

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MAURICIO GUILHERME BUGALSKI CASTRO

ANÁLISE DA EFICIENCIA DA INSTALAÇÃO DE SENSORES DE ARCO
ELÉTRICO EM UMA SUBESTAÇÃO DE 13,8 KV

CURITIBA
2018

MAURICIO GUILHERME BUGALSKI CASTRO

**ANÁLISE DA EFICIENCIA DA INSTALAÇÃO DE SENSORES DE ARCO
ELÉTRICO EM UMA SUBESTAÇÃO DE 13,8 KV**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Cleverson Luiz da Silva Pinto

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

MAURICIO GUILHERME BUGALSKI CASTRO

ANÁLISE DA EFICIENCIA DA INSTALAÇÃO DE SENSORES DE ARCO ELÉTRICO EM UMA SUBESTAÇÃO DE 13,8 KV

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná como requisito à obtenção do grau Engenheiro Eletricista, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Cleverson Luiz da Silva Pinto
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Avaliador: Prof. Dr. Edemir Luiz Kowalski
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Avaliador: Prof. Msc. Antonio Rubens Baran Junior
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Curitiba, 04 de dezembro de 2018

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre se fazer presente na minha vida.

Agradeço aos meus pais, Paulo César e Bernadete, por me darem a oportunidade de ter uma ótima educação e tranquilidade para eu exercer as atividades necessárias.

À minha namorada, Bruna, pela paciência, compreensão e ajuda nos momentos difíceis, e sempre estar me apoiando em todas as etapas concluídas.

Ao meu irmão João Francisco, por sempre estar presente tanto nos momentos bons quanto nos momentos ruins da vida.

Aos meus amigos mais próximos, que não fizeram o caminho se tornar menos tortuoso, mas que estiveram juntos neste caminho e tornaram a caminhada mais fácil.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica, pelo conhecimento transmitido, e em especial ao Prof. Dr. Cleverton Luiz da Silva Pinto por todo o apoio prestado durante a execução deste trabalho.

Por final, a todos os empregadores e funcionários da empresa Maintenance Service, por me passarem todos os conhecimentos adquiridos trabalhando ao lado deles.

RESUMO

A instalação de sensores de luminosidade com o comportamento na presença de arcos elétricos para uma melhor atuação do sistema de proteção em uma fábrica pode auxiliar na prevenção de acidentes envolvendo trabalhadores em locais os quais sem a presença dos sensores atingem categorias de risco acima das vestimentas de trabalho. A literatura aponta que os estudos de arcos voltaicos são recentes, cerca de 40 anos, comparando com os outros estudos de riscos existentes em uma instalação elétrica. Com a utilização de normas para estabelecer a segurança dos trabalhadores no local e um software com uma biblioteca com as normas atualizadas, foram simuladas duas situações para um mesmo sistema fabril, onde o primeiro caso é como se ocorresse uma falta interna a fábrica e o sistema de proteção tivesse somente as funções de proteção de sobrecorrente. Já no segundo caso para a mesma falta no mesmo lugar, porém, o sistema de proteção de sobrecorrente tivesse o auxílio dos sensores de arco elétrico no sistema, tendo assim equipamentos a mais na proteção da fábrica. Com essa análise faz-se um comparativo entre os tempos de atuações de cada caso e verifica-se a energia incidente presente no local com relação ao tempo em que o arco permaneceu. Concluindo que o sistema com os sensores presentes tem uma interrupção da falha em determinados pontos mais eficazes, sendo assim, é preferível a instalação dos sensores.

Palavras-chave: Sensores de Arco. Sistema de Proteção. Energia Incidente.

ABSTRACT

The installation of light sensors with the operation in the presence of arcs flash for a better performance of the protection system in a factory, can help the accidents prevention involving workers in places without the presence of this sensors, the categories of risk come to above the clothing of job. The literature indicates that the studies of arcs flash are recent, about 40 years, comparing with the other studies of risks existing in an electrical installation. Using the rules to establish the safety of workers on site and software with a vast library, two situations were simulated for the same manufacturing system, wherever the first case is, if an internal fault occurred the factory and the system only the overcurrent protection functions. Already in the second case for the same fault in the same place, but, the overcurrent protection system had the aid of the electric arc sensors, so having more equipment in the protection of the factory. With this analysis a comparison between the actuation times of each case is made and the incident energy present in the workplace is verified with respect to the time in which the arc continued to exist. Concluding that the system with the sensors present has an interruption of the fault in certain points more effective, therefore, it is preferable to install the sensors.

Key words: Arc Flash Sensors. Protection System. Incident Energy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: IMAGEM DO RELÉ VARIXX.....	21
FIGURA 2: FASE DE DETECÇÃO DO SENSOR.	22
FIGURA 3: CURVAS DE EXCITAÇÃO E RESISTÊNCIA SECUNDÁRIAS TÍPICAS PARA TRANSFORMADORES DE CORRENTE DA CLASSE C.	34
FIGURA 4: UNIFILAR DA SUBESTAÇÃO ESTUDADA.....	36
FIGURA 5: RECURSO DO PROGRAMA PARA CÁLCULO DE ENERGIA INCIDENTE.....	39
FIGURA 6: EXEMPLO DE DIAGRAMA PARA CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO	40
FIGURA 7: EXEMPLO DE CONTRIBUIÇÕES DE CORRENTE DE FASE EM UM CURTO-CIRCUITO	41
FIGURA 8: EXEMPLO DE CONTRIBUIÇÕES DE 3I0	41
FIGURA 9: EXEMPLO COORDENAÇÃO GRÁFICA DE RELÉS.....	42
FIGURA 10: EXEMPLO: RESULTADOS DO ESTUDO DE ENERGIA INCIDENTE PARA UM BARRAMENTO NO ETAP.....	43
FIGURA 11: EXEMPLO: E ETIQUETA DE EQUIPAMENTO.	43
FIGURA 12: COORDENOGRAMA DO AJUSTE PARA PROTEÇÃO DO TRANSFORMADOR DE 1000 kVA.	47
FIGURA 13: COORDENOGRAMA DO AJUSTE PARA PROTEÇÃO DO TRANSFORMADOR DE 1500 kVA.	48
FIGURA 14: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE SEM SENSORES DE ARCO.	49
FIGURA 15: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE SEM SENSORES DE ARCO DETALHADA TRANSFORMADOR 1000 kVA.....	50
FIGURA 16: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE SEM SENSORES DE ARCO DETALHADA TRANSFORMADOR 1500 kVA.....	51
FIGURA 17: ILUSTRAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS SENSORES DE ARCO.....	52
FIGURA 18: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE COM SENSORES DE ARCO.	52
FIGURA 19: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE COM SENSORES DE ARCO DETALHADA TRANSFORMADOR 1000 kVA.....	53
FIGURA 20: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE COM SENSORES DE ARCO DETALHADA TRANSFORMADOR 1500 kVA.....	54

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE VESTIMENTAS	26
QUADRO 2: TABELA DE DISTÂNCIA DOS CONDUTORES	31
QUADRO 3: MÁXIMA CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO SIMÉTRICA E ASSIMÉTRICA MEDIDA NOS TC DE 13,8KV	33
QUADRO 4: CRITÉRIO DE SATURAÇÃO PELA TENSÃO DE EXCITAÇÃO PARA FALHA ASSIMÉTRICA.....	35
QUADRO 5: RESULTADOS DA ENERGIA INCIDENTE SEM SENSORES DE ARCO NOS BARRAMENTOS	56
QUADRO 6: RESULTADOS DA ENERGIA INCIDENTE COM SENSORES DE ARCO NOS BARRAMENTOS	57
QUADRO 7: COMPARAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE NOS DOIS CASOS	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE VESTIMENTAS – ENERGIA	
INCIDENTE.....	28
TABELA 2: TRADUÇÃO LIVRE INGLÊS - PORTUGUÊS.....	44
TABELA 3: AJUSTES PADRONIZADOS PARA OS TRANSFORMADORES DE 1000	
KVA.....	46
TABELA 4: AJUSTES PADRONIZADOS PARA OS TRANSFORMADORES DE 1500	
KVA.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celsius
µs	Microsegundo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFB	Arc Flash Boundary
cal	Calorias
cm	Centímetros
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETAP	Electrical Power System Analysis and Operation Software
FCT	Fault Clearing Time
IAC	Internal Arc Cubicle
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
K	Kelvin
kV	Quilovolts
kVA	Quilovolt-Ampere
LSC	Loss of Service Continuity
ms	Milissegundo
N	Neutro
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
NFPA	National Fire Protection Association
NR	Norma Regulamentadora
PI	Painel Ligação Isolada
PM	Painel Ligação Metálica
RTC	Relação de Transformação de Corrente
TC	Transformador de Corrente
TTA	Type-Tested Assembly
V	Volts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivo específico	14
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	ARCO ELÉTRICO	16
2.1.1	Fases do Arco Elétrico	16
2.2	PROTEÇÃO CONTRA ARCOS ELÉTRICOS	17
2.2.1	Estudo de arco voltaico	17
2.2.2	Equipamentos, dispositivos e técnicas para melhorar a segurança 18	
2.3	DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA ARCO ELÉTICO	19
2.3.1	Sensor de luminosidade.....	19
2.3.2	Equipamentos de Proteção Coletiva	20
2.3.3	Equipamentos de Proteção Individual	20
2.4	DETALHES DOS EQUIPAMENTOS.....	21
2.4.1	Relé e Sensores.....	21
2.5	REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE ENERGIA INCIDENTE	23
2.6	NORMAS	23
	2.6.1 NORMA REGULAMENTADORA 10 (NR-10).....	23
	2.6.2 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE 1584) 24	
	2.6.3 NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA 70E) ..	24
3	METODOLOGIA.....	29
3.1	CÁLCULO DE CURTO CIRCUITO	29

3.2	SELETIVIDADE DO SISTEMA DE PROTEÇÃO	29
3.3	CÁLCULO DE ENERGIA INCIDENTE	30
3.4	CRITÉRIO DE SATURAÇÃO DOS TCS	31
3.4.1	Avaliação Simplificada	32
3.4.2	Avaliação Completa	33
3.5	UNIFILAR DA SIMULAÇÃO	35
4	SIMULAÇÃO.....	39
4.1	SOFTWARE DE SIMULAÇÃO	39
4.1.1	Análise do Estudo do Curto-Circuito	40
4.1.2	Análise da Seletividade da Proteção	42
4.1.3	Análise dos Riscos de Arco Elétrico	42
4.2	ENERGIA INCIDENTE SITUAÇÃO ATUAL	45
4.3	ENERGIA INCIDENTE COM SENSORES DE ARCO	51
5	RESULTADOS	55
6	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no cenário nacional, muitas fábricas acabam não implementando o relé com os sensores de arcos devido ao alto custo e a falta de conhecimento dos mesmos. Porém, acabam tendo um prejuízo maior quando acontece uma falha e o sistema de proteção não atua, causando um dano maior para o consumidor, por motivos de tempo da demora de retorno de operação da subestação ou custos de manutenção após o incidente.

O objetivo do trabalho é estudar a proteção contra arcos elétricos em painéis de média e baixa tensão, com a utilização de sensores de arcos elétricos, quando o mesmo é originado de um curto-circuito muitas vezes causado por falhas no isolamento dos condutores, tendo em vista que são os responsáveis por acidentes fatais em ambientes industriais. Será analisado, se com sua utilização, é possível reduzir a categoria de risco do barramento para uma categoria mais segura para o trabalhador.

Para o seu desenvolvimento, serão utilizadas simulações computacionais realizadas com o software ETAP (Electrical Power System Analysis and Operation Software), bem como artigos relacionados ao assunto e as normas NFPA 70E revisão 2012, IEEE Std 1584-2011 e a Norma Regulamentadora 10 (NR 10)

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em analisar, com a implantação de um sensor de arco elétrico que comunique com o sistema de proteção, se é possível reduzir as categorias de risco para uma categoria mais segura para o trabalhador.

1.1.2 Objetivo específico

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em:

- Analisar os riscos e os efeitos do arco elétrico produzido por uma falha na rede;
- Simular uma rede de uma fábrica que contenha um caso com categoria de risco alta para reduzi-la;
- Propor métodos para a redução destes riscos, baixando o nível.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo do presente trabalho aborda uma introdução do tema, com uma abordagem geral do que vai ser explicado.

O segundo capítulo é a fundamentação teórica. Trata-se de um levantamento de dados para cada equipamento, que será simulado. Serão definidos os conceitos básicos relativos ao tema de energia incidente em painéis de baixa e média tensão, tendo como referência as normas brasileiras para execução de trabalho no local, assim como distância de trabalho e categoria de equipamentos de proteção individual. Também serão apresentados os modelos utilizados na simulação computacional.

O terceiro capítulo trata da metodologia utilizada para calcular os níveis de energia incidente presentes na subestação da instalação fabril estudada.

O quarto capítulo é a simulação, apresentando todos os valores calculados a partir das bases de cálculos apresentadas no capítulo anterior, respeitando as normas regulamentadoras.

No quinto capítulo será apresentada uma análise dos resultados obtidos nas simulações, com o intuito de demonstrar a viabilidade ou não da implementação do sistema de proteção contra arcos elétricos na subestação do presente estudo.

No sexto e último capítulo é apresentada uma opinião formada a partir dos resultados obtidos na análise do capítulo anterior. Para assim dar uma conclusão ao presente relatório e apresentar sugestões de possíveis futuros estudos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão demonstradas pesquisas para definição dos fenômenos estudados no presente trabalho.

2.1 ARCO ELÉTRICO

Durante muito tempo a grande preocupação com acidentes envolvendo trabalho com eletricidade era o choque elétrico. Porém, ficou constatado que uma grande parcela dos acidentes era devido a outro fenômeno, o arco elétrico.

Em 1981, foram iniciados os estudos dos riscos do arco elétrico. Neles foram estabelecidos que o arco elétrico em metais é a segunda forma de energia mais quente na terra, ficando atrás somente do laser e que o calor do arco elétrico é equivalente a quatro vezes a temperatura da superfície do sol. Lee (1982) constatou que o arco elétrico atinge temperaturas da ordem de 20.000 K ou 19.727 °C, a essa temperatura o calor é tão intenso podendo causar queimaduras a indivíduos que estiverem próximos à área, podendo até originar o falecimento do mesmo.

