meses essa taxa chega a 5 vezes o esperado para o mês. Nos anos seguintes as medições ficaram dentro da meta, atingindo menores índices comparados ao ano de 2017, houve também uma queda nos limites para os próximos anos de 5,16 para 5,09 horas. Em

2018, houve duas violações, seguidas dos anos de 2019 e 2020 com uma cada e não houve no ano de 2021 violações para os meses medidos.

Gráfico 4 – DMIC Apurado x DMIC Limite.

DMIC - Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora



Fonte: CEMIG, 2021

6 CONCLUSÃO

O propósito deste estudo é a melhoria no desempenho do SEP, potencializando o fornecimento de energia, garantindo a continuidade, a confiabilidade e o controle nos equipamentos. Muitas destas falhas apresentadas decorrem, geralmente, de vegetação em conflito com cabos energizados. Estes eventos trazem sérios riscos a população, animais e funcionários que trabalham no setor elétrico. O que se pretende é uma melhoria no resultado de performance, com atuação dos equipamentos instalados no circuito visando o isolamento do trecho que apresentou o defeito, fazendo que uma menor parcela possível de clientes seja atingido.

O estudo foi desenvolvido com o propósito de melhorar o desempenho do alimentador UHPC 03 através de ajustes de coordenação da proteção e seletividade, tornando-os menos susceptíveis aos danos em consequências das falhas ocorridas no sistema.

Os indicadores são metas definidas pela ANEEL, logo o estudo das redes de proteção é possível detectar propostas de melhoria nos indicadores de continuidade

e qualidade do fornecimento de energia elétrica (DEC, FEC, DIC e FIC). Com a realização das implementações espera-se melhoria no desempenho do circuito, diminuição nos custos de manutenção e aumento de vida útil.

Logo o estudo de proteção das redes de distribuição se faz extremamente importante para uma melhoria continua no que diz respeito a qualidade de energia fornecida, segurança e operação do sistema.

ABSTRACT

The study presents, initially, the importance in the world scenario of continuity and quality of power supply to large urban and rural centers, as well as the importance in this system of coordination and selectivity for faults that the electrical system is susceptible to. The ideology is to present the main equipment installed in the SEP so that when some anomaly appears in the circuit, this in turn will be isolated, impacting the least number of customers possible. The case study presents a feeder with mixed characteristics and its operational performance in the distribution systems, with analysis in ANEEL indexes and that directly impacted the consumers served in this circuit. In these outages, it allows the analysis of how much the consumers were impacted by the interruptions through the DIC, FIC and DMIC indexes. Besides presenting the proposals for safety in the installations and minimizing the frequency and time of interruptions with short term actions.

Keywords: Electronic systems protection, automation of electrical networks, continuation

REFERÊNCIAS

Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Banco de Informações da Geração 2019. Disponível em:
<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>.
Acesso em: 25 ago. 2021.

ANEEL. **Áreas de Concessão de Energia Elétrica**. Brasília, 2019. Disponível em:
<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/aspectos_institucionais/2_4_1.htm>.
Acesso em: 25 ago. 2021.

Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica – ABRADDEE. A Distribuição de Energia. 2018. Disponível em: <<https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia/>>. Acesso em 25 ago. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional** – PRODIST. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 424/2010. Brasília, DOU, 1 de janeiro de 2011.

BENNER, C.; RUSSEL, D.R., " **Practical High Impedance Fault Detection On Distribution Feeders**", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, No: 3, MAY/JUNE 1997.

BRAGA, Mozart Ferreira JR. **Elaboração de Estudos de Proteção de Redes de Distribuição**. Dissertação (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal De Juiz de Fora, Juiz De Fora, 2011.

CAMINHA, A.C. **Introdução à proteção dos sistemas elétricos**. São Paulo: Bluncher, **1977**. 13ª Reimpressão, 2012.

CEMIG DISTRIBUIÇÃO SA, Norma Técnica de Distribuição, ND 4.15. Proteção de Sobrecorrentes do Sistema de Distribuição de Média Tensão da Cemig Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/07/nd_4_15_000001p.pdf>. Acesso em: 16nov. 2021.

CPFL ENERGIA, Norma Técnica Distribuição 2912, versão 1.1. **Proteção de Redes Aéreas de Distribuição – Sobrecorrente**. Campinas, 2003

Empresa de Pesquisa Energética – EPE- Transmissão de Energia Elétrica. 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-70/Cap4_Texto.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2021.

FARIAS, P. E.; COSTA, G. B.; MORAIS, A. P.; CARDOSO, G. Jr. Revisão e análise das técnicas para localização de faltas em redes de distribuição de energia elétrica, **International Conference on Electricity Distribution – CIDEL**, Argentina, 2014
Metodologia de Posicionamento de Religadores e Dimensionamento de Rede de Fibra Óptica para Automação de Sistemas de Energia
Disponível em:
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3650/1/CT_CEAUT_V_2014_14.pdf>. Acesso em 20 out. 2021.

RAMOS, Maicon Jaderson da Silveira et al. **Metodologia para análise da coordenação e seletividade de dispositivos de proteção durante reconfigurações de redes de distribuição**. 2014.

MAMEDE FILHO, J.; MAMEDE, D. R. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2011.

TONELLI, M. S. N. **Desenvolvimento de um Sistema Inteligente para o Diagnóstico e Prognóstico de Falhas em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, 2015.

ZAMBON, E. **Otimização de índices de confiabilidade em redes de distribuição de energia elétrica**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.