



2019 IEEE ESW BRAZIL

ELECTRICAL SAFETY WORKSHOP BRAZIL (ESW BRAZIL)

16 A 18 DE JULHO DE 2019 – SALTO, SP





2019 IEEE ESW BRAZIL

Electrical Safety Workshop Brazil (ESW BRAZIL)

PREFÁCIO – IEEE ESW BRASIL 2019

No dia **17 de julho de 2019**, aconteceu a abertura oficial do **IX ESW BRASIL - International Safety Workshop**, evento internacional voltado para a área de segurança do trabalho para a engenharia elétrica que se estenderá até o dia 19/07. **Sediado na Estância Turística de Salto, no Estado de São Paulo**, o evento contou com a presença do prefeito do município, Geraldo Garcia. Na mesa de abertura, além do prefeito, o presidente da AEAAS – Associação de Engenheiros de Salto, Paulo Takeyama, o presidente da ABRACOPEL, Gilberto Alvarenga, os representantes do IEEE, Guiou Kobayashi e Luiz Tomiyoshi, além do diretor executivo e coordenador geral do evento, Edson Martinho.

O ESW foi criado pelo IEEE – Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos, fundado nos Estados Unidos, sendo a maior organização profissional do mundo dedicada ao avanço da tecnologia em benefício da humanidade. É importante citar que o Brasil é um dos poucos países no mundo, além dos Estados Unidos, a sediar este evento (são 4 países no total que sediam hoje o ESW).

Pela 2ª vez em Salto, este evento é organizado pela ABRACOPEL – Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade, entidade nacional, que entende a importância de manter um evento desta importância em nosso país. Estão participando desta edição profissionais de grandes empresas como Vale, Dupont, Chevron, Petrobras, Fluke, Leal, BIVAL, além de empresas distribuidoras de energia elétrica como a ENEL e instituições educacionais como USP, UNIJUÍ e UFSM.

Segundo Martinho, “*o ESW, nesta 9ª edição no Brasil e pela 3ª vez organizado pela Abracopel em parceria com o IEEE, mostra uma evolução clara: a qualidade do público presente se equipara à qualidade dos trabalhos que estão sendo apresentados; o apoio dos patrocinadores este ano mostra essa evolução: grandes nomes e grandes marcas estão aqui. Estamos crescendo e mantendo o Brasil como um dos poucos países no mundo a replicar esse modelo de sucesso originado e prestigiado nos Estados Unidos. Mas ainda há muito o que crescer e evoluir e estamos no caminho certo!*”

A PROGRAMAÇÃO DO ESW BRASIL 2019

O ESW BRASIL, em sua 9^a edição, aconteceu entre os dias 16 (com tutoriais) e 18 de julho, nas dependências do Salto Plaza Hotel. Iniciado no dia 16 com dois tutoriais que geraram grande interesse entre os participantes, foram eles: *Faltas por Arco e Energia Incidente – Principais alterações da norma IEEE Std 1584 - 2002 para a norma IEEE Std 1584 - 2018* com o Engenheiro e membro Sênior do IEEE – Cláudio Sérgio Mardegan no período da manhã; e à tarde o tutorial foi *Aplicação da Norma IEC61850 em uma planta industrial da Vale Itabira/MG e os benefícios do SAS (Sistema de Automação de Subestações) no gerenciamento, análise e segurança das equipes de manutenção, operação e engenharia* com o Eng. Paulo Henrique Vieira Soares.

No dia 17 de julho, após a abertura oficial, os trabalhos apresentados foram: *Número de acidentes de origem elétrica – A estatística ajudando a reduzir os acidentes* com o Eng. Edson Martinho, da Abracopel; depois *Laboratório de práticas elétricas (LPE) empregado na formação e capacitação de profissionais na Vale Itabira* com o Eng. Paulo Henrique Soares, da VALE; em seguida, *Instalações elétricas em Piscinas – Estudo de caso* com Thalita Santos da Sinergia; após o coffee break, veio o Eng. Sergio Santos, com o tema *A NR-12 e a segurança das instalações elétricas*, em seguida, os engenheiros Adonay Rodrigues, Cristhian Gabriel da Rosa de Oliveira, da ENEL Distribuição de Goiás, apresentaram o trabalho *Desenvolvimento de uma metodologia de ensaios com procedimentos operacionais padrão de técnicas preditivas, visando à segurança na análise de desempenho de transformadores de potência*. Tudo isso apenas no período da manhã, voltando do almoço, iniciamos com João Victor Barboza e Felipe Andrade da Chevron com o tema *Análise de Risco de Arco Elétrico e Energia Incidente em Plataforma Offshore*, a seguir, novamente o Eng. Paulo Henrique Soares, da Vale, com metodologia de teste e supervisão dos relés de arco utilizada na planta industrial da Vale Itabira – Usina Conceição II, e Ricardo Carvalho, da DIAGNERG, com o tema *Arco Elétrico – Um Risco a ser gerenciado*. Uma parada para o coffee break e visitação à exposição e voltamos com João Cunha da Mi Omega e o tema *Aterramento e equipotencialização de subestações*, finalizando este primeiro dia, a Eng. Caroline Radüns da UNIJUÍ e o trabalho *Notificações de acidentes de trabalho e números dos bancos de dados*. Um caloroso debate encerrou um dia de muita informação da mais alta qualidade.

No dia 18, iniciamos mais um dia com uma programação super qualificada, Eng. Estellito Rangel Jr., da EX-periênci e Soluções, com o tema *O uso seguro dos multímetros*, em seguida, um momento de descontração com o Eng. João Carlos Schettino da Petrobras com o tema *Percepção de Segurança & Música*, em seguida os profissionais do Instituto de Energia e Ambiente da USP, capitaneados pelo Eng. Helio Sueta trouxe aspectos da *análise paramétrica dos componentes de risco conforme a norma ABNT NBR 5419-2: 2015 para a proteção contra as descargas atmosféricas*. Depois da parada para o café, voltamos com a psicóloga Maria de Fátima Antunes Costa e o interessante tema *Ergonomia cognitiva e aspectos comportamentais intrínsecos às atividades do setor elétrico*, em seguida mais uma vez o Instituto de Energia

e Ambiente da USP com o tema *Desenvolvimento de calorímetro baseado em sensor óptico para determinação do ATPV* apresentado pela Eng. Fernanda Soares. Depois de mais uma manhã intensa, paramos para o almoço. Voltando com Eng. João Macário Netto e o tema *A Importância da Norma Regulamentadora nº 10 (NR 10) em Canteiro de Obras*. Vinicius Ayrão da Sinergia trouxe o tema *Impactos da Energia Fotovoltaica no Projeto das Instalações Elétricas*, a seguir e encerrando a programação, o Eng. Edson Martinho, da Abracopel e coordenador geral do ESW 2019, trouxe o tema *NR-10 para aplicação em sistemas fotovoltaicos*. Um novo debate fechou o dia.

A EXPOSIÇÃO

Este ano tivemos o apoio de grandes e importantes empresas do setor elétrico: a **FLUKE**, empresa americana líder no mercado de instrumentos de medição; a **LEAL**, igualmente líder no mercado de equipamentos de proteção individual e coletivo, a **DUPONT**, que no evento trouxe a marca NOMEK, uma fibra revolucionária, resistente à chama e ao calor; a **BRVAL**, empresa líder no fornecimento de cabines e subestações blindadas e a **ETAP**, líder de mercado e tecnologia global em modelagem, projeto, análise, otimização, monitoramento, controle e software de automação para sistemas de energia elétrica.

Também apoiaram essa 9ª edição, a **Mi Omega**, consultoria em engenharia; a **Techno**, empresa italiana que está trazendo para o Brasil, conectores para áreas especiais, a **MSR**, que há mais de 10 anos fornece equipamentos de combate a incêndio de alta tecnologia e simplicidade de operação e manutenção; a **Lambda Consultoria**, especializada em qualidade de energia e a **Westex**, líder em fornecer o mais alto nível de proteção, conforto e segurança nos tecidos resistentes a chama usados para proteger os trabalhadores.

Cada estande atraiu grande interesse dos participantes, com a demonstração de produtos e tecnologias, gerando novos e futuros negócios.



A Comissão Organizadora do X ESW Brasil foi composta por:



EDSON MARTINHO (*Coordenador financeiro*)

Fundador e Diretor Executivo da Abracopel, Sócio-diretor do Grupo Lambda. Presidente da AEAS – Associação de Engenheiros e Arquitetos de Salto-SP. Engenheiro Eletricista e de Segurança do Trabalho, é especialista em Qualidade da Energia Elétrica e Segurança em sistemas de baixa tensão.



LUIZ TOMIYOSHI (*Coordenador Técnico*)

Serviço de consultoria de engenharia em instalações elétricas industriais, construção, operação, manutenção e segurança elétrica. Treinamento e investigação de acidentes elétricos.



JOÃO GILBERTO CUNHA (*Membro Comitê Técnico*)

Mestre em Engenharia Eletrônica e Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. Membro da comissão de estudo de instalações elétricas de baixa tensão e coordenador da comissão de estudos de média e alta tensão da ABNT-CB03. Diretor da Mi Omega Engenharia.



GUIOU KOBAYASHI (*Comissão organizadora*)

Mestre e Doutor em sistemas digitais pela Poli-USP. Atua nas áreas de Arquitetura de Computadores Paralelos e Tolerantes a Falha e Metodologias de Desenvolvimento de Sistemas.

Agradecimentos

Agradecemos profundamente a todos os patrocinadores e apoiadores que tornaram esta edição possível. O compromisso de cada organização com a segurança, a inovação e a educação no setor elétrico foi decisivo para elevar a qualidade técnica do evento e ampliar o alcance das nossas ações. A parceria estabelecida reforça a importância de trabalharmos juntos na construção de um ambiente cada vez mais seguro e consciente. Somos sinceramente gratos pela confiança depositada e pela contribuição indispesável para o sucesso e a relevância do ESW Brasil.



SUMÁRIO

<i>Paper 1 - A ESTATÍSTICA AJUDANDO A REDUZIR OS ACIDENTES</i>	10
<i>Lutero C. de Lima</i>	
<i>Paper 2 -Laboratório de práticas elétricas (LPE) empregado na formação e capacitação de profissionais na Vale Itabira.....</i>	15
<i>Keli Cristine Silva Antunes, Christiane Palmiere C. Vieira, Paulo Henrique Vieira Soares, Vicente Reis, Fernando de Souza Paiva, Elton Corrêa Guimarães, Vicentino J. Pinheiro Rodrigues</i>	
<i>Paper 3 -A NR12 e a segurança das instalações elétricas</i>	23
<i>Sergio Roberto Santos</i>	
<i>Paper 4 -ACIDENTES DE TRABALHO: BANCOS DE DADOS E IMPACTOS</i>	28
<i>Caroline Daiane Raduns, Camila Mastella</i>	
<i>Paper 5 -Desenvolvimento de uma metodologia de ensaios com procedimentos operacionais padrão de técnicas preditivas, visando a segurança na análise de desempenho de transformadores de potência.....</i>	33
<i>André Pereira Marques, Felipe Resende de Carvalho, Adonay Rodrigues, Cacilda de Jesus Ribeiro, Cristhian G. da R. de Oliveira Ricardo J. Murakami, Leonardo da Cunha Brito</i>	
<i>Paper 6 -Análise de Risco de Arco Elétrico e Energia Incidente em Plataforma Offshore</i>	41
<i>Gabriel Soares Wu, João Vitor Barboza da Silva, Paulo Victor de Souza Borges</i>	
<i>Paper 7 -Metodologia de teste e supervisão dos relés de arco utilizada na planta industrial da Vale Itabira – Usina Conceição II</i>	48
<i>Paulo Henrique Vieira Soares, Vicentino J. Pinheiro Rodrigues, Keli Cristine Silva Antunes, Paulo Marcio da Silveira, Aurélio L. M. Coelho Gilcimar Estavam Jacome, Thiago Henrique Pereira, Felipe Monteiro</i>	
<i>Paper 8 -ARCO ELÉTRICO – UM RISCO À SER GERENCIADO</i>	54
<i>Ricardo Carvalho, Eliton Ronaldo Gerolfo</i>	
<i>Paper 9 -Aterramento e equipotencialização de subestações</i>	57
<i>João Gilberto Cunha</i>	
<i>Paper 10 -Transporte e Montagem de Grandes Transformadores de Potência – Riscos e Medidas Preventivas</i>	67
<i>Manuel Maria Polainas Bolotinha</i>	

SUMÁRIO

<i>Paper 11 -O USO SEGURO DOS MULTÍMETROS</i>	72
<i>Estellito R. Junior</i>	
<i>Paper 12 -PERCEPÇÃO DE SEGURANÇA & MÚSICA</i>	78
<i>João Carlos Schettino de Castro</i>	
<i>Paper 13 -ANÁLISE PARAMÉTRICA DOS COMPONENTES DE RISCO CONFORME A NORMA ABNT NBR 5419-2: 2015 PARA A PROTEÇÃO CONTRA AS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS</i>	93
<i>Hélio Eiji Sueta, Miltom Shigihara, Luis Eduardo Caires</i>	
<i>Paper 14 -ERGONOMIA COGNITIVA E ASPECTOS COMPORTAMENTAIS INTRÍNSECOS AS ATIVIDADES DO SETOR ELÉTRICO.....</i>	99
<i>Maria de Fátima Antunes Alves Costa</i>	
<i>Paper 15 -Desenvolvimento de calorímetro baseado em sensor óptico para determinação do ATPV</i>	103
<i>Fernanda C. Salvador Soares, Marcio Bottaro, Josemir Coelho Santos</i>	
<i>Paper 16 -Modelagem e simulação do Arranjo de Ensaio de Arco Elétrico utilizando elementos finitos.....</i>	110
<i>Márcio Bottaro, Márcio Bottaro, Hédio Tatizawa</i>	
<i>Paper 17 -A Importância da Norma Regulamentadora nº10 (NR-10) em Canteiro de Obras</i>	120
<i>João Macário de Omena Netto</i>	
<i>Paper 18 -SISTEMA PARA ENSAIO DE INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE ACORDO COM A NORMA IEC 62109-2</i>	123
<i>João Macário de Omena Netto, Lucas Vizzotto Bellinaso, Leandro Michels</i>	
<i>Paper 19 -NR-10 PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICO</i>	130
<i>Edson Martinho</i>	



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

A ESTATÍSTICA AJUDANDO A REDUZIR OS ACIDENTES

Edson Martinho
ABRACOPEL
abracopel@abracopel.org.br

RESUMO

Este artigo apresenta a forma com que a Abracopel usa seus dados estatísticos de acidentes de origem elétrica no sentido de minimizá-los e criar mecanismos de garantia de segurança.