Sujeitos que se encontram a uma distância até 3,05 metros do arco voltaico, correm o risco de incendiar as roupas, se as mesmas não forem resistentes ao fogo. Pessoas expostas a energia incidente a uma distância menor ou igual a 1,52 metros, tem queimaduras de grau expressivo, levando na maioria das vezes a óbito. Trabalhadores envolvidos com esse tipo de atividade estão correndo sério risco caso um acidente ocorra, tendo em vista que os mesmos atuam muitas vezes próximos de equipamentos energizados. (LEE, 1982)

Cinco anos depois, publicou-se um novo artigo falando dos acidentes com arcos voltaicos, comentando além do calor, a pressão que a brusca mudança de temperatura causa na região do ocorrido. (LEE; DUNKI-JACOBS, 1987)

2.1.1 Fases do Arco Elétrico

De acordo com o Manual Zyggot Arc a definição de arco elétrico é dividida em cinco fases:

Pré-arco: Momento em que o ar é ionizado e começam a formar o caminho por onde percorrerá o arco elétrico. A liberação de ultravioleta ocorre nessa fase. Tempo aproximado de 0 a 5 ms.

Compressão: A energia é descarregada no ar que engloba o painel, consequentemente aumenta a pressão no local. Tempo aproximado de 5 a 15 ms.

Expansão: Com o aumento de pressão o ar começa a ser expulso para fora diminuindo a pressão interna por causa do dispositivo de alívio. Tempo aproximado de 5 a 15 ms.

Expulsão: A pressão interna diminui, porém, o ar continua sendo expelido com uma pressão constante. Esse processo se estabiliza quando a temperatura do ambiente chegar a mesma temperatura do arco. Tempo aproximado de 40 a 60 ms.

Térmica: A temperatura alcança milhares de graus centígrados, isso afeta materiais isolantes e condutores, os quais começam a fundir com a estrutura. Esse processo continua até que a energia seja dissipada.

2.2 PROTEÇÃO CONTRA ARCOS ELÉTRICOS

2.2.1 Estudo de arco voltaico

Meados do século passado surgia o relé eletromecânico de disco de indução, tendo a possibilidade de uma proteção temporizada, haja visto, que até então, a proteção era somente de forma instantânea através de disparo magnético. Com esse novo mecanismo a seletividade passou a fazer parte do cotidiano do engenheiro da área da proteção (CUNHA, 2009).

Nos anos 60 as faltas originadas por arco começaram a incomodar os pesquisadores. No final dos anos 70 incluiu-se uma seção que fala de faltas ocasionadas pelo arco em baixa tensão, introduzindo a necessidade de proteção específica de terra a qualquer sistema acima de 1000 A e de tensão de fase maior que 150 V (STANBACK, 1977).

Segundo Lee (1987) a pessoa sujeita as condições proporcionados pelo o arco elétrico, a energia incidente do local não pode exceder a 1,2 cal/cm². Nível de exposição tolerável sem a utilização de vestimentas de categorias específicas.

2.2.2 Equipamentos, dispositivos e técnicas para melhorar a segurança

É importante o conhecimento dos equipamentos mais adequados relativos a aplicações com arco.

De acordo com a ABNT NBR IEC 60439-1 utilizando painéis TTA (Type-Tested Assembly), para a baixa tensão, é a garantia de que o painel foi projetado, fabricado e testado por entidades de respeito no mercado, emitindo um certificado do produto.

O painel ser TTA não significa que o mesmo é resistente ao arco elétrico. Tendo em vista, que caso queira um painel arco-resistente, teria que ser projetado, fabricado e ensaiado para essas condições. É recomendado o uso de painéis com essa característica, além de saber se após um incidente o painel ainda terá condições de operação. Como uma operação após o arco é difícil de acontecer, pois internamente o painel fica danificado, recomenda-se a instalação de sensores de arco já na adesão do mesmo para que quando ocorra o arco o dano interno seja o menor possível e então possibilita a operação do painel pós-falta (ABNT, 2003).

Os conjuntos de manobra da média tensão têm a dimensionalidade que permita a circulação da corrente nominal do sistema e suporte esforços térmico, dinâmico e de interrupção das correntes de curto-circuito.

As especificações de acordo com a norma ABNT NBR IEC 62271-200 (2007) são:

Classe da continuidade do serviço: Informa a continuidade do serviço do painel e quantos compartimentos internos ele possui. Dividida em duas designações para LSC (Loss of Service Continuity) informando a conveniência de operação em necessidade de manutenção:

- LSC1: perda de continuidade de serviço do tipo 1, são painéis que possuem apenas o compartimento de barramentos;
- LSC2: perda de continuidade de serviço do tipo 2, são painéis com mais compartimentos além do compartimento dos barramentos.

A classe do tipo 2 (LSC2) possui subdivisões, adicionando um sufixo “A” ou “B” na sigla, informando a continuidade de serviço que pode ser conseguida em caso de manutenção do painel:

- LSC2A: são painéis com cubículos sem a exigência de quantidade de compartimentos.

- LSC2B: ao executar uma manutenção no painel, apenas o compartimento de entrada dos cabos pode ficar energizado. Uma exigência é de que o cubículo precisa ter, ao menos, três compartimentos divididos em entrada do aparelho de manobra, compartimento do aparelho de manobra e saída do aparelho de manobra.

Classe de compartimento: Informa o tipo de material utilizado nas divisões, compartimentos internos e guilhotinas do painel. São separados em dois tipos, partições feitas de material metálico (PM) ou isolante (PI).

Classe de compartimento interno: Indica se houve ensaio para suportar o arco interno no painel. Caso tenha sido ensaiado utiliza-se o termo IAC (Internal Arc Cubicle), caso contrário omite o termo.

Classe de acessibilidade: Comunica o acesso permitido ao redor do painel contendo duas indicações combinadas. A primeira consiste no tipo de acessibilidade, se o acesso é restrito a pessoas autorizadas (A) ou não há restrição de fluxo de pessoas nas proximidades do painel (B). A segunda consiste em informar o lado de circulação possível como frontal (F), lateral (L) e traseira (R).

2.3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA ARCO ELÉTRICO

Painéis resistentes a arco interno e a utilização de EPIs e EPCs são maneiras eficientes para a proteção dos efeitos do arco. Porém esses meios não reduzem a energia incidente no local. A opção para reduzir essa energia é a instalação de relés com sensores contra arco voltaico, tendo em vista que a utilização do mesmo é a única forma capaz de proteger os trabalhadores e os equipamentos com um alto nível de proteção (QUEIROZ; SENGGER, 2012).

2.3.1 Sensor de luminosidade

Hussain (2016) uma falta envolvendo arco elétrico produz uma radiação que através de uma análise do espectro de luz visível pode ser detectada. Essa é a maneira mais comum para a proteção contra esse arco, eliminando a falta no momento de emissão da luz.

Essa é uma forma de proteção que passou a ser mais utilizada a partir do ano 2000, mesmo essa tecnologia ter sido criada no início dos anos 80.

Há dois tipos desses sensores, os pontuais e os de fibra ótica. Os pontuais são fototransistores que agem por meio de sinal elétrico informando a luminosidade detectada, tendo a possibilidade de conectarem vários sensores enviando um sinal de trip para o relé. O pontual tem uma cobertura limitada, tendo em conta que os mais convencionais se limitam a um campo de atuação de 20° em relação ao ponto central. É vantajoso em relação a desligamentos indevidos com relação a atividades externas, porém sua área de cobertura é limitada. Já os sensores de fibra ótica realizam essa detecção da luminosidade de forma mais abrangente, mas lembrando que a mesma tem a possibilidade de sofrer danos devido a dobras ou pressões inviabilizando o uso da fibra ótica (QUEIROZ; SENGER, 2012).

2.3.2 Equipamentos de Proteção Coletiva

De acordo com a norma NR 10, item 10.2.8, os equipamentos de proteção coletiva são os que servem para a garantir a saúde e segurança do trabalhador que está efetuando o trabalho quanto dos outros trabalhadores que estiverem no local efetuando outros serviços que envolvam os riscos prevenidos pelos aparelhamentos.

Entre os equipamentos utilizados estão:

- Detector de Tensão;
- Conjunto de Aterramento;
- Tapetes Isolantes;
- Vara de Manobra;
- Identificação de Impedimento.

2.3.3 Equipamentos de Proteção Individual

Segundo a norma NR 10, item 10.2.9, na impossibilidade de uso de equipamentos de proteção coletiva, na extra baixa tensão ou na instalação desenergizada, deve ser empregado o uso do equipamento de proteção individual através de vestimentas adequadas que atendam aos critérios de condutibilidade, inflamabilidade e influências externas.

Para o traje ser aprovado são feitos vários testes para garantir que o mesmo tenha a performance desejada no momento que for exigido. O teste é feito aplicando-se uma fonte de calor de um lado da roupa e medindo a densidade de calor em calorias por centímetro quadrados (cal/cm^2) do outro lado (MARDEGAN; PARISE, 2018)

2.4 DETALHES DOS EQUIPAMENTOS

São encontrados vários modelos de sensores de arco elétrico e relés no mercado, mas o objetivo do presente trabalho é mostrar a eficiência da tecnologia de proteção, então, será apresentado um relé de marca nacional. Tendo em vista que o projeto não tem o intuito de comparar fabricantes. Será informado o seguinte relé:

2.4.1 Relé e Sensores

Conforme Manual Varixx Zyggot Arc as principais vantagens desse relé são atuações muito mais rápidas, dispensa leitura de correntes, simples instalação do equipamento, campo de detecção de 90° , sinal digital em rede e além de ter um custo menor. Uma imagem desse relé pode ser vista na FIGURA 1.

FIGURA 1: IMAGEM DO RELÉ VARIXX.



FONTE: Catálogo Comercial do Produto (2018)

São apresentados dois modelos de sensores: Um mais sensível, detectando arcos teste de 1 cm de comprimento a uma distância de até 1,5 metros e outro imune a luz visível, detectando arcos teste de 1 cm de comprimento a uma distância de até 20 cm. Cada um dos sensores se enquadra em situações diferentes como por exemplo: caso o painel não tenha influência de iluminações externas indevidas o primeiro sensor é indicado, pois colocando a uma distância mais afastada do equipamento seu campo de ação é maior, porém se o painel tiver influência de luz externa o mais recomendado é o segundo para detecção ser apenas no momento certo do arco.

A atuação do sensor é ultrarrápida, atuando no tempo de 300 μ s, pressentindo o evento na fase antecedente ao arco elétrico, compatível ao pré-arco da escala de fases do arco do item 2.1.1. Como mostra a *FIGURA 2*:

FIGURA 2: FASE DE DETECÇÃO DO SENSOR.



FONTE: Catálogo Comercial do Produto (2018)

2.5 REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE ENERGIA INCIDENTE

Os cálculos de energia incidente são realizados a partir da metodologia contida na norma IEEE – 1584. Os resultados são as definições das categorias de risco da instalação. São necessários para que o EPI seja dimensionado corretamente o preenchimento de alguns dados, tais como: nomenclatura do painel; tipo de painel; tipo de instalação; tipo de aterramento; corrente de curto-circuito; tensão de linha do sistema; tempo de abertura do disjuntor e tempo de atuação do relé (QUEIROZ; SENGGER, 2012).

Para a redução dos níveis de energia incidente em alguns pontos da instalação existe a possibilidade de diminuir o tempo de atuação da proteção de relés de sobrecorrente com curvas padronizadas, no entanto, muitas vezes essa solução não se torna viável, pois esse tempo reduzido não possibilita a atuação desejada dos equipamentos. Por exemplo, pode impedir que a corrente de partida do transformador seja liberada. Com isso há outras formas de se reduzir a categoria de risco na instalação, uma dessas maneiras é com a implantação de sensores fototransistores que se comuniquem com um sistema de proteção contra arco elétrico fazendo com que esse sistema reduza o tempo de atuação da proteção sem mexer nos ajustes de corrente da instalação (QUEIROZ, 2011).

2.6 NORMAS

As seguintes normas aplicam-se as distâncias estabelecidas para a execução de um trabalho seguro nas proximidades de um ponto com presença de tensão:

2.6.1 NORMA REGULAMENTADORA 10 (NR-10)

A norma brasileira NR 10 (ABNT, 2016) “Segurança em instalações e serviços em eletricidade”, descreve as vestimentas adequadas para a proteção dos trabalhadores.

Para ser realizado o estudo de energia incidente, de acordo com a norma, é necessário calcular a corrente de arco. Para obter este valor, precisa-se da corrente de falta franca, por fim, necessita obrigatoriamente de um estudo de curto-circuito.

Para o cálculo da energia incidente, o tempo de atuação do sistema de proteção também é levado em consideração e para obter esse tempo de atuação é necessário o estudo da seletividade do sistema.

2.6.2 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE 1584)

Essa norma é um padrão desenvolvido pelo instituto de engenheiros com a divisão de etapas para se calcular a energia incidente em um determinado barramento. Porém, essa norma somente pode ser integrada a instalações que atenderem as seguintes características:

- Ser um sistema trifásico;
- Tensão entre 208 V e 15 kV;
- Frequência de 50 Hz a 60 Hz;
- Corrente de Curto-Circuito de 700 A a 106 kA;
- Distância entre condutores de 13 mm a 152 mm.

Para determinação da energia incidente e da distância segura de aproximação, a IEEE 1584 (2002) estabelece um passo a passo que inicia coletando os dados do sistema, determinando os modos de operação, corrente de curto-circuito, corrente de arco elétrico, características da proteção e tempo de duração do arco, determinando tensão do sistema, distância de trabalho, calcular a energia incidente e por fim determinar a distância de aproximação.

2.6.3 NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA 70E)

Essa norma americana trata da segurança dos trabalhadores. Além de determinar as classes de vestimentas e distâncias com risco de arco. A NFPA 70E define raios de distâncias a serem respeitadas, considerando a tensão nominal do equipamento analisado, ou seja, o risco de choque elétrico. A partir da atualização de 2018 foi eliminada a zona de aproximação proibida, passando a possuir apenas duas zonas de aproximação. A norma regulamentadora NR 10 também possui apenas duas distâncias.

Outra abordagem interessante é a norma possuir distâncias de segurança para corrente contínua e corrente alternada. Além de variar as distâncias de acordo com condutores móveis ou fixos, o que não possui na NR 10.

Uma diferença entre a norma americana e a brasileira é que na NFPA 70E é que, para os estudos baseados na norma americana, há a possibilidade de se ter uma fatalidade na área estudada, pois se ocorrer um acidente e todos os requisitos descritos pela norma forem cumpridos, diz-se que houve uma fatalidade, e assim, a norma possibilita uma ressalva para o profissional que se basear na mesma. Já a NR 10, se ocorrer um acidente, tem que haver um culpado.

Com relação a arcos, as informações são levantadas de forma estatística, sendo assim, existe a probabilidade de se ter uma fatalidade.

Como o presente estudo apresenta as principais normas de uma maneira geral, é recomendada também a leitura das normas.

A NFPA 70E (2009) classifica os níveis de vestimentas adequadas em 5 subdivisões equivalentes a energia incidente presente no painel, apresentadas através do QUADRO 1:

QUADRO 1: CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE VESTIMENTAS

(continua)

Categoria de Risco	Vestimenta de Proteção e EPI's
Categoria de Risco 0 Roupas de Proteção, não fundido (de acordo com ASTM F 1506-00) ou Fibra Natural não tratada Equipamentos de Proteção	Camiseta (manga longa) Calça (longa) Óculos de Segurança (N) Proteção auditiva Luvas de couro (O) (Obs. 2)
Categoria de Risco 1 Roupas, classificação mínima de arco de 4 (Obs. 1) Equipamentos de Proteção	Camiseta manga longa anti-arco (Obs. 3) Calça anti-arco (Obs. 3) Macacão anti-arco (Obs. 4) Proteção facial ou capuz anti-arco (Obs. 7) Jaqueta, casaco ou capa de chuva anti-arco (O) Capacete de Proteção Óculos de Segurança (N) Proteção auditiva Luvas de couro (Obs. 2) Sapatos de Trabalho de Couro (O)
Categoria de Risco 2 Roupas, classificação mínima de arco de 8 (Obs. 1) Equipamentos de Proteção	Camiseta manga longa anti-arco (Obs. 5) Calça anti-arco (Obs. 5) Macacão anti-arco (Obs. 6) Proteção facial ou capuz anti-arco (Obs. 7) Jaqueta, casaco ou capa de chuva anti-arco (O) Capacete de Proteção Óculos de Segurança (N) Proteção auditiva Luvas de couro (Obs. 2) Sapatos de Trabalho de Couro
Categoria de Risco 2* Roupas, classificação mínima de arco de 8 (Obs. 1) Equipamentos de Proteção	Camiseta manga longa anti-arco (Obs. 5) Calça anti-arco (Obs. 5) Macacão anti-arco (Obs. 6) Capuz anti-arco (Obs. 10) Jaqueta, casaco ou capa de chuva anti-arco (O) Capacete de Proteção Óculos de Segurança (N) Proteção auditiva Luvas de couro (Obs. 2) Sapatos de Trabalho de Couro

QUADRO 1: CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE VESTIMENTAS

(conclusão)

Categoria de Risco 3 Roupas, classificação mínima de arco de 25 (Obs. 1) Equipamentos de Proteção	Camiseta maga longa anti-arco (S) (Obs. 8) Calça anti-arco (S) (Obs. 8) Macacão anti-arco (S) (Obs. 8) Jaqueta especial anti-arco (S) (Obs. 8) Calça especial anti-arco (S) (Obs. 8) Capuz anti-arco (Obs. 8) Jaqueta, casaco ou capa de chuva anti-arco (O) Capacete de Proteção Capacete de Proteção com forro (S) Óculos de Segurança (N) Proteção auditiva Luvas anti-arco (Obs. 2) Sapatos de Trabalho de Couro
Categoria de Risco 4 Roupas, classificação mínima de arco de 40 (Obs. 1) Equipamentos de Proteção	Camiseta maga longa anti-arco (S) (Obs. 9) Calça anti-arco (S) (Obs. 9) Macacão anti-arco (S) (Obs. 9) Jaqueta especial anti-arco (S) (Obs. 9) Calça especial anti-arco (S) (Obs. 9) Capuz anti-arco (Obs. 9) Jaqueta, casaco ou capa de chuva anti-arco (O) Capacete de Proteção Capacete de Proteção com forro (S) Óculos de Segurança (N) Proteção auditiva Luvas anti-arco (Obs. 2) Sapatos de Trabalho de Couro

FONTE: NFPA 70E (2009)

(O) = Opcional**(S) = Solicitado****(N) = Necessário**

Observações:

- Obs. 1 - Veja a tabela 130.7 (C)(11). A classificação de arco para uma peça de vestuário ou sistema de vestuário é expressa em cal / cm².
- Obs. 2 - Se as luvas isolantes de borracha com protetores de couro forem exigidas pela Tabela 130.7 (C) (9), não são necessárias luvas adicionais de couro ou de arco. A combinação de luvas isolantes de borracha com protetor de couro satisfaz as exigências de proteção do arco.
- Obs. 3 - A camisa e as calças utilizadas para Categoria de risco 1 devem ter uma classificação mínima de arco de 4 cal / cm².

- Obs. 4 - Alternativo é usar macacões (classificação mínima de arco de 4 cal / cm²) em vez de camisa e calça.
- Obs. 5 - A camisa e as calças utilizadas para Categoria de risco 2 devem ter uma classificação mínima de arco de 8 cal / cm².
- Obs. 6 - Alternativo é usar macacões (classificação mínima de arco de 8 cal / cm²) em vez de camisa e calça.
- Obs. 7 - Um escudo facial com uma classificação mínima de arco de 4 cal / cm² para categoria de risco 1 ou uma classificação mínima de arco de 8 cal / cm² para categoria de risco 2, com proteção para proteger não apenas o rosto, mas também a testa, as orelhas e pescoço (ou, alternativamente, um capuz de arco de arco), é necessário.
- Obs. 8 - Uma alternativa é usar um sistema de roupa total e um capuz, que deve ter uma classificação mínima de arco de 25 cal / cm² para Categoria de Risco 3.
- Obs. 9 - O sistema de vestuário total composto por camisa e calça e / ou macacão e / ou capa de flash e calças e capuz tem uma classificação mínima de ar 40 cal/cm² para categoria de risco 4.
- Obs. 10 - Alternativo é usar um protetor facial com uma classificação mínima de arco de 8 cal / cm² e um balaclava (capela de meia) com uma classificação mínima de arco de 8 cal / cm² e que cobre o rosto, cabeça e pescoço, exceto para as áreas dos olhos e narizes.

Essa norma teve uma alteração a partir 2012 na classificação dos níveis substituindo o sistema de numerações por um sistema alfabético, porém, as vestimentas vendidas comercialmente no brasil ainda usam as classificações numéricas. Por isso, a TABELA 1 só mostra a relação categoria – energia incidente:

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE VESTIMENTAS – ENERGIA INCIDENTE

Categoria	Energia Incidente (cal/cm ²)
A	2
B	4
C	8
D	25
E	40
F	100
G	120

FONTE: NFPA 70E (2012)

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão abordadas maneiras de se calcular cada item necessário para o cálculo da energia incidente.

3.1 CÁLCULO DE CURTO CIRCUITO

Curto-circuito é um fenômeno em que o sistema elétrico acaba sofrendo uma falha e em algum ponto a impedância se aproxima de zero não havendo queda de tensão e aumentando a corrente no local da falta.

Para calcular a corrente de curto-circuito utiliza-se as equações (1) e (2):

$$I_{CC} = \sqrt{2} \times I_{CS} \times [\text{sen}(\omega t + \beta - \theta) - e^{\frac{-t}{C_T}} \times \text{sen}(\beta - \theta)] \quad (1)$$

I_{CC} = valor instantâneo da corrente de curto-circuito num instante de tempo específico

I_{CS} = valor eficaz da corrente de curto-circuito simétrica

I_{CIM} = valor de pico ou impulso da corrente de curto-circuito assimétrico

I_{CA} = valor eficaz da corrente de curto-circuito assimétrica

t = tempo de duração do defeito no ponto considerado da instalação

C_t = constante de tempo

$$C_t = \frac{X}{2 \times \pi \times f \times R} \quad (2)$$

R = Resistência do circuito desde a fonte até o ponto de defeito

X = Reatância do circuito desde a fonte até o ponto de defeito

3.2 SELETIVIDADE DO SISTEMA DE PROTEÇÃO

A seletividade do sistema se dá a medida que os equipamentos de proteção já ajustados resultam um tempo final de atuação no gráfico corrente por tempo ($I_{cc} \times t$).

É considerado um sistema seletivo quando proteções mais próximas ao local da falha atuam em tempos menores em relação a equipamentos a montante.

Para garantir um sistema coordenado, o sistema deve ter uma espera de aproximadamente 200 ms entre a atuação do equipamento nas proximidades da falta e o equipamento a montante, para que assim, o sistema não atue indevidamente, desligando partes do sistema que não seriam influenciados com o curto-circuito em determinadas áreas do sistema.

3.3 CÁLCULO DE ENERGIA INCIDENTE

Além da corrente de curto-circuito calculada e o tempo de atuação do sistema de proteção, que são determinantes para calcular o nível de energia incidente dos barramentos, são necessários:

- A verificação do nível de tensão a ser analisado, o qual estaria dentro do limite de 127 V até 13,8 kV;
- A classificação dos riscos.
- O cálculo devido ao arco voltaico que se encontra no local.

O cálculo da energia incidente segundo IEEE 1584 (2002) é apresentado nas equações (3), (4) e (5):

$$\log I_a = K + 0,662 \log I_{bf} + 0,0966V + 0,000526G + 0,5588V(\log I_{bf}) - 0,00304G(\log I_{bf}) \quad (3)$$

Onde:

$\log$ = Logaritmo na base 10;

I_a = Corrente do arco elétrico [kA];

K = Constante igual (-0,153) para arco em ambiente aberto;

Constante igual (-0,097) para arco em ambiente fechado;

I_{bf} = Corrente de curto-circuito para uma falta trifásica [kA];

V = Tensão do sistema [kV];

G = Distância entre condutores [mm];

Para tensões entre 1000 V e 15000 V, não se diferencia as configurações de ambientes aberto ou fechado. Seguindo a equação (4):

$$\log I_a = 0,00402 + 0,983 \log I_{bf} \quad (4)$$

Em seguida, converte o logaritmo, como equação (5):

$$I_a = 10^{\log I_a} \quad (5)$$

A distância entre os condutores é tabela, conforme QUADRO 2:

QUADRO 2: TABELA DE DISTÂNCIA DOS CONDUTORES

Tensão do Sistema (kV)	Tipo de Equipamento	Distância Típica entre Condutores (mm)	Distância X Fator
0,208 – 1,0	Ambiente aberto	10-40	2,000
	Painel de distribuição	32	1,473
	CCM e Painel	25	1,641
	Cabos	13	2,000
>1 – 5	Ambiente aberto	102	2,000
	Painel de distribuição	13-102	0,973
	Cabos	13	2,000
>5 – 15	Ambiente aberto	13-153	2,000
	Painel de distribuição	153	0,973
	Cabos	13	2,000

FONTE: IEEE 1584 (2002)

Os valores são encontrados nas normas NFPA 70E e IEEE 1584, embora alguns dados serão um pouco divergentes em função das limitações de cada método utilizado.

3.4 CRITÉRIO DE SATURAÇÃO DOS TCS

O critério de avaliação da saturação dos Transformadores de Corrente consiste em duas avaliações. A primeira resume-se a verificar se a corrente de curto circuito passante não excede a vinte vezes o valor da corrente nominal do equipamento. O segundo critério é aplicado aos transformadores que forem reprovados pela avaliação anterior, verificando assim o burden para então condenar ou aprovar o equipamento.

3.4.1 Avaliação Simplificada

A avaliação simplificada define a RTC considerando as correntes em regime normal e as correntes de curtos-circuitos simétricos e assimétricos. Para este estudo, a corrente nominal do equipamento e as correntes obtidas através das simulações de curto-circuito com auxílio do software, serão comparadas com as correntes de placa do TC (corrente nominal).

Para prevenir a saturação dos transformadores de corrente a relação entre a corrente nominal e a corrente de curto circuito deve ser menor de vinte vezes, verificando dois critérios:

- Avaliação Curto Circuito Simétrico:

Esta avaliação consiste em comparar a máxima corrente de curto-circuito simétrico que passa pelo TC com o valor de corrente suportável nominal de curta duração do TC (corrente térmica). A corrente de curto-circuito deve ser obtida para a maior contribuição de corrente de falta que circula pelo TC (falta na barra, falta terminal e “close-in”). A condição “close-in” é a energização do componente com um curto-circuito terminal.

- Avaliação Curto Circuito Assimétrico:

Esta avaliação consiste em comparar a corrente de curto-circuito assimétrica (pico da corrente no primeiro ciclo) que passa pelo TC com o valor de corrente nominal (I_n). Os valores suportáveis teóricos para a máxima corrente (I_n) apresentam-se no dados de placa dos transformadores de corrente e são comparados através do QUADRO 3 com as correntes de curto disponíveis.

QUADRO 3: MÁXIMA CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO SIMÉTRICA E ASSIMÉTRICA MEDIDA NOS TC DE 13,8KV

Transformador de Corrente	Cor. Prim.	Cor. Sec.	Relação	Classe	Curto Assim.(kA)	Icc/In	Critério 20x
ENTRADA	1000	5	200	10B100	8,344	8,34	OK
TC 01	100	5	20	10B100	8,344	83,44	VER BURDEN
TC 02	100	5	20	10B100	8,344	83,44	VER BURDEN
TC SE SUINOS 2	100	5	20	10B100	8,344	83,44	VER BURDEN
TC 03	100	5	20	10B100	8,344	83,44	VER BURDEN
TC 04	100	5	20	10B100	8,344	83,44	VER BURDEN
TC SE SUINOS 3	200	5	40	10B100	8,344	41,72	VER BURDEN
TC 05	100	5	20	10B100	8,152	81,52	VER BURDEN
TC 06	100	5	20	10B100	8,152	81,52	VER BURDEN
TC 07	100	5	20	10B100	8,152	81,52	VER BURDEN
TC 08	100	5	20	10B100	8,064	80,64	VER BURDEN
TC 09	100	5	20	10B100	8,064	80,64	VER BURDEN
TC 10	100	5	20	10B100	8,064	80,64	VER BURDEN
TC 11	100	5	20	10B100	8,064	80,64	VER BURDEN
TC 12	100	5	20	10B100	8,064	80,64	VER BURDEN

FONTE: O Autor (2018)

De acordo com os resultados apresentados no QUADRO 3, apenas o TC da entrada foi aprovado no critério das vinte vezes da corrente de curto assimétrica em relação a corrente primária do transformador. Neste caso, deve-se analisar o burden dos TCs antes reprovados.

3.4.2 Avaliação Completa

Critério para saturação por faltas simétricas

Esta avaliação compara a tensão simétrica (E_{sim}) imposta ao TC durante a condição de falta com a tensão de saturação do mesmo (V_{sat}). O TC está adequado para o ponto do sistema, em uma dada RTC ajustada, quando o $E_{sim} < V_{sat}$. A tensão imposta ao secundário do TC, para uma corrente de curto-circuito simétrica, é calculada pela equação (6):

$$E_{sim} = \frac{I_{sim}}{RTC} \times (Z_{burden} + R_{tc}) \quad (6)$$

Onde:

I_{sim} : Corrente de curto-circuito simétrico;

RTC: Relação de transformação do TC;

Z_{burden} : Impedância do circuito secundário do TC;

R_{tc} : Resistência secundária do TC.