1.0 – INTRODUÇÃO

Desde 2007, logo depois de ser fundada, a ABRACOPEL – Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade, iniciou a captação de dados que indicassem os números de acidentes de origem elétrica no Brasil. Após buscas em várias fontes, as notícias passaram a ser a forma mais fácil e rápida, assim como em quantidade suficiente para se obter alguns dados. Passados mais de 10 anos, a Abracopel, hoje, edita e publica o seu Anuário Estatístico de Acidentes de Origem Elétrica, que compila dados de várias fontes, além das fontes anteriormente captadas. Dentro deste contexto e de posse de dados que já podem ser usados como fonte histórica, a Abracopel os tem usado de várias formas para criar maneiras de informar, incentivar e minimizar os acidentes de origem elétrica. Os mesmos dados são usados por vários setores para formular planejamentos de ações que possam ampliar a divulgação e até nas estratégias comerciais. Este artigo traz, de forma resumida, alguns dados de acidentes e como eles podem ajudar na mitigação dos riscos que a eletricidade pode apresentar.

2.0 – OS DADOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS

Em 2007 começamos a captar notícias usando algumas palavras chaves como “Curto-circuito”, “Choque elétrico”, “Eletrocutado”, “Eletroplessão”, “Sobrecarga”, utilizando um mecanismo criado pelo serviço de busca Google®, recebendo assim, várias notícias que continham estas palavras. Uma equipe lia todas as notícias e lançava o conteúdo em um banco de dados. Neste início, a preocupação era com o número macro, ou seja, não estávamos preocupados com o detalhamento dos acidentes, mas sim com a quantidade de acidentes, principalmente por choques elétricos e incêndios gerados a partir de uma sobrecarga ou curto-circuito.

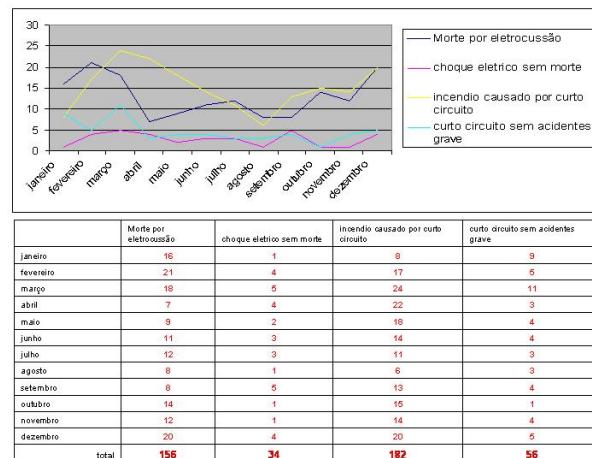


Figura 1 – Primeira divulgação de dados estatísticos de acidentes de origem elétrica – ano base 2007

Já no primeiro ano, divulgamos o que achávamos ser dados assustadores (figura 1), com 156 acidentes fatais com choque elétrico e 182 acidentes. Vale uma lembrança de que estes dados eram baseados exclusivamente nas notícias

captadas em sites oficiais da época como G1, Terra, UOL etc.

Estes dados foram importantes para o mercado, mas ainda não eram impactantes, já que a Fundação COGE, entidade criada pelos setores de Segurança e Saúde do Trabalho das distribuidoras de energia do Brasil, divulgava os números de acidentes originados nas redes elétricas de energia, sendo com funcionários, terceirizados ou terceiros. E estes números eram similares ou maiores do que os nossos. De qualquer forma, os números apresentados pela Abracopel possuíam uma vantagem, pois eram publicados mês a mês, em uma coluna da Abracopel, na revista O Setor Elétrico, e os dados da Fundação refletiam o ano anterior com uma defasagem de cerca de 6 meses.

Demos continuidade, e os números de 2008 foram ainda mais preocupantes, pois mostraram um número significativamente maior (figura 2) com os choques elétricos fatais apresentando um total de 218 ocorrências, já os incêndios ficaram estáveis apresentando 186 acidentes.

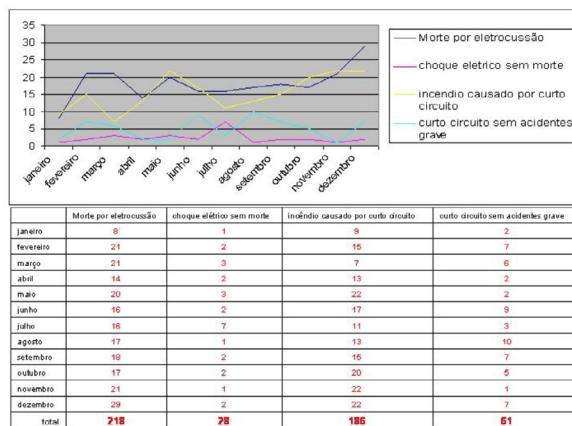


Figura 2 – Dados estatísticos de acidentes de origem elétrica em 2008

Nos anos seguintes, tivemos um crescimento significativo, mas não alarmante, chegando a 278 acidentes fatais com choque elétrico em 2012 e 118 incêndios gerados a partir de sobrecarga e curto-circuito.

Em 2012, já estávamos apurando alguns detalhes dos acidentes, como gênero, faixa etária (figura 3), e também, as localidades em que estes acidentes aconteciam (figura 4).

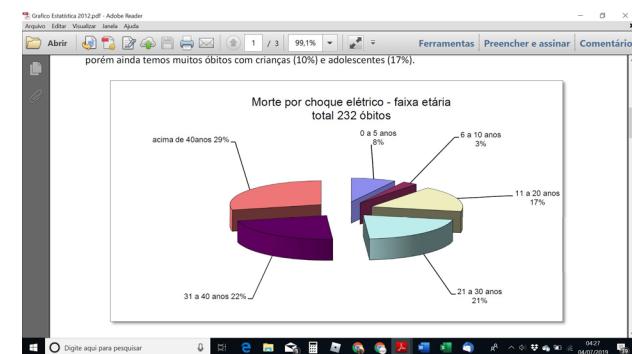


Figura 3 – Dados estatísticos de acidentes de origem elétrica em 2012 por faixa etária



Figura 4 – Dados estatístico de acidentes de origem elétrica 2012 por local de acidente

Desde o início, mesmo sabendo que estes dados representavam uma parcela pequena do total dos acidentes, usávamos (a Abracopel) estes números para balizar as ações da entidade para mitigar estes acidentes. Parceria com as distribuidoras de energia, criando materiais informativos, participando de programas de conscientização para a população, fosse através da mídia, incentivando-os a pautar matérias de “como evitar o acidente de origem elétrica” e premiando os melhores, através do Prêmio Abracopel de Jornalismo, ou mesmo atuando na capacitação de profissionais autônomos que atuam diretamente nas instalações elétricas residenciais, que mostrou em 2012, ser 30% dos acidentes. Foi neste ano que criamos o Concurso de Redação e Desenho com o objetivo de chegar até a base da nossa sociedade: as crianças. O Concurso, em âmbito nacional, incentiva professores e coordenadores a desenvolverem o tema “segurança com eletricidade, eu me preocupo” dentro da sala de aula desenvolvendo desenhos, para crianças entre 6 e 10 anos, ou redações para as idades entre 11 e 15 anos. Este trabalho rendeu vários frutos, pois, devido a metodologia, conseguimos avaliar o impacto diretamente na comunidade, indo até a escola do aluno premiá-lo e conversando com colegas, parentes e amigos. A diferença deste concurso está na premiação que entrega ao vencedor, um prêmio e um troféu, mas

mais importante, também à professora e à escola. Esta premiação é realizada na própria escola do aluno, onde a escola estiver. A participação de algumas distribuidoras de energia, que são convidadas a participar da premiação, tem sido muito importante também, pois reforça os conceitos de segurança com a eletricidade e amplia as informações. (figuras 5 e 6)



Figura 5 – Premiação em escola na cidade de São Gotardo/MG, com a presença de um representante da CEMIG – Distribuidora de energia local



Figura 6 – Premiação em escola na cidade de Passira – PE com a participação de representante da CELPE – distribuidora de energia local

Após 5 anos de levantamento de dados, ainda ficava uma dúvida: será que não tem mais acidentes? Foi então que, ao final de 2012, revisando as palavras chaves do alerta de notícias e contando com vários colaboradores, ampliamos a busca por outras fontes de informações, e incluímos, também, as redes sociais nesta busca. Quanto mais informações chegasse, mais material para apurar e dar qualidade às informações. Foi então que nossa percepção que de que os números eram muito maiores se concretizou. Os números de acidentes triplicaram, chegando a valores médios de 600 mortes em um ano por choque elétrico.

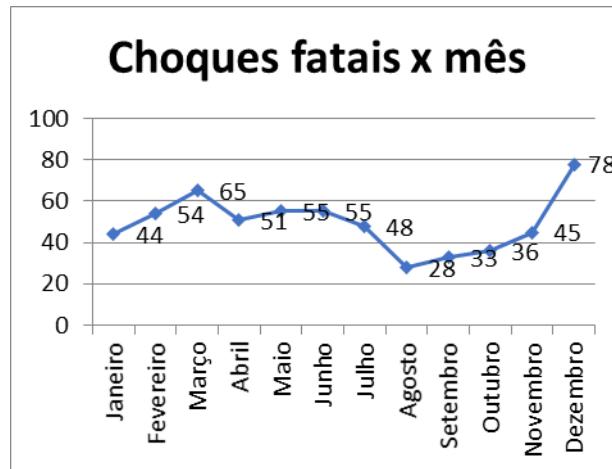


Figura 7 – Dados estatísticos de acidentes fatais por choque elétrico em 2013 – 592 mortes

Incêndios x sobrecarga e/ou curto circuito



Figura 8 – Incêndios gerados a partir de sobrecarga ou curto circuito em 2013 – 200 incêndios

Pois bem, este material se transformou em um Anuário Estatístico de acidentes de origem elétrica, que é publicado anualmente pela Abracopel desde 2017, e que traz nesta última edição, uma série histórica de acidentes desde 2013, podendo influenciar várias decisões.

O lançamento deste Anuário em 2017 aconteceu junto com uma pesquisa sobre a situação das instalações elétricas residenciais, realizada em 2016, em uma parceria da Abracopel e o Procobre – Instituto Brasileiro do Cobre e intitulada – Raio X das instalações Elétricas Residenciais. Estes documentos corroboraram o que já suspeitávamos: as instalações em mau estado de conservação, realizada por profissionais desqualificados e usando produtos de natureza duvidosa, resultavam em muitos acidentes dentro das residências.

3.0 – A ESTATÍSTICA AJUDANDO A REDUZIR OS ACIDENTES

Voltando ao objetivo deste trabalho, vamos à alguns exemplos de ações que foram baseadas em dados estatísticos de acidentes e outras que estão em projeto:

1. Prêmio Abracopel de Jornalismo – criado em 2006, logo após os primeiros dados colhidos pelas notícias. Percebeu-se que as notícias eram somente sobre o acidente e que havia

- um enorme potencial para usar os jornalistas a favor da conscientização, então criou-se o Prêmio, para incentivar estes profissionais de mídia a pautarem matérias que falassem não só da tragédia, mas sim de como evitá-la. Já são 13 anos desta ação, e hoje a Abracopel e seus dados são fonte obrigatória de diversas (e grandes mídias) sobre o tema;
2. Concurso de Redação, Desenho e Vídeo – Nasceu em 2012, após apurarmos muitos acidentes com crianças e adolescentes. A ideia de uma ação para incentivar alunos e professores a mostrarem os riscos que eles mesmos correm ao não cuidar da eletricidade tem trazido excelentes resultados e a ação já está em sua 8^a edição nacional;
 3. O Anuário Estatístico de acidentes de origem elétrica foi usado para basear o estudo do governo atual sobre a possibilidade de flexibilização do padrão de tomadas adotadas no Brasil desde 2002 – Informação do então secretário do Ministério da Economia, Sr. Carlos Costa;
 4. A ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, vem usando os dados de acidentes de origem elétrica publicados no Anuário Abracopel para orientar suas ações de combate a acidentes com a população – dados obtidos em reunião com Sr. Carlos Alberto Mattar - Superintendente SRD – Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição;
 5. Ações de promoção da aplicação do DR vêm sendo realizadas pelas empresas após avaliação dos dados publicados no Anuário, de que acidentes em ambientes residenciais estão crescendo ano a ano;
 6. Empresas de condutores têm usado na sua comunicação, os dados de incêndios do Anuário Abracopel, mostrando o crescimento de mais de 20% de 2017 para 2018, mostrando que os condutores mal dimensionados podem sofrer aquecimentos e iniciar o incêndio.
 7. Algumas distribuidoras de energia elétrica têm realizado ações de conscientização para a população sobre os riscos de chegarem ou realizarem serviços próximos à rede de distribuição com base nos dados de acidentes e suas causas.