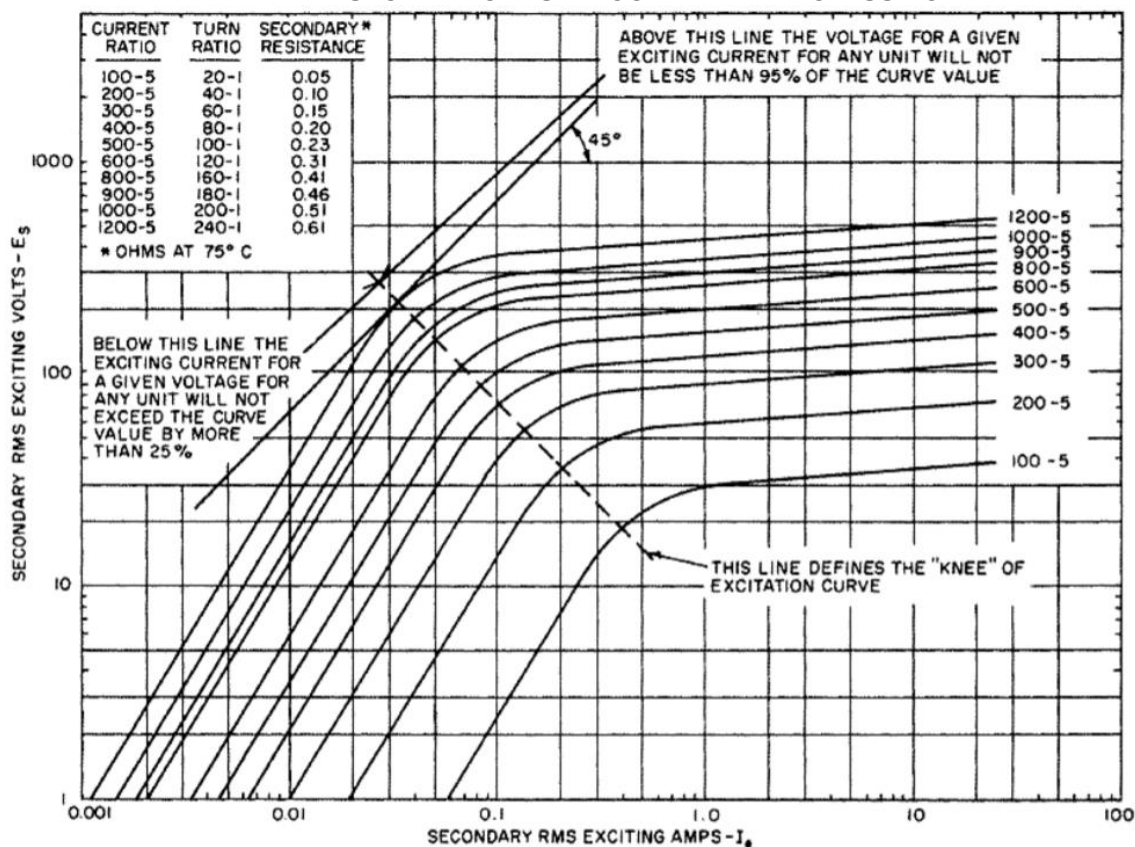
Circuitos secundários dos TCs:

As características dos cabos utilizados para ligação dos transformadores de corrente aos relés serão informadas a seguir:

O condutor dos circuitos de corrente para proteção possui a bitola de 2,5 mm² com a impedância de 12,00 Ω /km. Considerando a distância de 10m a impedância resultante dos cabos é de 0,012 Ω .

Já para a resistência dos circuitos secundários dos transformadores de corrente usou-se a informação da norma IEC 61869-2C (2012), apresentada na FIGURA 3:

FIGURA 3: CURVAS DE EXCITAÇÃO E RESISTÊNCIA SECUNDÁRIAS TÍPICAS PARA TRANSFORMADORES DE CORRENTE DA CLASSE C.



FONTE: IEC 61869-2C (2012).

Os resultados da avaliação são apresentados no QUADRO 4:

QUADRO 4: CRITÉRIO DE SATURAÇÃO PELA TENSÃO DE EXCITAÇÃO PARA FALHA ASSIMÉTRICA

Transformador de Corrente	Cor. Prim	Cor. Sec.	Relação	Classe	Curto(kA)	IS	ZS	IS*ZS	RTC
ENTRADA	1000,00	5,00	200,00	10B100	8,34	41,72	0,57	23,68	OK
TC 01	100,00	5,00	20,00	10B100	8,34	417,20	0,14	56,57	OK
TC 02	100,00	5,00	20,00	10B100	8,34	417,20	0,14	56,57	OK
TC SE SUINOS 2	100,00	5,00	20,00	10B100	8,34	417,20	0,14	56,57	OK
TC 03	100,00	5,00	20,00	10B100	8,34	417,20	0,14	56,57	OK
TC 04	100,00	5,00	20,00	10B100	8,34	417,20	0,14	56,57	OK
TC SE SUINOS 3	200,00	5,00	40,00	10B100	8,34	208,60	0,18	38,30	OK
TC 05	100,00	5,00	20,00	10B100	8,15	407,60	0,14	55,27	OK
TC 06	100,00	5,00	20,00	10B100	8,15	407,60	0,14	55,27	OK
TC 07	100,00	5,00	20,00	10B100	8,15	407,60	0,14	55,27	OK
TC 08	100,00	5,00	20,00	10B100	8,06	403,20	0,14	54,67	OK
TC 09	100,00	5,00	20,00	10B100	8,06	403,20	0,14	54,67	OK
TC 10	100,00	5,00	20,00	10B100	8,06	403,20	0,14	54,67	OK
TC 11	100,00	5,00	20,00	10B100	8,06	403,20	0,14	54,67	OK
TC 12	100,00	5,00	20,00	10B100	8,06	403,20	0,14	54,67	OK

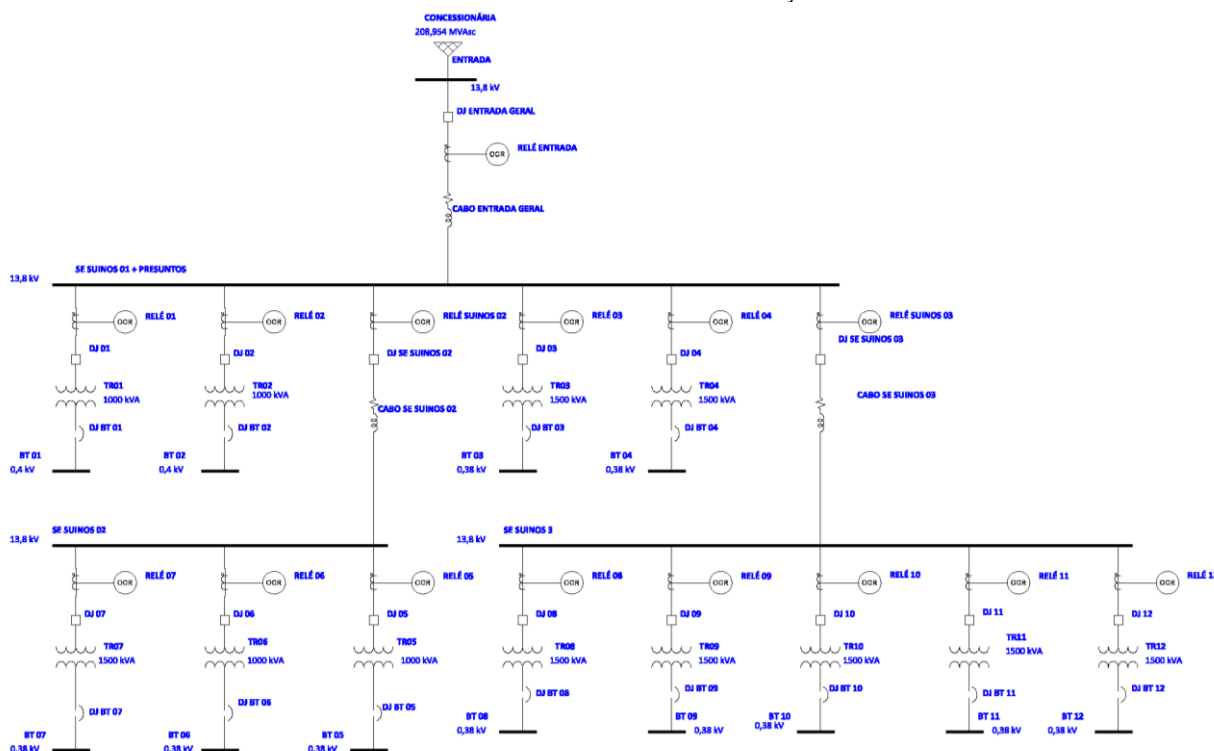
FONTE: O Autor (2018)

Com os resultados obtidos através do segundo critério de avaliação, pode-se confirmar que os transformadores de corrente estão corretamente dimensionados.

3.5 UNIFILAR DA SIMULAÇÃO

Será utilizado o diagrama unifilar da subestação de suínos de uma unidade próxima a uma subestação existente (FIGURA 4). Que conta com um alimentador de 13,8 kV na entrada da SE-SUÍNOS 1, a qual possui 7 cubículos, um para entrada, outros dois para as saídas as subestações SE-SUÍNOS 2 e SE-SUÍNOS 3 respectivamente.

FIGURA 4: UNIFILAR DA SUBESTAÇÃO ESTUDADA.



FONTE: O Autor (2018).

A descrição do sistema é um alimentador 13,8 kV chegando na subestação suínos 1 energizando quatro transformadores, dois de 1000 kVA que abastecem a carga do setor de presuntos e dois de 1500 kVA que abastecem a carga do setor de suínos. Além desses quatro transformadores há duas saídas para alimentar as subestações de suínos 2 e 3.

A subestação suínos 2 possui 4 cubículos, sendo um da entrada e os outros três alimentando duas cargas de 1000 kVA e um de 1500 kVA.

A subestação suínos 3 possui 6 cubículos, sendo um para entrada e os outros cinco alimentando um transformador de 1500 kVA cada 1.

A entrada geral é protegida por um relé com as funções 50/51 (Instantâneo/Temporizado de fase) e 50/51N (Instantâneo/Temporizado de neutro). Um cabo de 300mm² alimenta várias Subestações fornecendo energia para 12 transformadores, dois presentes na SE-PRESUNTO, dois na SE-SUINOS 1, três na SE-SUINOS 2 e cinco na SE-SUINOS 3, cada transformador é protegido no lado de alta tensão por um relé de sobrecorrente e no lado de baixa tensão protegido por disjuntor de baixa tensão.

São eles:

TR01: Transformador de 1000 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 01”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 01” de 1600 A ajustáveis.

TR02: Transformador de 1000 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 02”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 02” de 1600 A ajustáveis.

TR03: Transformador de 1000 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 03”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 03” de 3200 A ajustáveis.

TR04: Transformador de 1000 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 04”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 04” de 3200 A ajustáveis.

TR05: Transformador de 1000 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 05”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 05” de 1600 A ajustáveis.

TR06: Transformador de 1000 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 06”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 06” de 1600 A ajustáveis.

TR07: Transformador de 1500 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 07”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 07” de 2500 A ajustáveis.

TR08: Transformador de 1500 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 08”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 08” de 2500 A ajustáveis.

TR09: Transformador de 1500 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 09”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 09” de 2500 A ajustáveis.

TR10: Transformador de 1500 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 10”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 10” de 2500 A ajustáveis.

TR11: Transformador de 1500 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 11”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 11” de 2500 A ajustáveis.

TR12: Transformador de 1500 kVA protegido, no primário, por um Rele “RELE 12”, com as funções 50/51(N) e no secundário por um disjuntor de baixa tensão “DJ BT 12” de 2500 A ajustáveis.

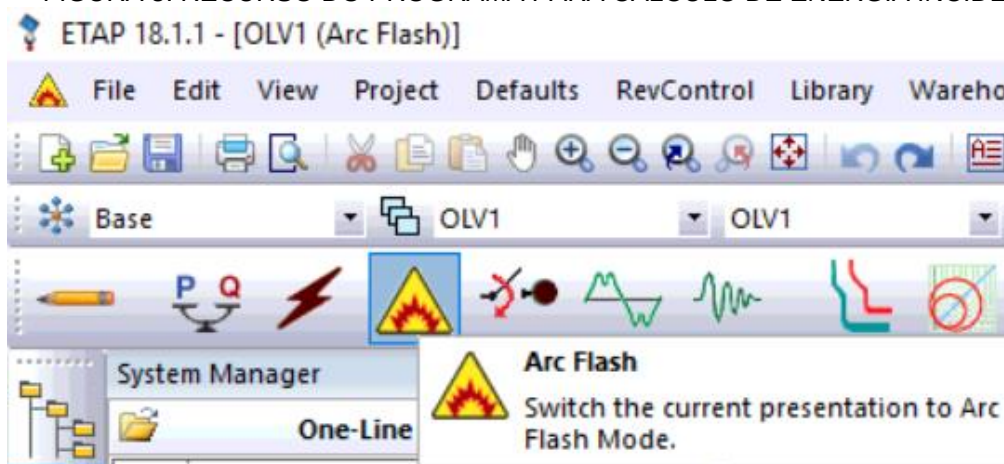
4 SIMULAÇÃO

Foi simulado a partir de duas condições, a primeira simulação consiste em seguir exatamente a situação atual da subestação, com os equipamentos já instalados e com seus ajustes de proteção de sobrecorrente garantindo a seletividade entre os equipamentos de proteção. A segunda retrata uma simulação contendo todas as informações da primeira, porém com a inserção dos sensores de arco apresentados no trabalho, com a intenção de diminuir a categoria de risco para o mesmo nível de energia incidente [cal/cm^2] nos painéis, os quais após a simulação atual mostraram níveis altos de periculosidade nas proximidades dos mesmos.

4.1 SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

O presente estudo consiste em simular utilizando a ferramenta de Arco Voltaico (Arc Flash) (FIGURA 5) do simulador ETAP (Electrical Power System Analysis and Operation Software), obtendo as informações de energia incidente para as barras presentes na simulação.

FIGURA 5: RECURSO DO PROGRAMA PARA CÁLCULO DE ENERGIA INCIDENTE.



FONTE: O Autor (2018)

O programa analisa de forma abrangente projetos, simulações e automação em sistemas de potência na geração, distribuição e industriais. O software é utilizado em todo o mundo como um programa para simulações na área de eletrotécnica. Disponível em vários idiomas.