Até o fechamento deste artigo, o Anuário Estatístico de acidentes de origem elétrica contava com cerca de 1135 downloads diretos de nosso portal, sendo que a maioria destes downloads foram realizados por profissionais dos setores de eletricidade ou segurança do trabalho (cerca de 85%), sendo os demais jornalistas e profissionais de marketing.

4.0 – FUTURAS AÇÕES PARA USO DOS DADOS

Diante do cenário atual e perspectivas para o futuro, apresentamos possibilidades reais de uso destes dados estatísticos, buscando a melhoria deste cenário:

1. Ações de marketing das empresas do setor mostrando que os acidentes por choque elétrico dentro de casa estão crescendo, e a revitalização da instalação elétrica com instalação de dispositivos como DR, DPS e Disjuntor adequados pode ser a solução;
2. Ações de marketing e conscientização das empresas e entidades de condutores elétricos alertando para o crescente número de incêndios gerados por sobrecargas, aliado a “pirataria e contrafação” de fios e cabos elétricos;
3. Mudança na lei 9991/2000 para prever inserção de ações de conscientização sobre riscos com eletricidade para a população;
4. Fiscalização / Certificação da instalação elétrica – retomada do projeto Certiel Brasil;
5. Programa de capacitação de profissionais em instalações elétricas prediais;
6. Alerta de risco em redes de distribuição;
7. Planejamento de isolamento / enterramento de cabos de distribuição;
8. Programa de fiscalização de produtos no mercado, a exemplo de condutores (Qualifio);
9. Grandes campanhas nacionais de alerta para a população usando os dados e mostrando que o perigo mora dentro das casas.

5.0 – CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é mostrar a importância dos dados de acidentes de origem elétrica, apurados e publicados pela Abracopel através do anuário estatístico de acidentes de origem elétrica, não somente para a população leiga, mas principalmente para o balizamento de ações de marketing e procedimentos de segurança para minimizar os acidentes por parte das empresas do setor elétrico, energético e de segurança do trabalho. O objetivo maior, e talvez utópico, é o acidente zero, mas sabemos e temos consciência de que este é um longo caminho. O fato dos números de acidentes não terem reduzido nos últimos anos, pode ser atribuído a duas situações: a primeira, tem a ver com a crise que o país enfrenta e o grande desemprego, levando as pessoas a realizações “informais”, iniciando, muitas vezes, em suas próprias casas, que via de regra, não estão preparadas para receber uma demanda maior de serviço. Uma boleira, uma doceira, um serralheiro, ou mesmo um marceneiro, irão acrescer equipamentos necessários ao seu novo trabalho dentro de sua casa, o problema é que tais equipamentos possuem potências elevadas e, certamente, a residência não possui uma

adequação mínima das instalações elétricas. O resultado, quase sempre, é sobrecarga, curto-círcuito e incêndio, além de choques elétricos devido ao manuseio de extensões, benjamins (TEs). O segundo, diz respeito ao maior acesso aos dados. Como a maior parte de nossa informação vem de notícias e informações enviadas por colaboradores, temos a certeza que a estabilização dos dados representa uma redução significativa, pois se avaliarmos os dados gerais, os acidentes têm aumentado, porém o número de mortes continua estável. De qualquer forma, os dados têm sido preciosos, mesmo que não precisos, para mostrar as tendências dos acidentes e ajudar nos projetos de minimização.

6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Anuário Estatístico de origem elétrica, disponível on-line em www.abracopel.org.br, 2019.
- [2] Portal da Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade – ABRACOPEL, Dados Estatísticos. Disponível on-line em www.abracopel.org.br, 2019.



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

Laboratório de práticas elétricas (LPE) empregado na formação e capacitação de profissionais na Vale Itabira.

Paulo Henrique Vieira Soares

Vale S.A.

paulo.vieira.soares@vale.com

Keli Cristine Silva Antunes

UNIFEI

kelicsantunes@gmail.com

Vicente Reis

Vale S.A

vicente.reis@vale.com

Elton Corrêa Guimarães

Vale S.A

elton.correa@vale.com

Christiane Palmiere C. Vieira

Vale S.A

christiane.palmiere@vale.com

Fernando de Souza Paiva

Vale S.A

fernando.paiva@vale.com

Vicentino J. Pinheiro Rodrigues

Vale S.A

vicentino.rodrigues@vale.com

RESUMO

Este artigo visa apresentar o Laboratório de Práticas Elétricas (LPE) instalado na Mina Conceição na Cidade de Itabira MG. Serão mostrados detalhes dos equipamentos e instrumentos didáticos, bem como este projeto, se tornou fundamental no sucesso da capacitação interna através de treinamentos teóricos e práticos, conforme cotidiano do empregado, utilizando equipamentos reais e interativos.

Também será demonstrado o seu uso para o desenvolvimento de novas soluções a serem aplicadas nas plantas, que são testadas no laboratório antes de serem colocadas em ambiente de produção. Por fim será ilustrado o programa de capacitação 2019 desenvolvido junto a equipe de RH/Vale para treinamentos internos (em conjunto) para equipe de Gerência Elétrica e Gerência de Automação Sudeste.

corte lateral que permite visualizar os barramentos, transformadores de corrente, transformadores de potencial, chave terra e até mesmo o movimento de inserção e extração motorizada dos disjuntores de média tensão. Equipamentos como relé de arco, IED's (Dispositivos Eletrônicos Inteligentes), multímedidores, sensor de temperatura de barramentos e conexões, relés inteligentes de baixa tensão, softstart e inversor de frequência também são encontrados instalados nos painéis e em condições de funcionamento. Junto a este aparato, se destaca o sistema supervisório de processo e o sistema supervisório de elétrica, os quais permitem ao profissional em treinamento desenvolver análises no sistema elétrico e realizar manobra remotamente nos disjuntores. A tensão mais elevada disponível no laboratório é 220 VCA e está instalada sobre as bancadas de teste.

2.0 – LPE

O LPE é um eletrocentro adaptado para ambiente de treinamento composto por uma sala de treinamento (5m x 4,5m) e uma sala de equipamentos (9,5m x 4,5 m) totalizando 65,25 m² de área dedicada a capacitação. Na Figura 1 é possível visualizar a parte externa do LPE.

1.0 – INTRODUÇÃO

O LPE (SE1730CC-01) é um módulo de eletrocentro, em tamanho real, projetado para possibilitar o treinamento das equipes de manutenção preventiva, corretiva e de engenharia da Vale em equipamentos existentes nas subestações. O laboratório possui painéis de 480V, 4.16kV e 13.8kV idênticos aos painéis de campo (sem energia elétrica), porém com um grande diferencial, pois os painéis são dotados de um



Figura 1 - LPE

A Figura 2 mostra a visão interna da sala de equipamentos composta por diversos painéis a direita e pela bancada de motores e teste a esquerda. Essa infra estrutura é utilizada para a realização da parte prática dos treinamentos.



Figura 2 – Sala de equipamentos

A parte teórica por sua vez é ministrada na sala de treinamentos com capacidade para 8 alunos conforme Figura 3.



Figura 3 - Sala de treinamento

2.1 – PAINEIS 13.8 KV

As subestações secundárias existentes na planta são alimentadas com tensão de 13.8kV. No LPE, o QD1730CC-01 de 13.8kV é composto de um cubículo de entrada (K01) e dois cubículos de alimentador (K02 e K03) conforme Figura 4.

Em K01 (cubículo a esquerda) é possível visualizar na parte superior os LED's de sinalização (1), relé de proteção (2), multimedidor de energia (3), relé de bloqueio (4), medidor de temperatura das conexões (5), sinalização de presença de tensão no barramento (6), botão de emergência (7) e janela de visualização (8).

O relé de arco (9) encontra-se instalado no cubículo K02 e em K03 é possível visualizar a porta do cubículo aberta e o disjuntor na posição de teste (10).



Figura 4 - QD1730CC-01

Na Figura 5 são mostradas as portas abertas com a parte de controle (superior), força (centro) e saída de cabos (inferior). O diferencial dos painéis presente na SE1730CC-01 são os cortes nas laterais para visualização. Pela abertura é possível ver: o barramento de 13.8kV (1), o movimento do rack na inserção e extração do disjuntor (2); transformadores de corrente e lâmina da chave de aterramento (3); saída de cabo e transformador de corrente toroidal (4).



Figura 5 - QD1730CC-01 (Vista lateral)

Os IED's UY1730CC501, UY1730CC502 e UY1730CC503 instalados nos cubículos K01,K02 e K03 respectivamente estão integrado ao sistema de automação de subestações (SAS) por meio de protocolos definidos pela norma IEC61850.

2.2 – PAINEIS 4.16 KV

Os acionamentos de média tensão da planta são realizado por motores de 4000 V. No LPE o MC1730CC-02 de 4.16 kV é composto de um cubículo de entrada (M02) e dois cubículos de alimentador (M01 e M03) conforme Figura 6.

Em M02 é possível visualizar na parte superior os LED's de sinalização (1), relé de proteção (2), multimedidor de energia (3), medidor de temperatura das conexões (4), sinalização de presença de tensão no barramento (5), botão de emergência (6) e janela de visualização (7).

No cubículo M01 encontra-se o relé de proteção (8) utilizado para acionamento de motores de média tensão utilizando contator (10) e o relé de arco (9). Em M03 é possível visualizar o disjuntor utilizado para acionamento de motor de média tensão de maior potência.



Figura 6 - MC1730CC-01

Na Figura 7 são mostradas as portas abertas com a parte de controle (superior), força (centro) e saída de cabos (inferior). Na lateral, pela abertura é possível ver: o barramento de 4.16kV (1), o movimento do rack na inserção e extração do disjuntor (2); transformadores de corrente e lâmina da chave de aterramento (3); saída de cabo e transformador de corrente toroidal (4).



Figura 7 - MC1730CC-01 (vista lateral)

O IED UY1730CC504 (cubículo 2) é integrado ao sistema de automação de subestações (SAS) por meio de protocolos definidos pela norma IEC61850. Os Relés 1730CCM01 (cubículo 1) e 1730CCM02 (cubículo 3) estão integrado ao sistema de supervisão e controle (SSC) por meio da rede profibus.

2.3 – PAINEIS 0.44 KV

Os acionamentos de baixa tensão da planta são realizado por motores de 440 V. No LPE o MC1730CC-02 de 0.48 kV é composto de um 3 colunas conforme Figura 8.

Na coluna 1 é possível visualizar na parte superior os LED's de sinalização (1), relé de proteção (2), multimedidor de energia (3), relé de arco (4) e o disjuntor de entrada do MC1730CC-02 (5).

Nas colunas 2 e 3, encontram-se a gaveta da partida direta de motor (6), gaveta para partida com reversão (7), inversor de freqeuncia para acionamento com velocidade variável (8) e o softstart para partida suave (9).



Figura 8 - MC1730CC-02

Na Figura 9 é apresentado os 4 motores existente no laboratório correspondente a partida direta, partida com reversão, inversor de frequência e softstart.



Figura 10 - Painel de instrumentos



Figura 9 -Bancada de motores

2.4 – TRANSFORMADOR DE FORÇA

Devido à ausência de tensão de força, o transformador é o único ativo que não foi adquirido junto ao laboratório, porém todos os instrumentos estão disponíveis no painel QF1730CC-01 para visualização e teste conforme Figura 10.

No painel é possível visualizar: monitor de temperatura (1); monitor de ruptura de membrana (2); indicador de nível de óleo (3); relé buchholz (4); relé detector de vazamento (5); medidor de temperatura (6); válvula de alívio (7); dispositivo coletor de gás (8); e desumidificador (9).

2.5 – EQUIPAMENTOS AUXILIARES

O sistema de corrente contínua da SE1730CC-01 é composto de um retificador conforme Figura 11. O retificador é responsável por alimentar os equipamentos e instrumentos presentes no QD1730CC-01, MC1730CC-01 e MC1730CC-02.



Figura 11 - Sistema de corrente contínua

Na Figura 12 é apresentado o sistema de aterramento por RAVO (resistor de alto valor ohmico) presente no LPE.



Figura 12 - Sistema de aterramento por RAVO

2.6 – SALA DE TREINAMENTO

A sala de treinamento apresentada na Figura 13 é composta pela bancada do instrutor (1), mesa para até 8 alunos (2), estação de operação com os sistemas supervisorio SAS e SSC (3), IHM de contingência para operação do SAS (4) e rack de automação (5).



Figura 13 - Sala de treinamento

2.7 – RACK DE AUTOMAÇÃO

Na Figura 14 é possível visualizar os equipamentos (1 e 2 switches, 3 e 5 controladores do SAS e SSC, 4 e 6 GPS - *Global Positioning System* e 7 os servidores com o sistema supervisório que compõe o rack de automação.



Figura 14 - Rack de automação

2.8 – BANCADA DO INSTRUTOR

A bancada do instrutor (Figura 15) é composta por conjuntos de chave de aferição (1) que possibilitam utilizar a maleta de teste para injetar sinais de corrente e tensão se a necessidade de entrar na sala de equipamentos. Sinais de digitais estão conectados aos controladores e podem ser simulados por meio de chaves (2). A projeção do treinamento é realizado utilizando TV de 70" (3).



Figura 15 - Bancada do instrutor

2.9 – SISTEMA SUPERVISÓRIO

O sistema de supervisão e controle pode ser visto na Figura 16 a esquerda. Já a direita é possível visualizar o sistema de automação de subestações.



Figura 16 - Sistema Supervisório

3 – TREINAMENTOS

Na SE1730CC-01 é possível realizar treinamentos de leitura e interpretação de desenhos, bloqueio e sinalização de equipamentos, manuseio de instrumentos básicos como multímetro e megômetro. Treinamentos avançados incluindo a configuração de relé de proteção, configuração e análise da performance das funções de proteção utilizando maleta de teste, configuração de PLC's, switch, sistema supervisório e verificação de tráfego de rede/atuação dos IED's por meio de análise dos protocolos existentes na norma IEC61850. A Figura 17 ilustra uma das primeiras turmas realizadas no LPE.



Figura 17 - Capacitação interna

Conforme Figura 18, somente nos três primeiros anos de existência foram realizados 6389 horas de treinamento para 448 alunos.

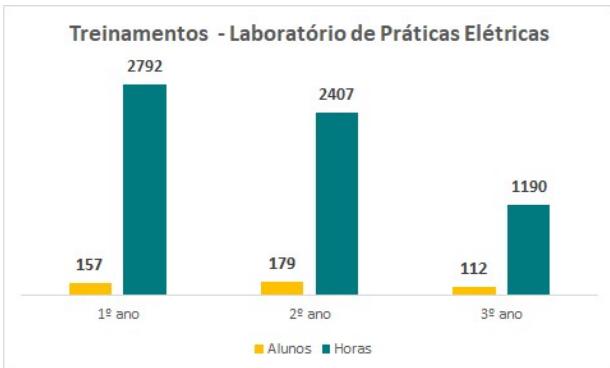


Figura 18 – Número dos três primeiros anos

Na Tabela 1 é possível visualizar alguns dos principais treinamentos já realizados no LPE.

Tabela 1

Nº	Descrição do treinamento
1	Rede Profibus DP/PA
2	Mala de teste – Corrente e tensão
3	Sistema de Automação de Subestações
4	Aterramento por Resistor de Alto Valor
5	Sistema Elétrico e Conceitos de Proteção
6	Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica
7	Parametrização e Programação de Relés
8	Comunicação em Subestações - IEC61850
9	Sistema de Monitoramento e Instrumentos dos

	Transformadores
10	Operação de Relés de proteção
11	Programação de Relés de proteção
12	Operação e Engenharia para Relés de proteção
13	Medidores de Densidade
14	Conteúdo Básico Subestações
15	Inversores de Baixa Tensão
16	Cubículos de Média Tensão
17	Redes Ethernet e Wireless
18	Conhecimentos Básicos dos IED's
19	Manutenção do Sistema de Supervisão
20	Sistema Integrado de Automação
21	Proteção de Sistemas Elétricos
22	Téorico da Norma IEC61850
23	Prático da Norma IEC61850
24	Inversores de média tensão
25	Reciclagem NR10

3.1 – TESTE E SOLUÇÕES

O LPE é o local mais indicado para realização de análise de eventos ocorridos na planta e estudos de novas soluções a serem implementadas. O laboratório propicia uma infraestrutura similar a existente em campo, possibilitando teste em escala menor antes de aplicar na planta em operação.

Na SE1730CC-01 já foram testadas e validadas diversas soluções, dentre elas o desenvolvimento da lógica para acionamento e proteção dos motores de média tensão na usina de Conceição II conforme Figura 19 e o uso da gateway para comunicação responsável pela conversão do protocolo modbus em IEC61850 aplicada no acionamento de motores de média tensão na usina Cauê.

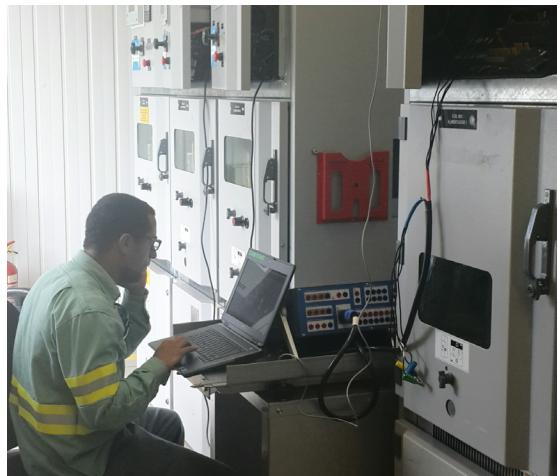


Figura 19 – Teste relé de acionamento

A Tabela 2 apresenta algumas das testes e soluções desenvolvidos no LPE.

Tabela 2

Nº	Descrição do teste
1	Teste em conversor utilizado na redundância dos PLC. Obs.: Encontrado defeito de fabricação no equipamento.
2	Teste de redundância entre PLC primário e o secundário.
3	Teste de acionamento via rede profibus-dp de inversor de frequência. Obs.: O inversor não reconhecia a “falta” da rede profibus.
4	Teste de funcionamento do OPC comunicando com o PLC de processo.
5	Teste do relé inteligente utilizado para acionar motores de média. Obs.: Encontrado que o retorno de funcionando do equipamento deveria ser por contato seco e não por corrente.
6	Teste de comunicação para análise de um novo relé inteligente utilizando Ethernet IP para comunicar com o PLC.
7	*Teste de comunicação entre PLC e IED usando cartão nativo em IEC61850.
8	Teste de migração do PLC atual existente na planta para a nova plataforma de PLC existente e disponível no mercado.
9	Teste de redundância do novo modelo de PLC.
10	Teste de cartão OPC UA disponível para o novo modelo de PLC.
11	Teste de lógica para função número de pártidas (ANSI 66) nos relés de média tensão pois o relé não possui uma nativa para essa função de proteção.
12	Desenvolvimento de lógica de intertravamento no relé de proteção para bloquear a mudança de remoto para local durante o funcionamento do equipamento. Obs.: Caso essa ação ocorresse o PLC deixa de comunicar com o relé.
13	Desenvolvimento e teste de lógica para desligar o disjuntor responsável por acionar os moinhos (13.8kV/4.5MVA) caso o relé de proteção receba o status de fechado sem um comando anterior da sala de controle via rede ou um comando via teclas disponíveis no frontal do IED.
14	Desenvolvimento de lógica padrão para os relés de média tensão envolvendo proteção, controle e sinalização do equipamento em campo.
15	Desenvolvimento de bloco padrão para leitura e escrita nos relés de média tensão. Priorização da informações a serem enviadas ao supervisório e definições das novas variáveis a serem historiadas.
16	Desenvolvimento e teste de aplicativo para dispositivo móvel a ser utilizado pelo equipe de campo na hora decodificar os números existentes na interface do relé de proteção.
17	Teste da solução integrada de CFTV a ser utilizada no SAS. Configuração de

	funcionalidade e definição de permissões de acesso e controle das câmeras.
18	Teste do acionamento (motor de passo) a ser utilizado na automação do acoplamento do motor auxiliar dos moinhos de bola.
19	Desenvolvimento de sensor para medir a velocidade online dos moinhos de bola.
20	Desenvolvimento de lógica para acionamento temporizado dos disjuntores após 10s utilizando o frontal do IED's.
21	Desenvolvimento de lógica no IED para contagem e reset automático do bloco responsável por monitorar o carregamento de mola do disjuntor.
22	*Desenvolvimento de dispositivo que permita descarregar a mola do disjuntor de forma simples e segura durante manutenção do equipamento.
23	*Desenvolvimento de método para supervisão remota via SAS da integridade da comunicação GOOSE entre os IED's.
24	Desenvolvimento da metodologia para teste de mensagens GOOSE em campo.
25	Desenvolvimento da metodologia para teste e supervisão dos relés de arco.

4.0 – PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO

O programa de capacitação em visão geral de automação é uma das iniciativas prevista para 2019. O trabalho envolve a gerência de automação, gerência de manutenção elétrica e a gerência de educação e gestão de talentos com o objetivo de promover a capacitação de 150 alunos até o terceiro trimestre de 2019. A Figura 20 mostra a primeira turma formada.



Figura 20 - Formatura da 1º turma 2019

No plano de desenvolvimento do empregado foi mapeado os treinamentos com base no levantamento realizado no ano de 2017, sendo este trabalho conduzido pelo analista de automação Cássio Oliveira e pelo Orientador técnico Jorge José. A pesquisa foi realizada junto

as equipes de elétrica preventiva e corretiva com mais de 100 funcionários. O intuito principal do levantamento foi fornecer ao empregado a chance de expressar para a gestão quais as disciplinas considerava importante para execução dos trabalhos no dia-a-dia e que o mesmo “sentia” carência ou visualiza uma lacuna de conhecimento.

Os treinamentos mapeados para programa de visão geral de automação somam 20h e é composto por cinco módulos, sendo eles: Módulo I - Introdução a arquitetura de sistema de controle e redes industriais; Módulo II - Introdução ao padrão de programação de CLP Industrial; Módulo III - Introdução aos conceitos e diagnósticos em rede Profibus DP e PA; Módulo IV - Introdução ao controle e otimização de processo; e Módulo V - Introdução a automação do sistema elétrico e acionamento em sistemas de supervisão e controle.

A Figura X apresenta os resultados do pré-teste e do pos-teste realizado na primeira turma. Pode se observar que ao final do cinco módulo o valor médio passou de 5,7 para 8,5 em 10 pontos possíveis .

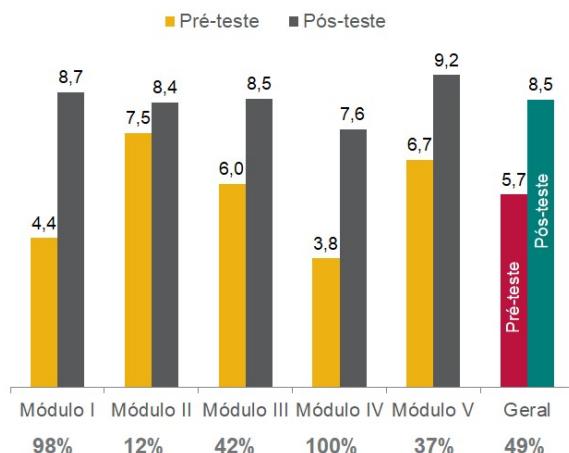


Figura 21 – Média da 1º turma antes e depois dos treinamentos

Além do Laboratório de Práticas Elétricas (LPE), a área de treinamento localizada na Mina Conceição conta com o Laboratório de Práticas em Tecnologia Operacional (LPTOP) para treinamentos de envolvimento a infraestrutura e sistemas de automação industrial, o Laboratório de Soluções Eletroeletrônica (LSE) para reparo de equipamentos e o Laboratório de Práticas em Instrumentação e Controle (LPIC), sendo este o mais recente ser construído.

4.1 – AGRADECIMENTO

As etapas de projeto, montagem e comissionamento do LPE foram fase importante para o sucesso do trabalho. Durante essa etapa o analista de automação Luiz Carlos F. Vilar foi o responsável por conduzir o projeto e garantir a

especificação e o desenvolvimento conforme os padrões e necessidade da empresa.

A construção do material para realização dos cinco módulo do programa de capacitação contou com cerca de 15 profissionais entre técnicos, analistas e engenheiros trabalhando em conjunto, buscando confeccionar um material sólido e consiga conectar a parte teórica do treinamento com a parte prática do dia-a-dia.

Todos os instrutores do programa foram selecionados por serem referência no assunto, possuirem elevado conhecimento técnico e formação especificar no curso “multiplicador Valer”.

Por fim, ressalta-se a importante do trabalho em conjunto com a equipe de RH que veio desde o início movimentando na pessoa da Fernanda Duarte dos os recursos para que o trabalho pudesse acontecer.

5.0 – CONCLUSÕES

O Laboratório de Práticas Elétricas é sem dúvida um dos maiores e melhores laboratórios existente em funcionamento na empresas e mesmo existindo demanda, garantir uma agenda constante de treinamento durante os 12 meses do ano não é tarefa fácil.

A localização do LPE, a estrutura e os equipamentos disponíveis retratam em um ambiente de ensino situação que se aproximam da condições reais encontradas em campo, permitindo ao aluno desempenhar sua tarefa sem os riscos inerentes do campo.

O laboratório possibilitou uma mudança no patamar de capacitação dos empregados. Hoje é possível ensinar a teoria ao empregado em uma sala de aula e ao lado encontrar os equipamento e ambiente para a parte prática.

Por fim, ressalta que o LPE tem por finalidade atender a Vale Brasil, visando possibilitar um ambiente propício ao aprendizado por meio da infraestrutura existente e de instrutores especialista em sua área de atuação. Garantido assim um aumento na produtividade e segurança, baseado na construção e disseminação do conhecimento.



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

A NR12 e a segurança das instalações elétricas

Sergio Roberto Santos
Lambda Consultoria Ltda.
sergio@lambdaconsultoria.com.br

RESUMO

A segurança de quem trabalha com a eletricidade depende de vários fatores, entre eles a existência de leis, normas e regulamentos que promovam a segurança no ambiente de trabalho. Este artigo apresenta uma reflexão sobre a NR12 e a sua importância para a segurança dos profissionais da área elétrica.