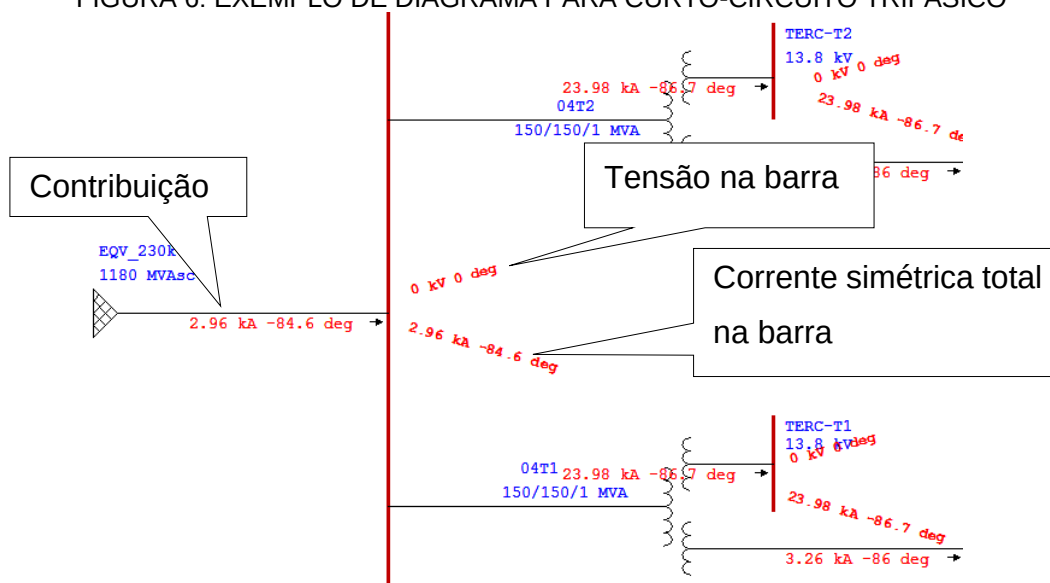
O simulador possui uma biblioteca bem completa de equipamentos de proteção, tendo a possibilidade de simular qualquer tipo de proteção utilizada para as subestações estudadas.

4.1.1 Análise do Estudo do Curto-Circuito

Os valores das correntes de curto circuito foram calculados com o auxílio do software ETAP 18.0.0, da empresa OTI (Operation Technology, Inc.), considerando-se os critérios descritos nos itens seguintes.

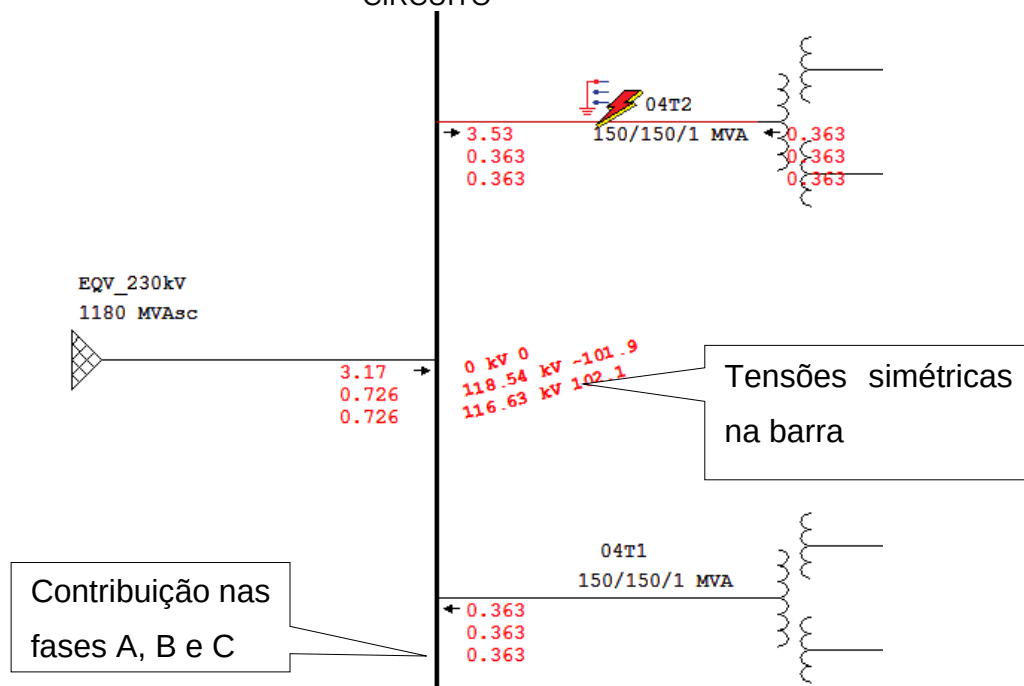
Os resultados do estudo de curto circuito são apresentados como os valores de corrente de curto-circuito no diagrama unifilar. A FIGURA 6, FIGURA 7 e FIGURA 8 demonstram como serão apresentados os dados de curto-circuito (tensão nas barras, correntes de contribuições e correntes máximas nas barras) no software ETAP.

FIGURA 6: EXEMPLO DE DIAGRAMA PARA CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO



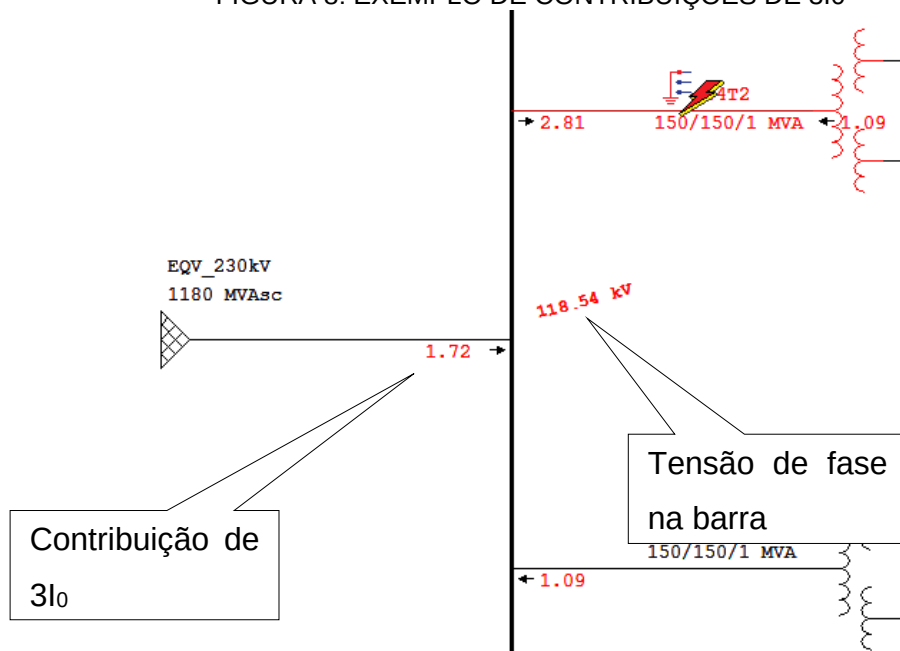
FONTE: O Autor (2018)

FIGURA 7: EXEMPLO DE CONTRIBUIÇÕES DE CORRENTE DE FASE EM UM CURTO-CIRCUITO



FONTE: O Autor (2018)

FIGURA 8: EXEMPLO DE CONTRIBUIÇÕES DE 3I₀



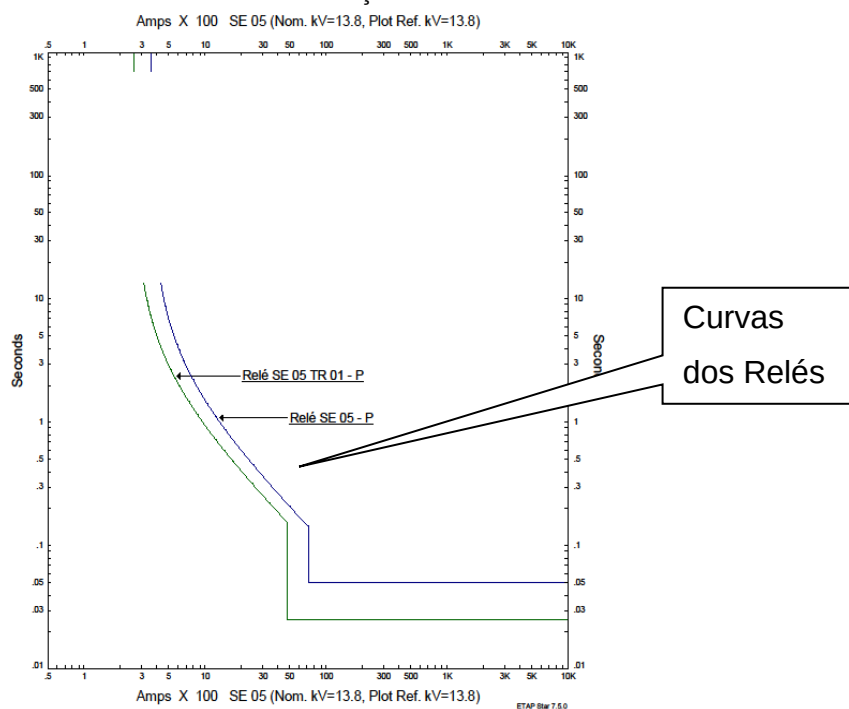
FONTE: O Autor (2018)

4.1.2 Análise da Seletividade da Proteção

Os estudos de seletividade foram realizados com o auxílio do módulo STAR, incluso também do software ETAP.

Os resultados são apresentados em forma de coordenogramas (FIGURA 9), no qual estão contidas as curvas dos relés e disjuntores a serem analisadas.

FIGURA 9: EXEMPLO COORDENAÇÃO GRÁFICA DE RELÉS



FONTE: O Autor (2018)

4.1.3 Análise dos Riscos de Arco Elétrico

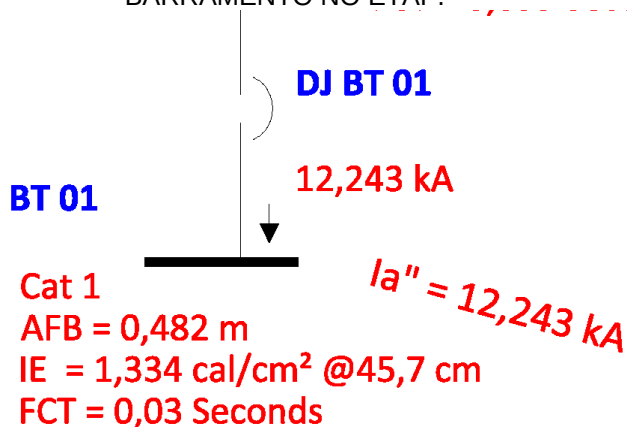
Os estudos de análise do risco de Arco Elétrico foram realizados com o auxílio do módulo Arc Flash Analysis Module, contido também no software ETAP.

O programa calcula as correntes de arco, segundo os critérios da Norma IEEE 1584, e obtém os tempos de eliminação das faltas pela integração com o módulo STAR do programa.

O programa pode fornecer os resultados em forma gráfica, no diagrama unifilar, informando a corrente de Arco, o grau de risco (categoria), a distância segura sem uso de EPI (em metros) onde a energia incidente é igual a $1,2 \text{ cal/cm}^2$ e a energia

incidente com a respectiva distância para trabalho com EPI da categoria informada (FIGURA 10).

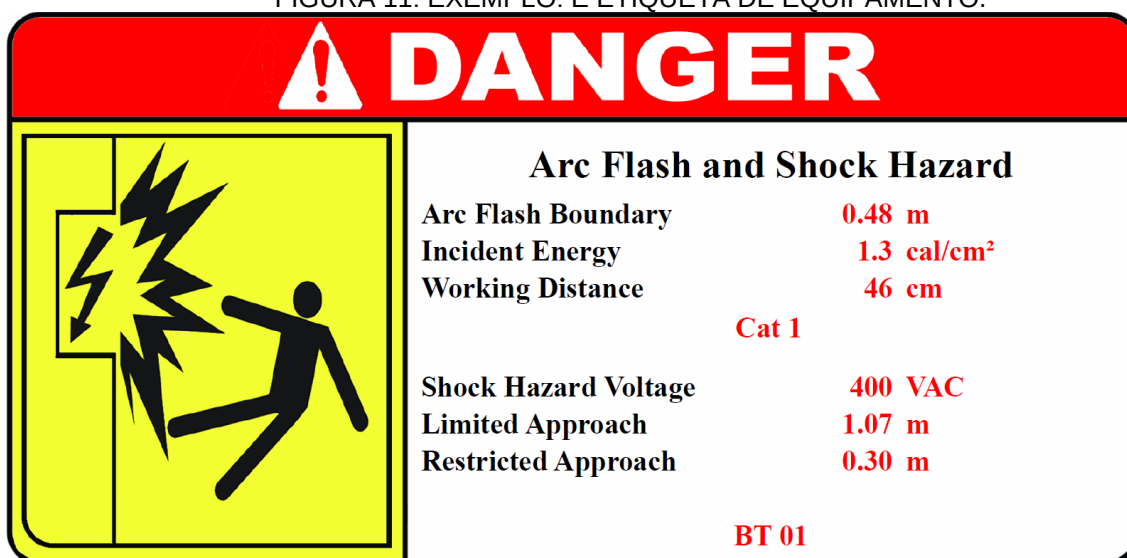
FIGURA 10: EXEMPLO: RESULTADOS DO ESTUDO DE ENERGIA INCIDENTE PARA UM BARRAMENTO NO ETAP.



FONTE: O Autor (2018)

O programa também permite a criação automática de rótulos em diversos formatos, conforme FIGURA 11. Porém como a licença da faculdade é importada, a etiqueta gerada pelo programa fica em inglês.

FIGURA 11: EXEMPLO: E ETIQUETA DE EQUIPAMENTO.



FONTE: O Autor (2018)

A etiqueta apresenta uma terminologia com as seguintes especificações. Fazendo uma tradução livre das nomenclaturas conforme TABELA 2:

TABELA 2: TRADUÇÃO LIVRE INGLÊS - PORTUGUÊS

INGLÊS	PORTUGUÊS
Arc Flash Boundary	Limite de Proteção de Arco
Incident Energy	Energia Incidente
Working Distance	Distância de Trabalho
Shock Hazard Voltage	Risco de Choque – Tensão
Limited Approach	Aproximação Limitada
Restricted Approach	Aproximação Restrita

FONTE: O Autor (2018)

Limite de Proteção de Arco: Menor distância de aproximação permitida para pessoas qualificadas ou comuns, sem o uso de EPI's, no qual está exposto a $1,2 \text{ cal/cm}^2$ por 0,1 segundos de energia incidente.

Energia Incidente: Energia por unidade de área recebida sobre uma superfície de trabalho localizada a uma distância do ponto de origem do arco elétrico.

Distância de Trabalho: Distância do trabalhador em pé até a origem do arco.

Nível de EPI Exigido: Indica qual o nível do equipamento de proteção individual que deve ser utilizado por pessoas qualificadas que venham a se aproximar do equipamento além da distância recomendada.

Risco de choque – Tensão: Nível de tensão do ponto energizado.

Aproximação limitada: Distância mínima que uma pessoa comum deve ficar do ponto energizado para estar segura contra choques elétricos. Pessoas não qualificadas não podem se aproximar do ponto energizado além deste limite.

Aproximação Restrita: Distância mínima que uma pessoa qualificada deve ficar do ponto energizado para estar segura contra choques elétricos. Pessoas qualificadas sem EPI's não podem se aproximar do ponto energizado além deste limite.

4.2 ENERGIA INCIDENTE SITUAÇÃO ATUAL

A situação atual da subestação fabril é uma proteção encontrada na maioria das instalações existentes. O sistema de proteção é formado pelos relés de sobrecorrente e disjuntores de baixa tensão.

As funções de sobrecorrentes foram dimensionadas a partir de cálculos utilizados na prática com as equações (7), (8), (9) e (10) a seguir:

- Cálculo do Sobrecorrente temporizado (Função 51):

Para a corrente de partida de relé, que protege o lado da alta tensão do transformador, usa-se um fator de 20% da corrente nominal deste transformador.

Corrente nominal do Transformador:

$$I_n = \frac{S}{V_a \times \sqrt{3}} \quad (7)$$

I_n = Corrente nominal do transformador em relação ao lado da tensão definida.

[A]

S = Potência do transformador. [VA]

V_a = Tensão do lado de alta do transformador. [V]

Ajuste de corrente de partida:

$$I_{partida} = I_n \times 1,2 \quad (8)$$

A curva é escolhida dentro das opções fornecidas pelo relé. A curva que melhor se encaixar na coordenação com a curva do disjuntor de baixa tensão e ainda proteger o transformador. Para essa simulação foi decidido usar a curva IEC muito inversa.

Formula da curva (IEC VI):

$$t = \frac{13,5 \times T_{dial}}{\left(\frac{I}{I_p} - 1\right)} \quad (9)$$

Ajuste do dial da curva:

$$Dial = \frac{t \times \left(\frac{I}{I_p} - 1\right)}{13,5} \quad (10)$$

I = Corrente de curto circuito estudada. [A]

t = Tempo de atuação da curva no instante da corrente estudado. [s]

I_p = Corrente de partida do ajuste temporizado. [A]

- Cálculo do Sobrecorrente instantâneo (Função 50):

Para o cálculo da corrente de partida do ajuste de sobrecorrente instantâneo de fase é calculado com relação a corrente de curto na baixa do transformador refletida no lado de alta tensão do transformador. Esse ajuste é calculado com 120% da corrente referente ao curto na baixa tensão, para que a proteção a jusante atue antes do instantâneo do relé, deixando essa função como um backup para o sistema de proteção.

Os transformadores existentes no unifilar da subestação estudada são transformadores de 1000 kVA e 1500 kVA, assim os relés foram regulados com dois padrões de ajustes, uma para cada transformador. Os ajustes são apresentados a seguir (TABELA 3 e TABELA 4):

TABELA 3: AJUSTES PADRONIZADOS PARA OS TRANSFORMADORES DE 1000 KVA

$I_{partida}$ (51) [$A_{Primário}$]	50
Dial	0,28 VI*
$I_{partida}$ (50) [$A_{Primário}$]	980
Tempo [ms]	50

FONTE: O Autor (2018)

*VI – curva IEC Muito Inversa

TABELA 4: AJUSTES PADRONIZADOS PARA OS TRANSFORMADORES DE 1500 KVA

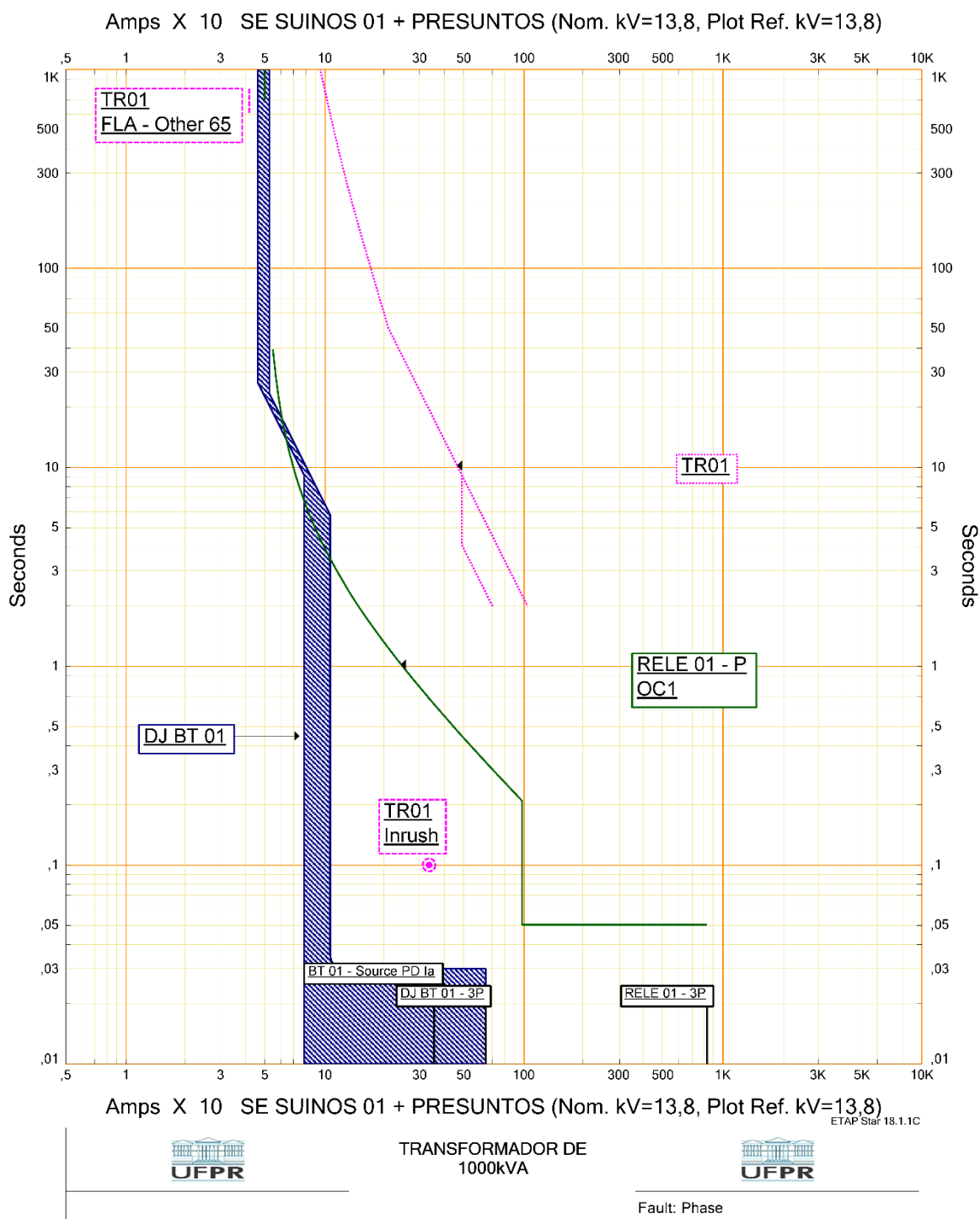
$I_{partida}$ (51) [$A_{Primário}$]	75
Dial	0,83 EI**
$I_{partida}$ (50) [$A_{Primário}$]	1470
Tempo [ms]	50

FONTE: O Autor (2018)

**EI – curva IEC Extremamente Inversa

Conforme os ajustes estabelecidos anteriormente os coordenogramas para o sistema de proteção é apresentado nas FIGURA 12 e FIGURA 13:

FIGURA 12: COORDENOGRAMA DO AJUSTE PARA PROTEÇÃO DO TRANSFORMADOR DE 1000 kVA.

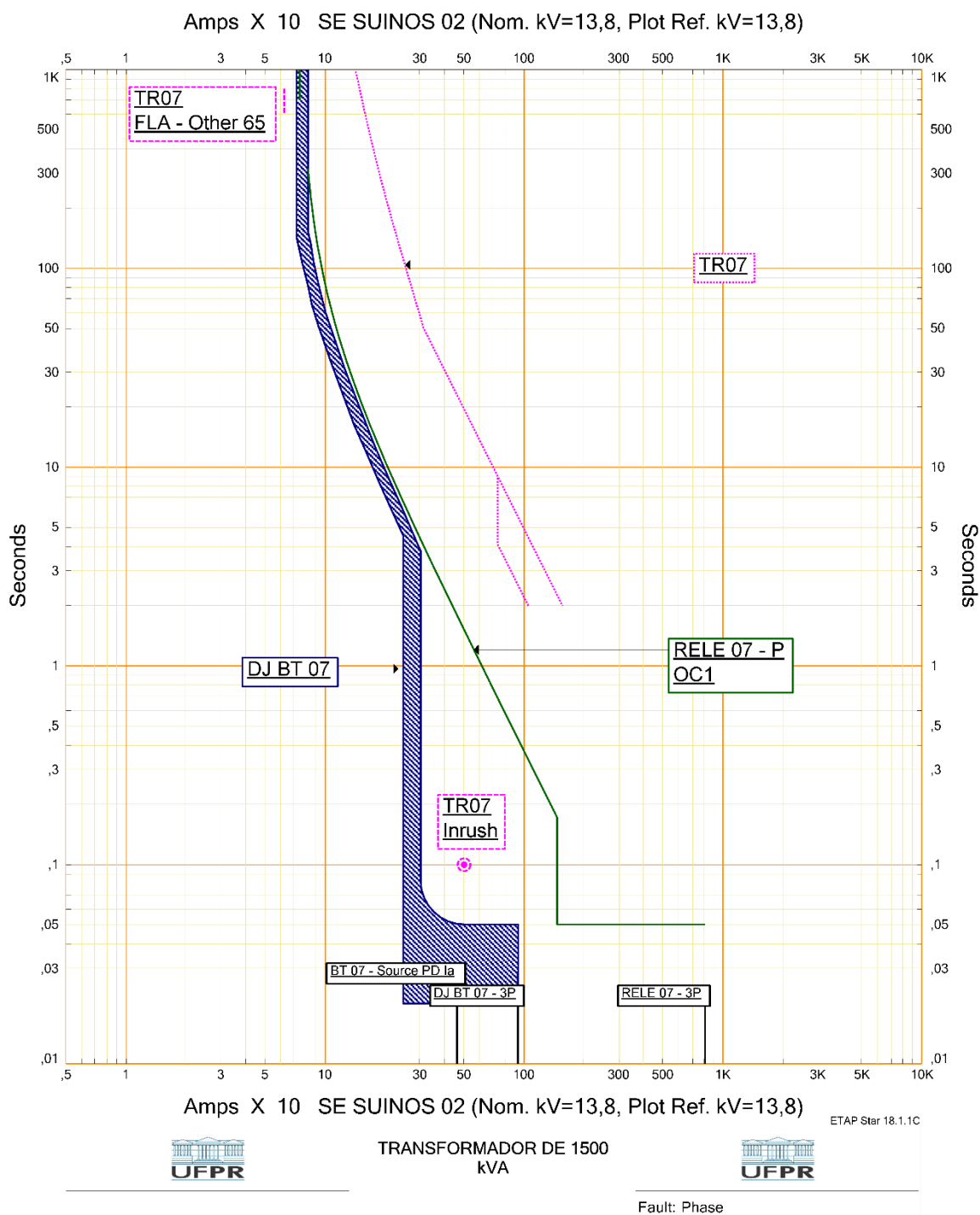


FONTE: O Autor (2018)

LEGENDA:

- Curva do Transformador;
- Curva do Relé;
- Curva do Disjuntor.

FIGURA 13: COORDENOGRAMA DO AJUSTE PARA PROTEÇÃO DO TRANSFORMADOR DE 1500 kVA.



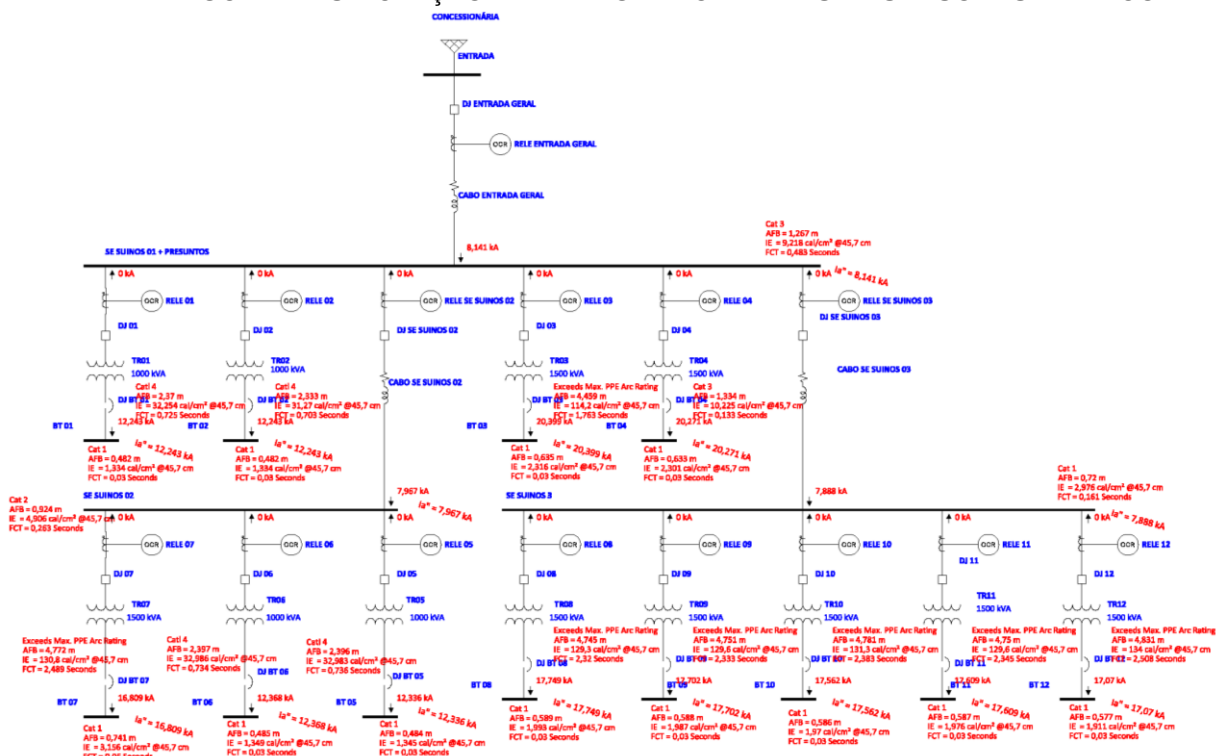
FONTE: O Autor (2018)

LEGENDA:

- Curva do Transformador;
- Curva do Relé;
- Curva do Disjuntor.