1.0 – INTRODUÇÃO

As normas regulamentadoras do extinto ministério do trabalho, mais conhecidas como NRs, apresentam os procedimentos obrigatórios para a segurança e a saúde dos trabalhadores. Estas normas foram criadas em 8 de junho de 1978 e constam da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), sendo de observância obrigatória em todas as relações trabalhistas por ela regidas. Existem atualmente 37 NRs, abrangendo de temas específicos como resíduos industriais (NR25), até assuntos mais gerais, como os equipamentos de proteção individual (NR 06). Todo trabalho sob o âmbito da CLT deverá estar de acordo com não uma, duas ou três, mas um conjunto de NRs. Em relação aos trabalhos envolvendo a eletricidade existe uma NR específica, a NR10 [1], que aborda a segurança em instalações e serviços em eletricidade, cuja última edição foi publicada pela portaria número 598 de 7 de dezembro de 2004, do então Ministério de Estado do Trabalho e Emprego. Esta edição da NR10 teve profundo impacto nos trabalhos com a eletricidade, levando a criação de cursos de qualificação profissional, aumentando a demanda por equipamentos de proteção coletiva e individual (EPC/EPI) e eliminando a presença de trabalhadores não qualificados, porteiros e zeladores por exemplo, de tarefas envolvendo a intervenção em instalações elétricas.

O interesse pela NR10 pode ser comprovado pela quantidade de artigos publicados sobre ela em revistas especializadas e o surgimento de inúmeros cursos sobre segurança em instalações elétricas, conhecidos como “cursos de NR10” [2]. Mas um aspecto que não pode ser negligenciado é que a segurança nos trabalhos com a eletricidade está condicionada a observância de várias NRs. Sem que as normas sobre EPCs e EPIs, trabalho em altura ou trabalho em espaços confinados, por exemplo, sejam seguidas, não serão obtidas reais condições de segurança nos trabalhos com a eletricidade.

Dentro deste contexto é fundamental para os profissionais da área elétrica a norma regulamentadora número 12 (NR12), Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos [3], pelos riscos que máquinas e equipamentos apresentam para os profissionais da área elétrica e, ao mesmo tempo, pela importância destes para a redução dos riscos de acidentes de trabalho em máquinas e equipamentos.

2.0 – A NR12

A norma regulamentadora número 12 do extinto Ministério do Trabalho foi criada pela portaria número 3214 de 8 de junho de 1978. Ela define referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e integridade física dos trabalhadores, estabelecendo requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, envolvendo a fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão destas máquinas ou equipamentos, em qualquer atividade econômica, observando ainda integralmente as determinações de outras normas regulamentadoras, normas técnicas nacionais e, na omissões destas, normas internacionais aplicáveis.

Para a NR 12 a fase de utilização de uma máquina ou equipamento abrange o seu transporte, montagem, instalação, ajuste, operação, limpeza, manutenção, inspeção, desativação e desmonte. Desta forma a NR12 determina as medidas de segurança de máquinas e equipamentos desde que elas “nasçam” até que sejam “sepultadas”. Segundo a NR12 devem ser adotadas para alcançar os seus objetivos, nesta ordem de prioridade:

- 1) Medidas de proteção coletiva (EPC);
- 2) Medidas administrativas ou de organização do trabalho;
- 3) Medidas de proteção individual (EPI).

As medidas de proteção coletiva reduzem os riscos de acidente evitando ou eliminando as situações potencialmente perigosas. Como exemplo de uma medida de proteção coletiva podem ser citados os sistemas de intertravamento que impedem que partes internas de uma máquina sejam acessadas sem que condições pré-determinadas para que este acesso seja seguro estejam presentes.

Medidas administrativas ou de organização do trabalho envolvem os procedimentos de segurança, a capacitação dos trabalhadores e a identificação dos riscos, por exemplo.

A utilização de EPIs pelos trabalhadores, apesar de importante, deve ser considerada uma medida complementar, já que os EPIs são menos eficazes na prevenção de acidentes, mais apropriados para minimizar seus resultados, do que impedir que eles de fato aconteçam [4]. A hierarquia das medidas de proteção segue uma filosofia em que os EPCs impedem que os acidentes aconteçam ao eliminar as causas de acidentes, as medidas administrativas organizam a segurança das empresas e os EPIs minimizam as consequências de um acidente para um trabalhador, caso o acidente aconteça. Da mesma forma que um *airbag* não impede que um veículo colida, uma vestimenta de proteção não evita o surgimento de um arco elétrico. Segundo a NR12 a responsabilidade pela segurança das máquinas e equipamentos é do empregador, devendo ele adotar as medidas necessárias para que eles sejam utilizados sem riscos pelos trabalhadores. Para alcançar os seus objetivos a NR 12 se estrutura em texto principal, tratando de vários aspectos, e 12 anexos abordando assuntos mais específicos.



Figura 1 – Isolamento de uma máquina como medida de proteção coletiva.

2.1 – CAUSAS DE ACIDENTES

As medidas apresentadas pela NR12 têm como objetivo reduzir os riscos de acidentes em máquinas e equipamentos, sendo suas causas mais comuns o não desligamento das máquinas, a falta de bloqueio das fontes de energia para que não aconteça um religamento acidental e a ausência de sinalização para que os outros trabalhadores saibam que uma atividade está sendo executada. O principal objetivo das medidas apresentadas na NR12 é a eliminação de energias perigosas como a mecânica, elétrica ou térmica, que podem deslocar, causar choque ou queimar um trabalhador.

Como nem sempre é possível identificar previamente os riscos existentes em uma máquina ou equipamento, é necessário que procedimentos para todas as interações sejam do conhecimento de todos os envolvidos na sua utilização. Operadores, por exemplo, não devem consertar uma máquina, mas necessitam saber identificar caso alguma anomalia aconteça.



Figura 2 - Sinalização e bloqueio para eliminar riscos e sinalizar atividades perigosas.

2.2 – ESTRUTURA DA NR12

A eficácia da NR12 está baseada na adoção de alguns procedimentos de fácil compreensão, mas que exigem para a sua aplicação a utilização de uma mão de obra qualificada.

Todas as máquinas e equipamentos devem ser inventariados para que se tenha o conhecimento de quantos eles são na empresa. Além da sua quantidade, máquinas e equipamentos devem ser localizados para que todos na empresa saibam onde eles se encontram, o que vai facilitar uma intervenção da manutenção ou segurança do trabalho, em caso de alguma necessidade. Embora possa parecer estranho que um eletricista ou técnico de segurança não saiba onde uma prensa se encontra, por exemplo, nem sempre a pessoa que detém esta informação estará disponível em uma emergência, sendo inclusive ela a pessoa que deverá ser resgatada.

O terceiro procedimento é fundamental para que os objetivos da NR12 sejam atingidos. A Análise de risco tem o objetivo de identificar os riscos existentes em cada máquina ou equipamento. Sem que eles sejam identificados será impossível a adoção de medidas para eliminá-los ou reduzi-los, simplesmente porque não é possível combater o que não é conhecido. A análise de riscos de máquinas e equipamentos deve ser baseada nas normas NBR ISO 12.100:2013 – Segurança de máquinas-Princípios gerais de projeto-Apreciação e redução de riscos [5] e ISO TR 14121-2:2012 - Safety of machinery-Risk assessment-Part 2: Practical guidance and examples of methods [6]. A análise de risco é uma atividade de engenharia multidisciplinar e o documento apresentando seus resultados deverá estar vinculado a uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) registrada no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA). Todas as medidas de segurança adotadas serão baseadas na análise de risco, o que deixa evidente a sua importância. Após a análise de risco é necessário a elaboração de um diagnóstico apontando quais medidas foram adotadas para a redução dos riscos existentes. Após todos os procedimentos anteriores, deverá ser criado um manual de operação e manutenção em português para cada máquina e equipamento, atendendo simultaneamente a NR12, para fornecedores ou usuários, e o código de defesa do consumidor, no caso de fornecedores. Embora aparentemente complexa, a NR12 é uma norma prática e objetiva, estando a complexidade em atendê-la nas próprias máquinas e equipamentos, que variam em complexidade, número de componentes e formas de energia.

3.0 – A NR12 E OS PROFISSIONAIS DA ÁREA ELÉTRICA

Para aqueles que trabalham com a eletricidade a NR 12 é importante de duas maneiras diferentes. Estes profissionais devem ser protegidos contra os riscos de acidente, sejam eles causados por qualquer forma de energia, elétrica ou não, como a mecânica, térmica ou química. Ao mesmo tempo cabe aos engenheiros eletricistas, eletrotécnicos ou eletricistas a responsabilidade pela redução de acidentes causados pela presença da eletricidade nas máquinas e por aplicar sistemas eletroeletrônicos de segurança. Em todas as fases de aplicação da NR12, incluindo a análise de risco, os profissionais da área elétrica devem atuar identificando e minimizando os riscos de acidentes elétricos e estudando soluções dentro da sua especialidade para tornar mais seguras máquinas e equipamentos contra acidentes de qualquer natureza.

Os aspectos de segurança para máquinas e equipamentos envolvendo a eletricidade ganharam relevância na última edição da NR12, quando de uma única referência sobre o aterramento para evitar acidentes existente na versão anterior, a edição atual passa a apresentar um conjunto de medidas, sob o título Instalações e dispositivos elétricos, apresentados do item 12.14 ao item 12.23. Embora estas sejam medidas de segurança específicas sobre a eletricidade, em outros pontos da norma existem medidas de segurança que para a sua implementação dependerão da utilização de sistemas eletroeletrônicos.



Figura 3 – Aspectos como espaço e iluminação influenciam a segurança de uma manutenção elétrica.

4.0 – A RELAÇÃO ENTRE A NR10 E A NR12

Segundo a NR 12, em seu item 12.14, as instalações elétricas de máquinas e equipamentos devem atender as determinações da NR10.

Embora as medidas de segurança apresentadas na NR10 destinem-se também aos trabalhadores que

indiretamente interajam com as instalações elétricas, na NR12 a realidade de trabalhadores não qualificados em eletricidade trabalhando na proximidade da energia elétrica merece muito mais atenção, até porque os responsáveis pela adequação de máquinas e equipamentos à NR12 podem não ser especialistas em eletricidade, embora necessariamente devem ser auxiliados por quem seja. Desta forma a relação entre as normas NR10 e NR12 é de complementariedade, sendo a primeira uma norma que trata da segurança onde a eletricidade está presente e a segunda uma norma que protege quem trabalha em máquinas e equipamentos, necessariamente profissionais de diferentes formações, valendo reforçar que profissionais da área elétrica deverão proteger seus colegas que não atuam nesta área, ao mesmo tempo que deverão ser protegidos contra os riscos de acidentes que tenham outra origem que não a eletricidade. A NR10 pode ser considerada uma norma sobre um risco específico associado a uma forma de energia, sendo uma norma para profissionais da área elétrica, responsáveis pela sua segurança e de outros trabalhadores, que eventualmente trabalhem próximos a eletricidade. Já a NR12 deve ser vista como uma norma sobre sistemas complexos, onde os riscos têm diversas origens e trabalham profissionais com conhecimentos e atribuições bem diferentes.

5.0 – A NR12 E AS RELAÇÕES TRABALHISTAS

Estatísticas oficiais apontam o Brasil como um dos países do mundo com maior número absoluto de acidentes de trabalho, registrando uma média anual de 700 mil casos. Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) realizada pelo IBGE, para cada acidente registrado, existiriam sete outros não declarados. As normas regulamentadoras seguem a lógica de um Estado que atua sobre as relações entre capital e trabalho, em sintonia com a CLT. Com a ascensão recente no Brasil de um pensamento hegemônico liberal temos a extinção do Ministério do Trabalho em 1 de janeiro de 2019 e o surgimento de muitas incertezas sobre o futuro das normas regulamentadoras, cogitando-se inclusive que elas sejam extintas [7]. A maior oposição à NR12 vem de empresários do setor industrial que reclamam dos altos custos necessários para adequar máquinas antigas às atualizações mais recentes desta norma. Segundo um documento publicado em 2015 pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), a NR12 seria “inviável e inexequível”, sendo 3 as principais objeções a esta norma [8]:

- 1) As medidas de segurança de uma máquina ou equipamento devem continuar aquelas de quando a máquina foi fabricada;

2) Mudanças na norma tornam ilegal a utilização de máquinas e equipamentos que sempre existiram de forma legal, criando insegurança jurídica;

3) A NR12 obriga as empresas que utilizam as máquinas a seguir as mesmas obrigações de fabricantes e importadores.

Em oposição aos empresários da indústria, entidades como a Associação dos Magistrados do Trabalho (Anamatra) defendem a manutenção da NR12, argumentando que reduzir as exigências de máquinas e equipamentos aumentaria o número de acidentes e consequentemente os pedidos de indenização, prejudicando não só os trabalhadores, mas também seus empregadores [9].

Neste ponto da discussão é importante que a sociedade esteja consciente dos custos relacionados a um acidente de trabalho. Desde o atendimento ao trabalhador, até o seu afastamento, definitivo ou temporário, o Estado terá que arcar com despesas, desviando recursos que poderiam ter outras destinações. Neste caso, ao reduzir as obrigações das empresas o país estaria socializando os custos com acidentes, ao invés de atribuir às empresas a responsabilidade por evitá-los.