Utilizando os ajustes calculados anteriormente, o sistema simulado apresenta os valores referentes a FIGURA 14:

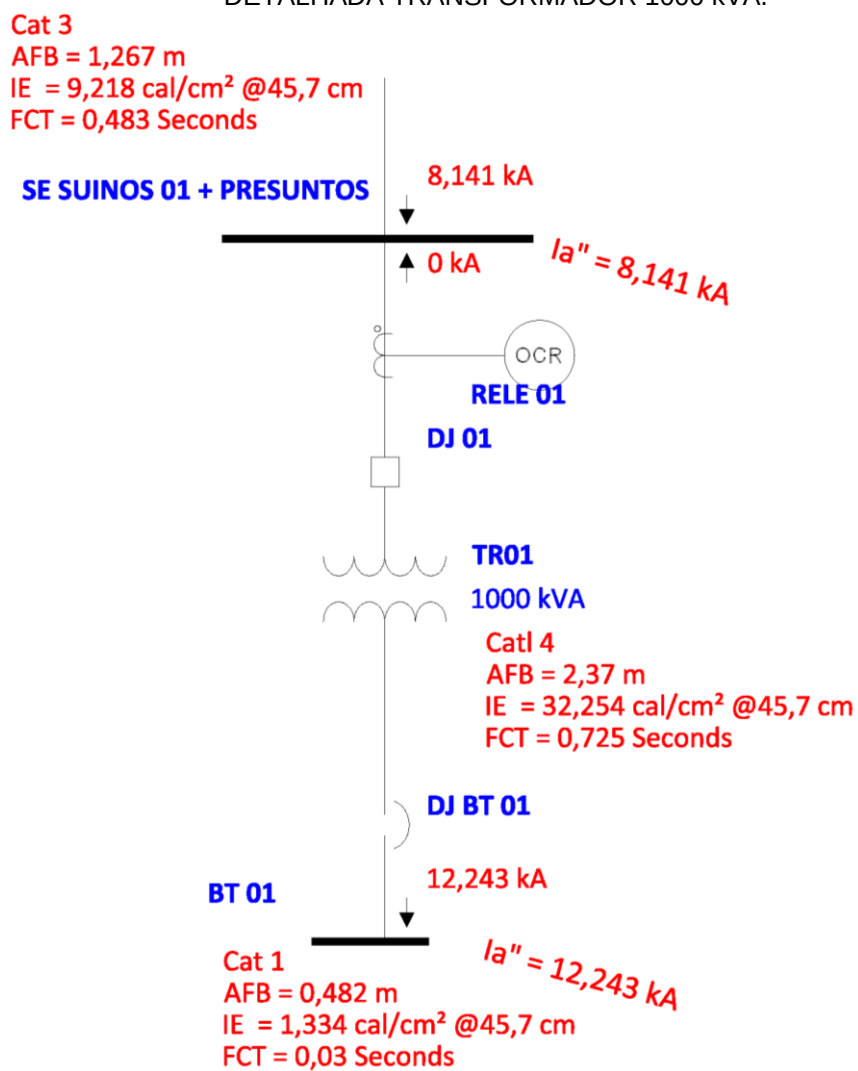
FIGURA 14: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE SEM SENSORES DE ARCO.



FONTE: O Autor (2018)

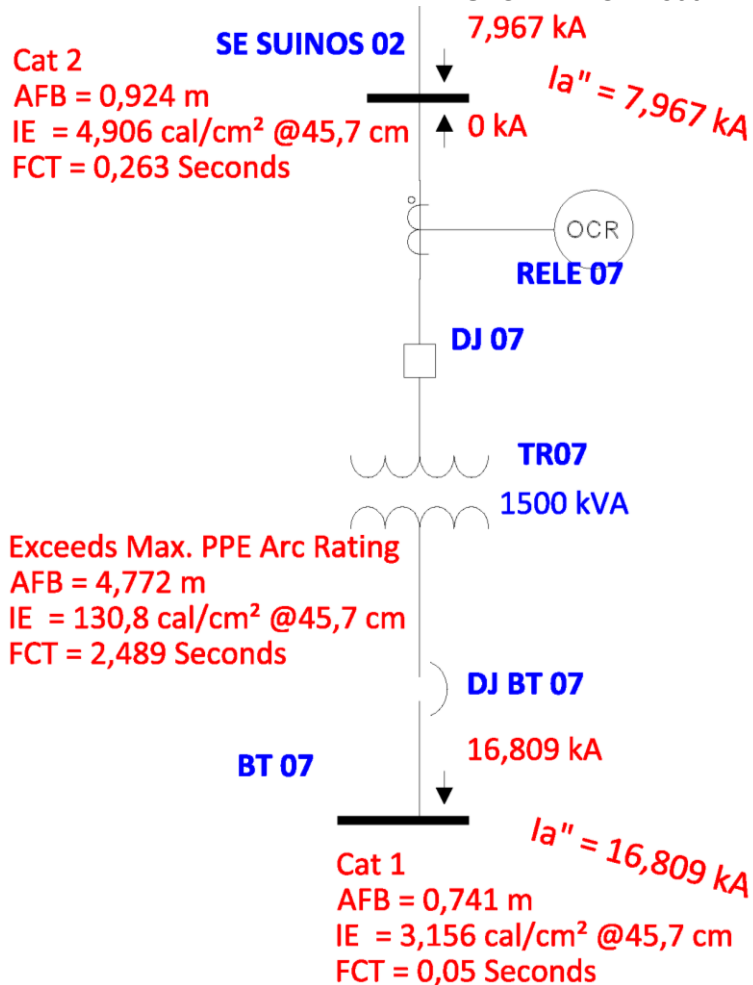
Para uma visualização mais detalhada da simulação através das FIGURA 15 e FIGURA 16, representam uma ampliação dos resultados mostrados na FIGURA 14, porém mostrando apenas um transformador de 1000 kVA e 1500 kVA respectivamente:

FIGURA 15: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE SEM SENSORES DE ARCO
DETALHADA TRANSFORMADOR 1000 kVA.



FONTE: O Autor (2018)

FIGURA 16: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE SEM SENSORES DE ARCO
DETALHADA TRANSFORMADOR 1500 kVA.

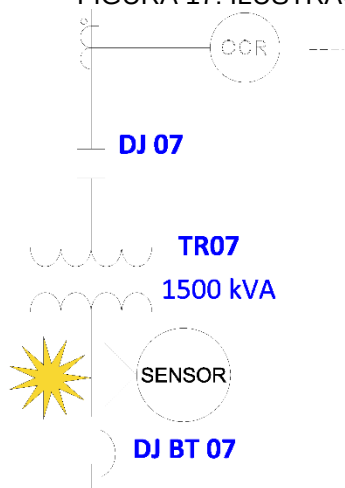


FONTE: O Autor (2018)

4.3 ENERGIA INCIDENTE COM SENSORES DE ARCO

Com a instalação dos sensores de arco elétrico nos barramentos de baixa tensão dos transformadores, acionando os disjuntores de média tensão correspondentes aos barramentos. Representados através da ilustração a seguir (FIGURA 17).

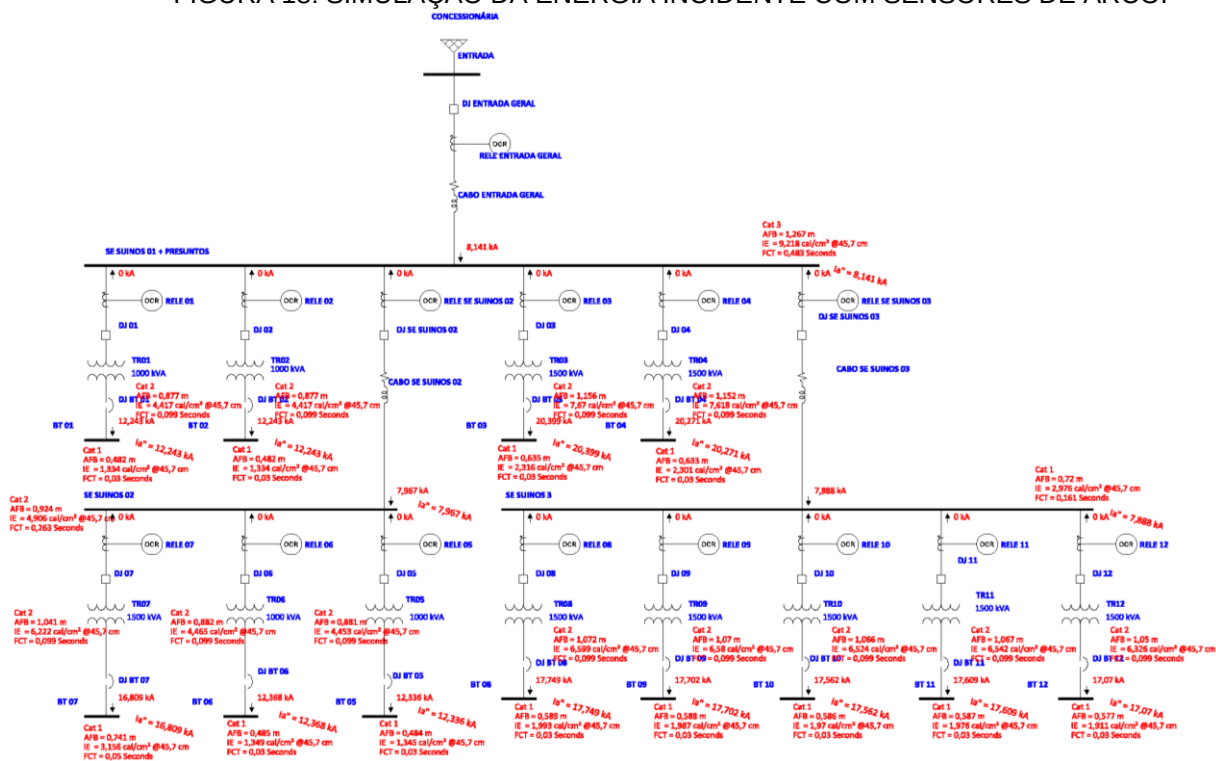
FIGURA 17: ILUSTRAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS SENSORES DE ARCO.



FONTE: O Autor (2018)

O sensor faz com que a atuação do sistema de proteção seja instantânea, sendo assim os tempos de atuação são próximos a zero. Com isso o resultado da atuação do novo sistema de proteção é apresentado na FIGURA 18.

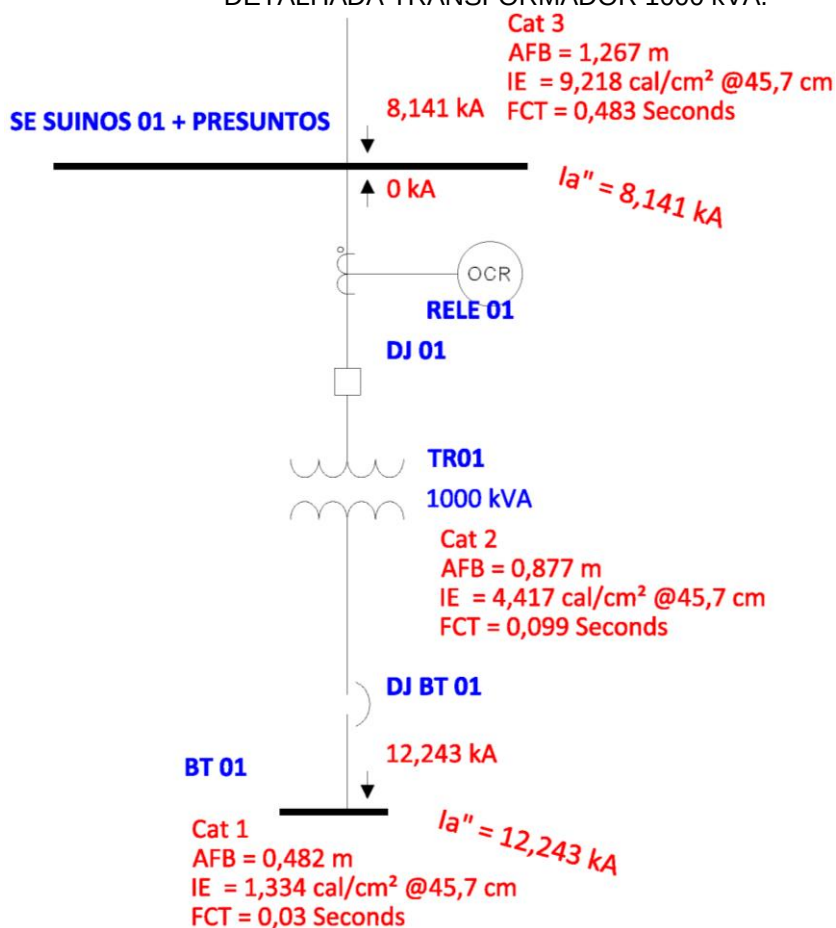
FIGURA 18: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE COM SENSORES DE ARCO.



FONTE: O Autor (2018)

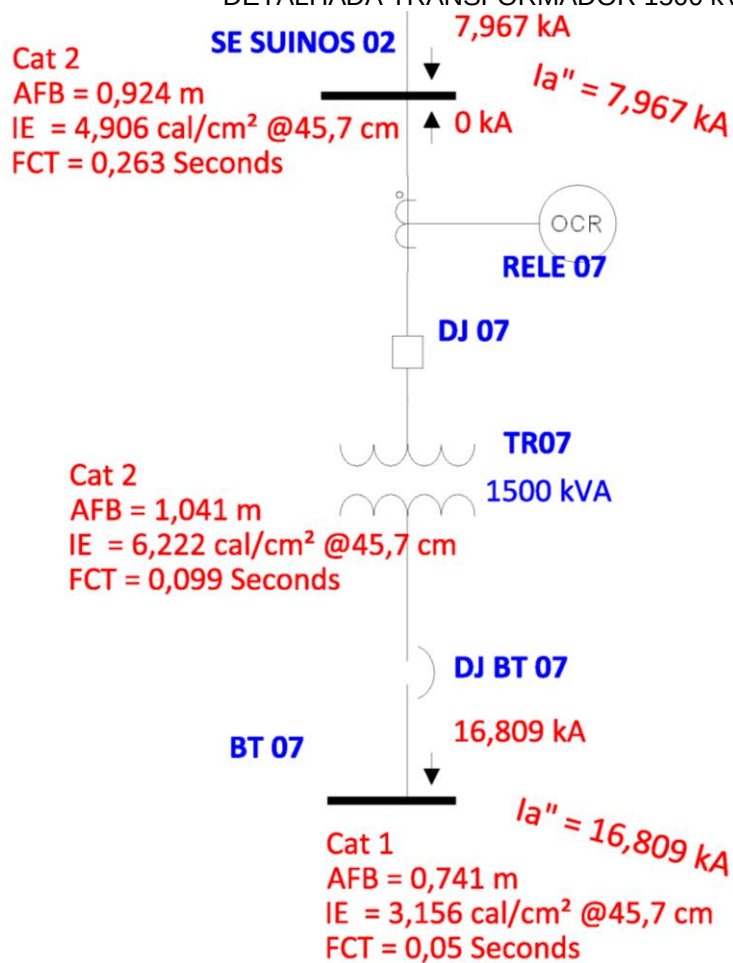
Novamente para uma visualização mais detalhada da simulação com o novo sistema de proteção, através das FIGURA 19 e FIGURA 20, representam uma ampliação dos resultados mostrados na FIGURA 18, porém mostrando apenas um transformador de 1000 kVA e 1500 kVA respectivamente:

FIGURA 19: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE COM SENSORES DE ARCO DETALHADA TRANSFORMADOR 1000 kVA.