Outro aspecto importante nas discussões sobre as NRs é a relação delas com a eficiência das empresas brasileiras, particularmente em relação a sua mão de obra. Embora possam acarretar custos, medidas de segurança administrativas aumentam a produtividade dos colaboradores de uma empresa, aumentando a sua geração de riqueza. Mas apesar deste fato poder ser interpretado como uma típica decisão de investimento, a segurança dos trabalhadores não pode ser avaliada apenas pelos seus critérios econômicos, já que ela pode também ser considerada uma externalidade, com consequências para aqueles que não participam desta tomada de decisão [10].

6.0 – CONCLUSÕES

A NR 12 é uma norma diretamente relacionada a segurança de quem trabalha com a eletricidade e um documento que permite que estes profissionais contribuam para a saúde, integridade e segurança de outros profissionais. Por este motivo a NR12 deve ser estudada, discutida e aplicada por todos aqueles que trabalham na área elétrica, não devendo estes profissionais comprometerem-se apenas com a NR10, uma norma necessária, mas não suficiente para a segurança de engenheiros eletricistas, eletrotécnicos, eletricistas e seus ajudantes.

7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] *NR10 Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.* Acessado em 14/07/2019 de: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR10.pdf>

[2] Souza, José Barrico de. *Dez anos de NR10. Portal o Setor Elétrico, dezembro de 2013.* Acessado em 14/07/2019 de: <https://www.osetoreletrico.com.br/dez-anos-de-nr-10/>

[3] *NR12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.* Acessado em 14/07/2019 de: <http://www.trabalho.gov.br/images/Documentos/SS/T/NR/NR12/NR-12.pdf>

[4] Ribeiro Júnior, Raymundo Lima. *A superação da vitimização das causas do acidente de trabalho: Prioridade das medidas de gestão dos riscos.* Acessado em 14/07/2019 de: http://www.fundacentro.gov.br/Arquivos/sis/EventoPortal/AnexoConteudoProgramatico/RAYMUNDO%20LIMA%20artigo_gestao_riscos_prioridade.pdf Acessado em 14/07/2019.

[5] *NBR ISO 12.100:2013 – Segurança de máquinas-Princípios gerais de projeto-Apreciação e redução de riscos.* Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro. 2013. 93p.

[6] *ISO TR 14121-2:2012 - Safety of machinery-Risk assessment-Part 2: Practical guidance and examples of methods.* International Organization for Standardization (ISO). Genebra. 2012. 38p.

[7] *Governo quer reduzir em 90% as normas de segurança e saúde do trabalho vigentes no país.* O Globo, 15/05/2019. Acessado em 14/07/2019 de: <https://oglobo.globo.com/economia/governo-quere-reduzir-em-90-as-normas-de-seguranca-saude-do-trabalho-vigentes-no-pais-23661380>

[8] *NR12 Uma norma inexequível?* Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (CIESP) Guarulhos, Edição1, Ano 1. Acessado em 14/07/2019 de: https://issuu.com/gironoticias/docs/revista_ciesp_guarulhos

[9] *O risco de afrouxar normas de segurança no país com 1 morte a cada 3 horas.* Associação Nacional dos Magistrados da Justiça do Trabalho (ANAMATRA). 20/05/2019. Acessado em 14/07/2019 de: <https://www.anamatra.org.br/imprensa/anamatra-na-midia/28148-o-risco-de-afrouxar-normas-de-seguranca-no-pais-com-1-morte-a-cada-3-horas>

[10] Medeiros, Fernando, Gomes, Lilia da Silva, Cipriano, Leonardo. *NR12 – Adequação da norma nas indústrias da GRM de Recife e suas dificuldades.* Acessado em 14/07/2019 de: <http://abracopel.org/wp-content/uploads/2019/01/NR12---ADEQUAÇÃO-DA-NORMA-NAS-INDÚSTRIAS-DA-GRANDE-REGIÃO-METROPOLITANA-DE-RECIFE-E-SUAS-DIFICULDADES.pdf>



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

ACIDENTES DE TRABALHO: BANCOS DE DADOS E IMPACTOS

Caroline Daiane Raduns

UNIJUI – Universidade Regional do Noroeste do
Estado do RS

caroline.raduns@unijui.edu.br

Camila Mastella

UNIJUI – Universidade Regional do Noroeste do
Estado do RS

mastella.camila@gmail.com

RESUMO

Os acidentes/doenças ocupacionais podem causar lesões, danos psicosociais e óbitos. Provocam impacto econômico, na saúde e previdência. O Brasil encontra-se classificado como o 4º colocado no ranking mundial em acidentes de trabalho fatais. É um problema de saúde pública. O objetivo deste trabalho é realizar o levantamento do número de acidentes de trabalho no município de Ijuí, e os impactos gerados na percepção da vítima. Foram levantados documentos entre os anos de 2012 a 2018, por meio do banco de dados: SIST (Sistema de Informações em Saúde do Trabalhador) e SINAN (Sistema de Informação de Agravos de Notificação); AEAT (Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho); Portal BI Gestor Municipal; e ODSST (Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho). Os impactos gerados na percepção da vítima foram verificados através de entrevista estruturada, para a identificação e classificação dos impactos causados pelo acidente de trabalho. Diante das mais diversas fontes observa-se um elevado número de notificações além de necessário uma análise dos resultados gerais, visto a divergência de valores, onde em nenhum dos sistemas as notificações de acidentes e doença ocupacionais são semelhantes. Em relação aos impactos identificados observa-se uma correlação importante entre eles devido ao tipo de acidente, além da configuração social da vítima. Trabalhador e empresas precisam adotar processos de gestão voltados para prevenção, vigilância, gestão de riscos, educação e notificação. A adoção dessas práticas possibilitará redução dos custos no sistema de saúde/econômico do País, evitando gastos excessivos pela Previdência Social.

1.0 – INTRODUÇÃO

No Brasil, as informações de acidentes e doenças do trabalhador são limitadas, fragmentadas e heterogêneas (MTE, 2015). Levantamentos estatísticos oficiais não retratam o quadro real de como os trabalhadores adoecem e/ou se acidentam, fato que ocorre devido às subnotificações. Assim como ressalta a organização das nações unidas (ONU) que diz que no mundo inteiro os dados referentes aos mortos e feridos não refletem a magnitude do problema, nem o impacto real dos acidentes e doenças ocupacionais sobre os trabalhadores, famílias e economias.

Após a ocorrência de um acidente de trabalho ou doença profissional a vítima acarreta com inúmeros custos decorrentes da lesão ou doença profissional, principalmente a perda de rendimento, a dor e o sofrimento, a perda de futuros ganhos, de investimentos passados e custos médicos. Associados a estes se encontram outros de natureza profissional, moral, social e familiar. Os vários impactos estão, muitas vezes, interrelacionados (SOUSA, 2005).

É importante lembrar que o acidente do trabalho ocasiona consequências traumáticas acarretando na maioria das vezes mutilações, invalidez permanente, que não ficam limitados apenas ao corpo físico do trabalhador, trazendo prejuízos graves também sua integridade psicológica, além disso, as repercussões não ficam somente com a pessoa que sofreu o trauma, mas também para os familiares, colegas de trabalho, pessoas ligadas direta ou indiretamente, com isso, gerando danos e prejuízos para a sociedade de modo geral, assim como, para os cofres públicos, que terão que subsidiar as despesas decorrentes de tal fato (BUDEL, 2012). Segundo Rojas (2015) estudos e as investigações sobre as causas dos acidentes são primordiais para que as empresas

aprimorem seus métodos de gestão e consigam criar barreiras que impeça sua ocorrência.

Dante desta realidade o trabalho possui o objetivo de quantificar o número de acidentes de trabalho registrados no município, no período de 2012 a 2018, e quais são os reais impactos percebidos pela vítima de acidente de trabalho. Deste modo, a presente pesquisa complementa os estudos disponíveis no Brasil sobre os impactos causados pelo acidente de trabalho, colaborando assim para o conhecimento estatístico de tais dados, favorecendo a população e demais entidades ao conhecimento dos números, vista a divergência de informações e falta de pesquisa acadêmica sobre este tema no município em questão. Os autores devem submeter os seus artigos ao IX IEEE ESW Brasil, seguindo a formatação apresentada neste modelo, como um arquivo do Microsoft Word.

2.0 – MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de um estudo observacional, transversal, analítico, por meio de coleta de dados de caráter exploratório qualitativa, tendo como estratégia metodológica a pesquisa documental e bibliográfica, cuja amostra se configurou de forma aleatória e espontânea.

O levantamento dos dados referentes ao número de acidentes foi realizado nos seguintes bancos de dados:

1. SIST (Sistema de Informações em Saúde do Trabalhador) e SINAN (Sistema de Informação de Agravos de Notificação);
2. AEAT (Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho);
3. Portal BI Gestor Municipal;
4. ODSST (Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho).

Na identificação dos impactos relacionados ao acidente de trabalho, sob a visão da vítima, foram verificados os fatores que mais impactaram em suas vidas. Essa pesquisa foi realizada através de uma entrevista estruturada, juntamente a um sistema de pontuação de 0 a 5, para os impactos, sendo zero nenhum impacto em sua vida e 5 impacto extremo, o que colaborou na identificação dos mesmos, bem como o diálogo entre entrevistado e entrevistador, para entender de fato o que a pessoa abordada tinha para passar em relação a sua vivencia com o acidente de trabalho, que por muitas vezes traumática, ou seja era necessário um olhar humanizado e sensibilidade ao interpretar as questões. A Realização das entrevistas se deu por meio do contato com as vítimas de acidentes de trabalho vinculadas ao Centro Regional de Referência em Saúde do Trabalhador – CEREST, da Macrorregião Missioneira, com sede em Ijuí, um serviço especializado na área de saúde do trabalhador, tendo como principal objetivo a prevenção de

acidentes e doenças relacionadas ao trabalho. A população da pesquisa foi composta, por todos os profissionais que sofreram acidentes de trabalho no município de Ijuí/RS, no período de 2012 a 2018, que foram atendidos pelo CEREST e se dispuseram a responder a entrevista.

3. – RESULTADOS

3.1 SINAN e SIST

As notificações de agravos registradas no bando de dados do SINAN (Sistema de Informação de Agravos de Notificação) referentes ao período de 2012 até outubro de 2018, totalizam 441 acidentes de trabalho, que estão distribuídos entre acidentes por animais peçonhentos, com 204 notificações, cerca de 46,26% do total de registros, seguido por acidentes de trabalho com exposição a material biológico, com 145 acidentes, que representa 32,87% das notificações, e por último acidentes de trabalho grave, com um total de 92 casos, contabilizando 20,86% do total de notificações. Ambos os acidentes oscilam em até o dobro de registros a cada ano, ou seja, não se observa constância, uma vez que são aleatórios.

Já de acordo com os registros da SIST (Sistema de Informações em Saúde do Trabalhador) implantado no Estado do Rio Grande do Sul, que visa notificar os casos de Acidentes de trabalho, que não sejam exigidos pelo SINAN. Além das notificações registradas no SINAN o SIST também contabiliza os acidentes referentes à Câncer relacionado ao trabalho, pneumoconiose, dermatose ocupacional, que não tiveram nenhuma notificação registrada no período, além das LER/DORT, transtornos mentais e outras doenças (Gráfico 2). Relata-se apenas 1 caso de PAIR - Perda Auditiva Induzida pelo Ruído. O Gráfico 1 apresenta os números totais de acidentes registrados no SINAN e SIST.

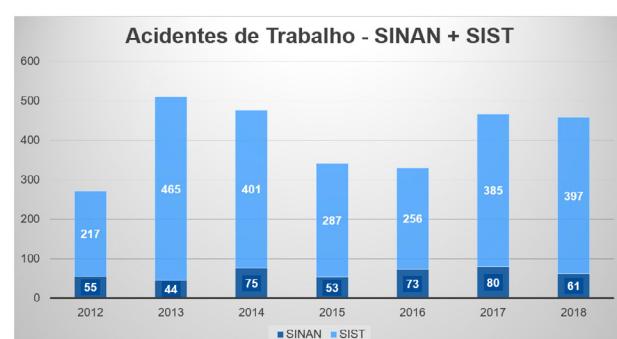


Gráfico 1 – Acidentes de Trabalho SINAN e SIST

3.2 AEAT

O Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho (AEAT-2016), revelou 3528 acidentes de trabalho no município de Ijuí no período de 2012 a 2016. A Tabela 1 apresenta os números totais de acidentes registrados no AEAT.

Tabela 1 – Acidentes de Trabalho AEAT

Tipo	2012	2013	2014	2015	2016
Típico com CAT	269	331	265	264	233
Trajeto com CAT	47	53	52	28	55
Doença com CAT	0	1	0	2	1
Sem CAT	428	510	421	293	275
TOTAL	744	895	738	587	564
Óbito	2	1	0	1	1

3.3 Portal BI

Segundo os dados do Portal BI, o número de acidentes de trabalho no município de Ijuí, é de 2377 casos, no período de 2012 a 2018. O Gráfico 2 apresenta os números totais de acidentes registrados no Portal BI.



Gráfico 2 – Acidentes de Trabalho Portal BI

3.4 ODSST

Conforme os dados do Observatório Digital (2018), no município Ijuí/RS, foram registrados 1.228 auxílios-doença por acidente do trabalho no período de 2012 A 2017. E gerando como impacto previdenciário de R\$ 7.512.587,99, devido aos afastamentos do trabalho o que ocasionou a perda de 173.029 dias de trabalho. O Gráfico 3 apresenta os números totais de acidentes registrados no ODSST.



Gráfico 3 – Acidentes de Trabalho ODSST

3.5 IMPACTOS DOS ACIDENTES DE TRABALHO

Os entrevistados selecionados são trabalhadores que sofreram acidente de trabalho no período de 2012 a 2018, no município de Ijuí, e que foram atendidos ou tiveram a notificação de agravo encaminhada pelo CEREST – Macrorregião Missionária.

As fichas de notificações do SINAN/SIST, contabilizaram 23 agravos, no período de 2014 a 2018, o que representa aproximadamente 1% do percentual máximo da população Ijuinense que sofreu algum tipo de acidente de trabalho no período vigente. Diante do universo da amostra, foi possível realizar a entrevista com apenas oito das vítimas de acidentes de trabalho, dos quais destes acidentes típicos e de trajeto. Vale salientar a dificuldade de identificação das vítimas e contato com as mesmas, devido à falta de notificações e o preenchimento incompleto das fichas. Outro fator determinante para o pequeno número de entrevistado se da pela ausência dos mesmos junto a ações do CEREST, ou a recusa em participar da entrevista.

3.5.1 Impacto Físico Funcional

Todo acidente de trabalho gera um relevante impacto físico-funcional, que é diretamente proporcional à incapacidade gerada pelo Acidente de Trabalho (AT). Quanto maior o grau da lesão e incapacidade, maior é a percepção dos impactos físico-funcionais, bem como dos demais impactos vivenciados pela vítima, em destaque os referentes à saúde mental e financeira, já que além da ficarem incapacitados para retornar ao mercado de trabalho se veem com sua renda reduzida, autoestima baixa, e dependência familiar, entre outros como ilustra umas das entrevistadas “perdi minha liberdade e autonomia”.

Na população estudada, 62,5%, dos entrevistados relataram sentir impacto extremo, quando se trata de aspecto físico, ou seja, o impacto físico-funcional é o impacto que mais afeta a vida da vítima de AT.

3.5.2 Impacto Financeiro

O impacto financeiro é segundo impacto que mais afeta a vida das vítimas de AT, indiferente do tipo de lesão, fato que ocorre devido à redução de renda por meio do benefício previdenciário e a perda da capacidade motora.

3.5.3 Impacto Psicossocial - Mental

Em relação ao impacto sobre a saúde mental referente às patologias sentidas, como a dor, depressão, estresse, ansiedade dentre outras, foi percebido como o terceiro impacto que mais afeta

os trabalhadores, onde 50% relatam muito impacto e 25% dos entrevistados relatam impacto extremo.

A percepção sob a nova condição física, bem como a diminuição do orçamento familiar levam, por exemplo, que o indivíduo participe menos em atividades de lazer, e inserção social, gerando o estresse, depressão e entre outras patologias que virão a interferir na recuperação do indivíduo devido à falta de motivação. Durante o estudo ficou evidenciado que trabalhadores que possuem motivação na recuperação, aos poucos transtornam todos os impactos, principalmente os psicossociais e financeiros.

3.5.4 Impacto Psicossocial – Familiar

Em relação aos impactos familiares em 50% dos casos é relatado um impacto regular, porém sempre é percebido pela vítima de AT, em diferentes escalas, que variam conforme a lesão e demais situações relacionadas ao tipo de acidente e a estrutura da família. Em alguns relatos verificam-se que a família e os amigos foram profundamente atingidos, quer numa fase inicial, pelo choque, descrença, revolta, culpa, ou na manutenção das relações, implicando na redefinição de papéis, de responsabilidades, mudanças na interação social.

Já os impactos sociais percebidos pela vítima são variáveis, pois este vai depender da lesão ou sequelas deixadas pelo AT, outro fator é como o trabalhador irá lidar (mentalmente) com essa nova situação. O impacto social é extremo quando se trata da acessibilidade do indivíduo, pois por muitas vezes as lesões ocasionadas pelo acidente de trabalho às tornam deficientes físicos, eis que entramos em uma esfera social muito maior do que simplesmente a das relações interpessoais, e sim na liberdade de ir e vir, deslocamento na rua, em ambientes públicos, etc.

3.5.5 Impacto Psicossocial – Colegas de Trabalho

Dos entrevistados, 75% relataram não sentir nenhum impacto referente ao tema, porém esse elevado número não retrata a realidade já que na verdade ele revela que a esta mesma proporção, não retorna para a mesma função ou até mesmo ao mercado de trabalho. No caso dos trabalhadores que retornaram ao mercado de trabalho, foi possível identificar o relato de preconceito em relação aos colegas de trabalho, uma vez que subestimam o colega vítima de AT, pois acreditam que ele não será capaz, eficiente ou competitivo e

quando percebem que o intelectual não tem relação com a capacidade física se sentem ameaçados. Neste item conclui-se que o retorno ao mercado de trabalho ainda é pequeno em relação ao número de notificações, este problema ocorre em função da falta de oportunidade para as vítimas de AT, devido a baixa qualidade do serviço de reabilitação profissional prestado pela Previdência Social aos segurados, com objetivo de prover a reinserção do trabalhador no mercado de trabalho, o trabalhador que é submetido a essa reabilitação não tem garantida a permanência em seu atual trabalho de origem, bem como não consegue obter nova oportunidade em outra empregadora. Na prática o que ocorre é um sub-aproveitamento da mão de obra deste trabalhador, que ao retomar suas funções após ter o auxílio-doença cessado é designado a retornar ao trabalho para realizar atividades de menor importância na empresa.

4. – DISCUSSÕES

Diante dos diversos bancos de dados sobre acidentes de trabalho, se fez necessário uma análise dos resultados gerais, visto a divergência de valores, como é possível observar na Tabela 2, onde em nenhum dos sistemas as notificações de acidentes e doença ocupacionais são semelhantes. Durante a pesquisa foi evidenciado que o banco de dados com maiores informações é o Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho que registrou 3528, sendo eles com e sem emissão de CAT.

Tabela 2 – Resultados dos acidentes de trabalho

SIST + SINAN	PORTAL BI	AEAT (2012 a 2018)	ODSST (2012 A 2017)
2849	2377	3528	1228

Em relação aos sistemas SIST e SINAN, é possível observar a tendência de falha no preenchimento das fichas, já que ambos trazem como opção a notificação de acidentes graves, com exposição a material biológico e acidentes de trabalho, o que pode gerar confusão por parte dos profissionais que iriam registrar a notificação, tal falha devido a falta de treinamento ou orientações dos órgãos responsáveis. Fica evidenciado que os itens acidente grave e exposição a material biológico deveriam ser retirados das fichas do SIST, para que se evite a indução de erros, e aconselha-se uma revisão ou esclarecimentos em relação ao sistema. No SIST contabilizavam os mesmos dados notificados pelo SINAN, o que

confirma uma falta de gestão na organização de informações tão pertinentes em relação à saúde dos trabalhados.

A divergência de dados de notificações relacionadas aos trabalhadores vítimas de acidente de trabalho no município de Ijuí não ocorre apenas pelas subnotificações por parte de empresas com medo de sofrer represálias, mas também pela falta de preparo do profissional da saúde que recebe a vítima na unidade de saúde, em identificar um acidente de trabalho, principalmente quando se trata de doenças relacionadas ao trabalho, já que é muito comum vincular a enfermidade a fatores externos, familiares, genéticos, etc., além da falta de preparo e indisposição para preencher as fichas de notificação de forma correta.

Na esfera relacionada aos impactos, observa-se que todos são relevantes na vida da vítima de acidente de trabalho, porém alguns afetam de forma mais intensa, como é o caso do impacto físico-funcional, que se destacou como o mais sentido pelos trabalhadores. No esquema elaborado na figura 01 é possível identificar de forma sucinta os impactos percebidos e suas correlações. O impacto físico-funcional se encontra no centro do problema e a partir dele se derivam os demais, sendo dividido em dois principais eixos, sendo o da esquerda os impactos financeiros e a direita, impactos psicossociais, ambos como norte o fator afastamento, que influencia diretamente no impacto financeiro da vítima de acidente de trabalho.

5. – CONCLUSÕES

Por mais que se tenham profissionais trabalhando em prol das notificações e da segurança do trabalho, percebe-se a falta da gestão pública para tornar as medidas que tratam o tema com maior seriedade, já que os acidentes interferem não apenas financeiramente na sociedade por meio do rombo previdenciário, mas afeta a qualidade de vida de milhares de trabalhadores bem como de seus familiares e todo o contexto social. Foi possível observar que os acidentes de trabalho excluem milhares de profissionais de suas atividades em razão das consequências psicossociais causadas pelos acidentes. Por fim, deve-se ter claro que promover a segurança e a saúde do trabalho é economicamente vantajoso, uma obrigação legal e um dever moral, devido aos aspectos sociais envolvidos, pois causam danos a todos os segmentos: empresas, trabalhadores e sociedade, resultando para todos um custo econômico e humano.

REFERÊNCIAS

BRASIL Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho : AEAT 2016 / Ministério da Fazenda ... [et al.]. – vol. 1 (2016) – . – Brasília : MF, 2016.992 p.

_____.Estatística dos acidentes. Disponível em: http://www.cpsol.com.br/website/index.asp?endereço_site=www.cpsol.com.br&par=&email=&gclid=SCene_1 Acesso em: 02 SET. 2018.

_____. Ministério da Fazenda. Secretaria da Previdência Social. Dados Abertos - Saúde e Segurança do Trabalhador Brasília, DF, Disponível em: <<http://www.previdencia.gov.br/dados-abertos/dados-abertos-sst>> Acesso em: 10 set 2018.

_____. Ministério da Previdência Social. Seção I – Benefícios concedidos. Anuário Estatístico da Previdência Social – AEPS 2016, Brasília, DF, v. 17, p. 19, 2009c. Disponível em: <http://www.mps.gov.br/arquivos/office/3_091028-191015-957.pdf>.Acesso em: 17 set. 2018.

BUDEL. Diego G. O. Acidente do trabalho: caracterização, conceito e competência. Disponível em: <<https://revistas.unifacs.br/index.php/redu/article/view/1930/1466>> Acesso em: 2 set. 2018.

DATAPREVE-CAT. Acidentes de trabalho. Disponível em: <www.mpas.gov.br> Acesso em: 20 de jun de 2018.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, SECRETARIA DA SAÚDE. PORTAL BI SAÚDE. 2018. Disponível em: <<http://bipublico.saude.rs.gov.br/index.htm>>. Acesso em: 18 set. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/ijui>> Acesso em: 03 Jul. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DO SEGURO SOCIAL INSS 2018. Comunicação de Acidente de Trabalho – CAT. Disponível em <https://www.inss.gov.br/servicos-do-inss/comunicacao-de-acidente-de-trabalho-cat/> acesso 05 set 2018

SMARTLAB- Observatório Digital de Saúde e Segurança no Trabalho (MPT-OIT): 2018. Dados acessados em [10 set de 2018]. Disponível em: <http://observatoriosst.mpt.mp.br>



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

Desenvolvimento de uma metodologia de ensaios com procedimentos operacionais padrão de técnicas preditivas, visando a segurança na análise de desempenho de transformadores de potência

André Pereira Marques

Instituto Federal de Goiás
ap.marques99@gmail.com

Felipe Resende de Carvalho
Sousa

Enel Distribuição Goiás
felipe.sousa@enel.com

Adonay Rodrigues, Cacilda de
Jesus Ribeiro, Cristhian G. da R.
de Oliveira, Ricardo J. Murakami,
Leonardo da Cunha Brito

Universidade Federal de Goiás
cacildaribeiro@gmail.com

RESUMO

Os transformadores de potência são equipamentos de custo elevado e estratégicos para o sistema elétrico, necessitando assim de acompanhamento periódico e da realização de diferentes ensaios, com a aplicação de técnicas preditivas inerentes da área de manutenção destes equipamentos. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de ensaios com o desenvolvimento de procedimentos operacionais padrão (POPs), visando a segurança do profissional que os executa e a maior precisão dos resultados, proporcionando condições que auxiliem nestas atividades, para análise de desempenho de transformadores de potência, e servindo como ferramenta eficiente e complementar, com aplicação abrangente em laboratório, em oficina e em campo, como em subestações de energia elétrica. A metodologia baseou-se na elaboração de formulários, de fluxogramas, e no desenvolvimento de dois programas computacionais (um para utilização em computador, e outro como aplicativo para dispositivos móveis, como *tablet* e celular), que contém as informações principais sobre estas padronizações. Portanto, destaca-se a contribuição deste trabalho, com a sistematização segura dos procedimentos, independentemente do responsável que os realizam, facilitando a sua gestão, a transferência de conhecimentos nos treinamentos de capacitação de profissionais, e as práticas de segurança como medida de controle e sistema de prevenção de acidentes em serviços de realização de ensaios nestes equipamentos importantes para o sistema elétrico de potência.

1.0 – INTRODUÇÃO

O diagnóstico e a manutenção dos transformadores de potência englobam ações que requerem rigor em suas aplicações [1]. Por isso, a padronização da execução dos ensaios elétricos apresenta vários benefícios, tais como as reduções de riscos de acidentes e da possibilidade de erros nas medições, tornando os ensaios mais confiáveis e seguros. Além disso, sistematiza os procedimentos, melhorando a gestão da manutenção, e proporciona rotinas bem definidas, as quais podem também ser transmitidas nos cursos de capacitação de profissionais dessa área, enriquecendo-os.