FONTE: O Autor (2018)

FIGURA 20: SIMULAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE COM SENSORES DE ARCO
DETALHADA TRANSFORMADOR 1500 kVA.



FONTE: O Autor (2018)

5 RESULTADOS

Analisando os resultados da simulação. Na primeira situação, somente com o sistema de proteção de sobrecorrente temporizado e instantâneo atuando, pode-se identificar, que para um curto na região entre o disjuntor de baixa tensão e o enrolamento de baixa tensão do transformador, o equipamento que está protegendo é o relé instalado na média tensão. A proteção atua, porém, o tempo de atuação é consideravelmente alto para o nível de calorías por centímetro quadrado existente no momento da falha nessa região, tendo em vista que as definições das categorias de riscos levam em conta a distância de efetuar um trabalho na área, por ser uma área de baixa tensão consequentemente as distâncias são menores e o tempo que a proteção demora para agir na situação de curto circuito nas proximidades, como demonstrado atingem o nível de vestimenta de categoria 4 fazendo o trabalhador presente no local estar obrigatoriamente vestido conforme QUADRO 1.

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos na primeira simulação a QUADRO 5 a seguir explica os resultados obtidos nos barramentos e entre a baixa do transformador e disjuntor, respectivamente:

QUADRO 5: RESULTADOS DA ENERGIA INCIDENTE SEM SENSORES DE ARCO NOS BARRAMENTOS

ID	kV	Energia Total	FPB (m)	Categoria de Risco	FCT (ms)	Proteção.
BT 01	0,4	1,33	0,482	Cat 1	30	DJ BT 01
BT 02	0,4	1,33	0,482	Cat 1	30	DJ BT 02
BT 03	0,38	2,32	0,635	Cat 1	30	DJ BT 03
BT 04	0,38	2,3	0,633	Cat 1	30	DJ BT 04
BT 05	0,38	1,34	0,484	Cat 1	30	DJ BT 05
BT 06	0,38	1,35	0,485	Cat 1	30	DJ BT 06
BT 07	0,38	3,16	0,741	Cat 1	50,4	DJ BT 07
BT 08	0,38	1,99	0,589	Cat 1	30	DJ BT 08
BT 09	0,38	1,99	0,588	Cat 1	30	DJ BT 09
BT 10	0,38	1,97	0,586	Cat 1	30	DJ BT 10
BT 11	0,38	1,98	0,587	Cat 1	30	DJ BT 11
BT 12	0,38	1,91	0,577	Cat 1	30	DJ BT 12
SE SUINOS 01 + PRESUNTOS	13,8	9,22	1,267	Cat 3	483,3	DJ ENTRADA GERAL
SE SUINOS 02	13,8	4,91	0,924	Cat 2	263,3	DJ SE SUINOS 02
SE SUINOS 3	13,8	2,98	0,72	Cat 1	161,5	DJ SE SUINOS 03
DJ BT 01	0,4	32,25	2,37	Cat 4	725,4	DJ 01
DJ BT 02	0,4	31,27	2,333	Cat 4	703,2	DJ 02
DJ BT 03	0,38	114,21	4,459	> Cat 4	1763,2	DJ 03
DJ BT 04	0,38	10,23	1,334	Cat 3	133,3	DJ 04
DJ BT 05	0,38	32,98	2,396	Cat 4	735,8	DJ 05
DJ BT 06	0,38	32,99	2,397	Cat 4	733,8	DJ 06
DJ BT 07	0,38	130,79	4,772	> Cat 4	2489,2	DJ 07
DJ BT 08	0,38	129,31	4,745	> Cat 4	2320,4	DJ 08
DJ BT 09	0,38	129,62	4,751	> Cat 4	2332,7	DJ 09
DJ BT 10	0,38	130,56	4,768	> Cat 4	2369,9	DJ 10
DJ BT 11	0,38	130,25	4,762	> Cat 4	2357,5	DJ 11
DJ BT 12	0,38	134,02	4,831	> Cat 4	2508,5	DJ 12

FONTE: O Autor (2018)

Escala de cores por categorias:

- Categoria 0;
- Categoria 1;
- Categoria 2;
- Categoria 3;
- Categoria 4;
- Categoria >4;

A segunda situação, mostra um sistema que está atuando instantaneamente, sendo que o cenário de um sistema de proteção com sensores de arco elétrico é atuar

na fase do pré arco, antes mesmo de ocorrer o ato. Assim, as categorias existentes na segunda simulação mostram mesmo com distâncias curtas para efetuar o trabalho nos painéis, uma classe menor, pois o tempo de atuação é quase que instantâneo, somente com a espera do tempo de atuação dos disjuntores que em média atuam com 0,03 segundos. Presentes no QUADRO 6:

QUADRO 6: RESULTADOS DA ENERGIA INCIDENTE COM SENSORES DE ARCO NOS BARRAMENTOS

ID	kV	Energia Total	FPB (m)	Categoria de Risco	FCT (ms)	Proteção.
BT 01	0,4	1,33	0,482	Cat 1	30	DJ BT 01
BT 02	0,4	1,33	0,482	Cat 1	30	DJ BT 02
BT 03	0,38	2,32	0,635	Cat 1	30	DJ BT 03
BT 04	0,38	2,3	0,633	Cat 1	30	DJ BT 04
BT 05	0,38	1,34	0,484	Cat 1	30	DJ BT 05
BT 06	0,38	1,35	0,485	Cat 1	30	DJ BT 06
BT 07	0,38	3,16	0,741	Cat 1	50,4	DJ BT 07
BT 08	0,38	1,99	0,589	Cat 1	30	DJ BT 08
BT 09	0,38	1,99	0,588	Cat 1	30	DJ BT 09
BT 10	0,38	1,97	0,586	Cat 1	30	DJ BT 10
BT 11	0,38	1,98	0,587	Cat 1	30	DJ BT 11
BT 12	0,38	1,91	0,577	Cat 1	30	DJ BT 12
SE SUINOS 01 + PRESUNTOS	13,8	9,22	1,267	Cat 3	483,3	DJ ENTRADA GERAL
SE SUINOS 02	13,8	4,91	0,924	Cat 2	263,3	DJ SE SUINOS 02
SE SUINOS 3	13,8	2,98	0,72	Cat 1	161,5	DJ SE SUINOS 03
DJ BT 01	0,4	4,42	0,877	Cat 2	99,3	DJ 01
DJ BT 02	0,4	4,42	0,877	Cat 2	99,3	DJ 02
DJ BT 03	0,38	7,67	1,156	Cat 2	99,3	DJ 03
DJ BT 04	0,38	7,62	1,152	Cat 2	99,3	DJ 04
DJ BT 05	0,38	4,45	0,881	Cat 2	99,3	DJ 05
DJ BT 06	0,38	4,47	0,882	Cat 2	99,3	DJ 06
DJ BT 07	0,38	6,22	1,041	Cat 2	99,3	DJ 07
DJ BT 08	0,38	6,6	1,072	Cat 2	99,3	DJ 08
DJ BT 09	0,38	6,58	1,07	Cat 2	99,3	DJ 09
DJ BT 10	0,38	6,52	1,066	Cat 2	99,3	DJ 10
DJ BT 11	0,38	6,54	1,067	Cat 2	99,3	DJ 11
DJ BT 12	0,38	6,33	1,05	Cat 2	99,3	DJ 12

FONTE: O Autor (2018)

Escala de cores por categorias:

-  Categoria 0;
-  Categoria 1;
-  Categoria 2;

- Categoria 3;
- Categoria 4;
- Categoria >4;

Fazendo um comparativo entre os QUADRO 5 e QUADRO 6 com relação aos resultados obtidos na localização do sensor de arco (QUADRO 7).

QUADRO 7: COMPARAÇÃO DA ENERGIA INCIDENTE NOS DOIS CASOS

ID	SEM SENSORES				COM SENSORES			
	Total Energy (cal/cm ²)	AFB (m)	Energy Levels	Final FCT (ms)	Total Energy (cal/cm ²)	AFB (m)	Energy Levels	Final FCT (ms)
DJ BT 01	32,25	2,37	Cat 4	725,4	4,42	0,877	Cat 2	99,3
DJ BT 02	31,27	2,333	Cat 4	703,2	4,42	0,877	Cat 2	99,3
DJ BT 03	114,21	4,459	> Cat 4	1763,2	7,67	1,156	Cat 2	99,3
DJ BT 04	10,23	1,334	Cat 3	133,3	7,62	1,152	Cat 2	99,3
DJ BT 05	32,98	2,396	Cat 4	735,8	4,45	0,881	Cat 2	99,3
DJ BT 06	32,99	2,397	Cat 4	733,8	4,47	0,882	Cat 2	99,3
DJ BT 07	130,79	4,772	> Cat 4	2489,2	6,22	1,041	Cat 2	99,3
DJ BT 08	129,31	4,745	> Cat 4	2320,4	6,6	1,072	Cat 2	99,3
DJ BT 09	129,62	4,751	> Cat 4	2332,7	6,58	1,07	Cat 2	99,3
DJ BT 10	130,56	4,768	> Cat 4	2369,9	6,52	1,066	Cat 2	99,3
DJ BT 11	130,25	4,762	> Cat 4	2357,5	6,54	1,067	Cat 2	99,3
DJ BT 12	134,02	4,831	> Cat 4	2508,5	6,33	1,05	Cat 2	99,3

FONTE: O Autor (2018)

Com base no QUADRO 7 e analisando os tempos de atuação dos sistemas de proteção comprova o item 3.3 que a energia incidente depende do tempo de eliminação da falha, além de diminuir a energia incidente diminui também o raio de alcance do arco elétrico, assegurando uma área maior para o trabalhador.

6 CONCLUSÃO

Através da primeira simulação foi possível identificar quais eram as áreas mais carentes de um sistema mais eficaz de proteção contra as falhas no circuito. Com isso, procurou-se o melhor equipamento que se encaixasse no sistema já existente que fosse seguro e confiável para instalação junto ao sistema. Os sensores de arco voltaicos com detecção de luminosidade, sem a necessidade de presença de corrente, foram os escolhidos para tal função.

O objetivo geral foi concluído a partir do momento que os sensores escolhidos têm uma técnica de comunicação com todo o conjunto de proteção.

Cada objetivo específico foi esclarecido no decorrer do trabalho, conforme mostrado nos resultados do item 5, através das figuras referentes as simulações utilizando o software com a licença da própria universidade. O método proposto para a redução da categoria de risco no caso apresentado na primeira situação, onde há uma área em que a proteção leva um tempo consideravelmente alto para atuar, foi justificado com os dados do QUADRO 7 comparando os tempos de atuação do mesmo dispositivo no mesmo local, somente com a mudança de função do relé.

A análise do arco elétrico foi tratada no item 2 do presente trabalho, colocando desde a origem das pesquisas com relação a esse fenômeno natural, constatando os riscos causados pela presença do mesmo até normas baseadas para prevenção dos efeitos causados no trabalhador em contato com a energia causada pelo arco.

Os futuros trabalhos relacionados a esse tema poderiam incluir a comparação do custo da instalação desse sistema de proteção com relação ao prejuízo de uma fábrica que por causa da não atuação do sistema de proteção comum teve com a danificação em maior escala dos equipamentos, tendo em vista que nas duas situações há danificações nos equipamentos, a diferença é a intensidade do dano.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60439-1: Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão Parte 1: Conjuntos com ensaio de tipo totalmente testados (TTA) e conjuntos com ensaio de tipo parcialmente testados (PTTA).** São Paulo: Abnt, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 62271-200: Conjunto de manobra e controle de alta-tensão – parte 200: Conjunto de manobra e controle de alta-tensão em invólucro metálico para tensões acima de 1 kV até e inclusive 52 kV.** São Paulo: Abnt, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade.** São Paulo: Abnt, 2016.

BOTTARO, M.; RAPOSO, I. B. **Proteção contra arco elétrico.** 2016. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/protecao-contr-arco-eletrico/>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

CUNHA, L. Relés e Contatores. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 45, out. 2009. Disponível em < <https://www.osetoreletrico.com.br/reles-e-contatores/>>. Acesso em: 02 set. 2018.

HUSSAIN, G. A. **Methods for Arc-Flash Prediction in Medium Voltage and Low Voltage Switchgear.** 5ª Edição. Espoo, Finlândia. Doctoral Dissertations. 2016.

IEEE Std. 1584 – 2011. **IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation.** Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2011.

LEE, R. H.; DUNKI-JACOBS, J. R., **Pressures developed by arcs**, IEEE Trans. Industry Applications, vol. IA-23, pa. 760, N°. 4, July/Aug. 1987.

LEE, R. H., **The Other Electrical Hazard: Electrical Arc Blast Burns**, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 1A-18, pa. 246, N°. 3, Mai / Jun 1982.

MARDEGAN, C. S.; PARISE, G. Proteção contra arco elétrico: Equipamentos de proteção. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 149, n. 6, p.36-39, jun. 2018.

NFPA 70E – 2009. **Standard for electrical safety requirements for employee workplaces**, National Fire Protection Association. 2009;

QUEIROZ, A. R. S. **Utilização de relés digitais para mitigação dos riscos envolvendo arco elétrico**. Dissertação (Mestrado em Ciências – Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo, 2011.

QUEIROZ, A. R. S.; SENGGER, E. C. Proteção contra arco elétrico e EPIs: Redução dos níveis de energia incidente – Estudo de Caso. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 11, n. 82, p.26-28, nov. 2012.

QUEIROZ, A. R. S.; SENGGER, E. C. Proteção contra arco elétrico e EPIs: Redução dos níveis de energia incidente – Estudo de Caso. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 07, n. 78, p.36-38, jul. 2012.

STANBACK, H. I. **Predicting damage from 277-V single phase to ground arcing faults**. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-13, n. 4, jul/ago. 1977.

VARIXX. **Manual Zyggot Arco**. Disponível em:

<<https://varixx.com.br/static/uploads/products/32657910275211246599bb4564df1e9e5843f.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2018.