Este artigo tem como objetivo apresentar uma metodologia de ensaios, de técnicas preditivas, com o desenvolvimento dessas práticas padronizadas, denominadas de Procedimentos Operacionais Padrão (POPs), para análise de desempenho de transformadores de potência, com a elaboração de formulários, fluxogramas e o desenvolvimento de ferramentas computacionais (programas computacionais, incluindo um aplicativo para dispositivos móveis), que contém as informações principais, incluindo alguns valores de referência para auxiliar na análise final. Essa metodologia proporciona maior segurança e confiabilidade nos procedimentos, levando-se em conta o rigor científico e os requisitos mínimos de controle e de prevenção a fim de se evitar acidentes e inconformidades, justificando-se a sua importância nas áreas técnica e de segurança do trabalho.

A manutenção preventiva dos transformadores de potência inicia-se no momento da instalação do equipamento, com os ensaios de comissionamento, em que também são levados em

consideração os ensaios de recebimento realizados em fábrica. Estes ensaios compõem as referências iniciais que serão utilizadas no acompanhamento e no estabelecimento de um padrão, no que possibilitará a detecção de anormalidades ao longo da vida útil destes equipamentos [2]. Sendo assim, esses ensaios têm por finalidade garantir as boas condições e as características funcionais destes equipamentos, de tal forma que possam entrar em operação de forma segura no sistema e executar as funções para as quais foram construídos [3].

2.0 – METODOLOGIAS EMPREGADAS

2.1 – PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÃO PARA ENSAIOS ELÉTRICOS

A padronização de procedimentos, comumente denominada de POP (Procedimento Operacional Padrão), proporciona que um processo, independente da área, possa ser realizado sempre de uma mesma forma, permitindo a verificação sistemática de cada uma de suas etapas. Deve ser escrita de forma detalhada para a obtenção de uniformidade de uma rotina operacional, seja ela na produção ou na prestação de serviços [4].

Uma característica importante dos procedimentos operacionais padrão é o seu modelo, de fácil entendimento, e objetividade de comunicação [5]. Em conjunto com os POPs, as recomendações que constam nas normas e nos guias técnicos, contém conteúdo teórico e instruções de execução importantes para a realização de determinada tarefa.

Nesse sentido, é constatado que a padronização de procedimentos enseja maior confiabilidade nos resultados, independente de quem os realiza, e também propicia comparações e análises mais acuradas de equipamentos ao longo do tempo, ou mesmo entre equipamentos semelhantes [5].

Cabe observar que, formulários semelhantes já são utilizados em empresas do setor elétrico [6], porém para outros tipos de atividades. E que, os procedimentos operacionais padrão estão presentes em diferentes áreas [7], como a medicina, enfermagem e a engenharia. Ou seja, o POP é de certo modo universal à boa prática técnica e científica.

Porém, a contribuição deste trabalho está na elaboração de procedimentos operacionais padrão (POPs) e na metodologia de sua utilização em relação aos ensaios elétricos em transformadores de potência, em específico, com o desenvolvimento de ferramentas computacionais, visando a inovação tecnológica na área de segurança em serviços com eletricidade.

2.2– DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÃO PARA ENSAIOS ELÉTRICOS EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

Os procedimentos operacionais padrão para os ensaios elétricos em transformadores e potência, objeto de estudo deste trabalho, foram desenvolvidos com base em normas técnicas [8, 9] e normas regulamentadoras, como a NR 10 (sobre segurança em instalações e serviços em eletricidade) [10], guias técnicos [11, 12], manuais de fabricantes dos instrumentos de medições, e também no conhecimento e na experiência de profissionais da área (especialistas), que auxiliaram e validaram os resultados. Dessa forma, integrou-se todas as informações que atendessem às recomendações técnicas e de segurança no trabalho, e que também levassem em conta a rotina dos trabalhadores envolvidos, dentro dos critérios existentes na empresa.

Para exemplificar, tem-se os seguintes procedimentos para o ensaio de medição da resistência de isolamento, o qual compõe um dos ensaios rotineiramente realizados nestes equipamentos:

- a) desenergizar o transformador;
- b) impedir reenergização acidental;
- c) detectar se há tensão nos terminais (buchas);
- d) aterrinar adequadamente;
- e) sinalizar;
- f) seguir os demais requisitos relativos às recomendações de segurança, segundo as especificações da instalação ou da empresa;
- g) desconectar os cabos externos. Os ensaios de resistência de isolamento devem ser executados com todos os cabos do transformador desconectados das buchas, inclusive o cabo da bucha de neutro;
- h) proceder a anotação detalhada do esquema de teste com respectiva descrição;
- i) curto-circuitar os terminais das buchas de um mesmo enrolamento para obter uma melhor distribuição de potencial de ensaio;
- j) equalizar o aterrimento do tanque do transformador com o instrumento de teste;
- k) inspecionar e limpar as buchas com pano seco ou embebido em material de limpeza;
- l) utilizar o cabo "GUARDA" de forma que as leituras não sofram influências de resistências em paralelo com a que se está avaliando;
- m) cuidar para que os cabos do instrumento de medição da resistência de isolamento (megômetro) não toquem em outras partes do equipamento, ou, caso toquem, que não causem alteração na resistência do isolamento que está sendo medida;
- n) ajustar o megômetro segundo especificações do instrumento utilizado;
- o) nivelar o megômetro (nos casos de medidores com indicador de ponteiros analógicos);
- p) selecionar a tensão para teste de acordo com o equipamento a ser testado;
- q) assegurar que a tensão de teste aplicada seja constante;
- r) observar cuidadosamente o *display* (ou o ponteiro) do megômetro durante o teste

observando se apresenta oscilação significativa. Pode ser indício de mau contato, fugas intermitentes pela superfície do cabo de teste, induções de tensão por circuitos energizados nas proximidades, ou problemas na própria isolação sob teste; e

s) obter a temperatura dos enrolamentos.

É importante ressaltar que este trabalho complementa as instruções existentes na literatura, visto que cada uma traz consigo diferentes detalhes em pontos distintos sobre o ensaio, contribuindo com os principais requisitos analisados.

A coleta de informações em campo, a qual foi realizada em parceria com a Oficina Eletromecânica da concessionária de energia local, mostrou-se bastante efetiva, destacando-se as recomendações das normas técnicas, de guias e de manuais dos instrumentos, proporcionando a elaboração de rotinas (passo a passo) dos formulários de POP. Além disso, está de acordo com as práticas reais (factíveis) para a realização dos ensaios em campo e em laboratórios, buscando-se a segurança dos profissionais envolvidos, e a otimização do tempo e dos recursos disponíveis.

3.0 – RESULTADOS

3.1 – Formulários: procedimentos operacionais padrão

Os procedimentos operacionais padrão para os ensaios elétricos foram elaborados no formato de formulários, divididos em quatro colunas, sendo: o desenvolvimento das ações, a competência, os riscos envolvidos, e o controle desses riscos.

Após a elaboração dos POPs para os ensaios, a padronização foi estendida para outros ensaios considerados mais avançados [1], e também para ensaios em buchas condensativas. Ao todo, tem-se a metodologia com os seguintes procedimentos operacionais padrão:

- a) Sequência de Ensaios;
- b) Resistência de Isolamento;
- c) Resistência de isolamentos em buchas condensativas;
- d) Fator de potência do isolamento;
- e) Fator de potência em buchas condensativas;
- f) Corrente de excitação;
- g) Resistência Elétrica dos Enrolamentos;
- h) Relação de Transformação de espiras;
- i) Análise de Resposta em Frequência;
- j) Inspeção Visual;
- k) Inspeção Termográfica; e
- l) Detecção de descargas parciais.

Analizando a peculiaridade de cada ensaio, foram então elaborados os POPs, buscando-se sempre aliar as normas, guias, manuais e estudos realizados, com a experiência e o conhecimento do profissional (especialista). A segurança no local de trabalho foi priorizada em todas as etapas, incluindo a elaboração de um *checklist* de procedimentos de segurança, ilustrado no Quadro 1.

QUADRO 1. Checklist sobre os procedimentos de segurança, a ser preenchido pelos profissionais, antes do início das atividades

Descrição	Conf.	Não conf.	Obs.
1. Treinamento dos trabalhadores realizados	✓		
2. Aterramento elétrico das instalações e dos equipamentos	✓		
3. Dispositivos de segurança das instalações elétricas	✓		
4. Utilização dos Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs)	✓		
5. Utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)	✓		
6. Sinalização sobre segurança	✓		
7. Comunicação da equipe – sobre a ordem de serviço (OS) e a análise preliminar de risco (APR)	✓		
8. Instrumentos e ferramentas adequados e seguros	✓		
9. Local de execução do serviço adequado e seguro	✓		
10. Disponibilidade de tempo de execução adequado	✓		

Nota: considerando as abreviaturas “Conf.” para “Conformidade”, “Não conf.” para “Não conformidade”, e “Obs.” Para “Observações” complementares.

Cabe observar que, os riscos de acidentes, além do choque elétrico, identificados junto com a APR (Análise Preliminar de Riscos) nestas atividades, são devidos a possíveis riscos com: arco elétrico, lesão física, queda, e outros, específicos do local de trabalho. Além de posturas inadequadas, relacionados aos riscos ergonômicos. Destacando-se assim, as medidas de controle e sistemas de prevenção, incluindo a utilização adequada dos seguintes equipamentos de proteção:

- a) coletiva (EPC), como: sinalização com cone, etiqueta, fitas, placas, e aterramento elétrico; e
- b) individual (EPI), como: vestimenta, calçado, luvas, e capacete, de proteção contra choque elétrico.

Os parâmetros para diagnóstico e para a análise dos resultados técnicos desses ensaios foram publicados em [1, 13], auxiliando na análise de desempenho de transformadores de potência, imersos em óleo isolante, com potências de 1 MVA a 50 MVA, e tensões nominais de 13,8 kV a 230 kV, com a definição dos critérios de classificação em função da idade do equipamento, e ações recomendadas para apoio à equipe de manutenção. A Tabela 1 ilustra um exemplo para o ensaio de resistência de isolamento (R_{HL}) e a

Tabela 2, incluindo alguns valores de referência para auxiliar na análise final [1, 13].

TABELA 1. Critérios de classificação da resistência de isolamento (R_{HL}) em função da idade dos transformadores de potência

Conceito	idade ≤ 10 anos (MΩ)	10 < idade ≤ 20 anos (MΩ)	idade > 20 anos (MΩ)
A (Excelente)	$R_{HL} \geq 41.743$	$R_{HL} \geq 20.085$	$R_{HL} \geq 13.233$
B (Bom)	$20.112 \leq R_{HL} < 41.743$	$12.359 \leq R_{HL} < 20.085$	$6.738 \leq R_{HL} < 13.233$
C (Marginal)	$15.135 \leq R_{HL} < 20.112$	$8.674 \leq R_{HL} < 12.359$	$4.972 \leq R_{HL} < 6.738$
D (Ruim)	$5.369 \leq R_{HL} < 15.135$	$3.318 \leq R_{HL} < 8.674$	$2.051 \leq R_{HL} < 4.972$
E (Péssimo)	$R_{HL} < 5.369$	$R_{HL} < 3.318$	$R_{HL} < 2.051$

TABELA 2. Ações recomendadas para a equipe de manutenção em função da classificação dos resultados (“A” a “E”) dos ensaios em transformadores de potência

Conceito Final	Ações Recomendadas
A (Excelente)	Continuar operando o equipamento normalmente
B (Bom)	Continuar operando o equipamento enquanto monitora a evolução dos resultados
C (Marginal)	Investigar a realizar outros ensaios em curto prazo para confirmar resultados e tendências
D (Ruim)	Programar a remoção do equipamento de operação para inspeção interna, localização e correção de defeitos
E (Péssimo)	Remover o equipamento de operação imediatamente para inspeção interna, localização e correção de defeitos

Para exemplificar os POPs elaborados, é mostrado no Quadro 2, o correspondente à ordem em que ensaio é realizado de acordo com a sequência dos ensaios estabelecida, considerando:

- a) Competências: técnico eletrotécnico e engenheiro eletricista; e
- b) Riscos envolvidos: choque elétrico, acidentes, medições equivocadas ou imprecisas.

Esse POP com a sequência de ensaios visa otimizar o tempo total dos ensaios de rotineiramente realizados, sem comprometer a segurança dos profissionais envolvidos e manter a confiabilidade de resultados.

QUADRO 2. Procedimento operacional padrão para sequência dos ensaios realizados rotineiramente em transformadores de potência

Desenvolvimento	Controle do risco
Passo 01: Seguir todas as normas referentes à segurança (Uso de EPI e precauções em geral).	<ul style="list-style-type: none"> • Preencher o Checklist com os procedimentos de segurança. • Observar atentamente as normas de segurança. • Ser atencioso na coleta de dados. • Verificar e corrigir quaisquer anormalidades.
Passo 02: Garantir que o transformador esteja realmente desenergizado.	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar se o transformador está realmente desenergizado.
Passo 03: Conferir a umidade relativa do ar ambiente. Caso esteja acima de 70% é recomendado que não se prossiga com ensaios que avaliam a isolação do transformador.	<ul style="list-style-type: none"> • Medir mais de uma vez para certificar o valor da umidade ambiente.
Passo 04: Realizar o Ensaio de Resistência de Isolamento (RI).	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar o POP - formulário específico para este ensaio.
Passo 05: Analizar resultados do Ensaio de RI. Caso seja atestado anormalidades, atentar-se na aplicação de altas tensões nos próximos ensaios.	<ul style="list-style-type: none"> • Certificar a razoabilidade dos dados coletados no ensaio de RI. • Continuar demais procedimentos com a devida cautela.
Passo 06: Realizar o Ensaio de Resistência de Isolamento nas buchas condensivas.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar o POP - formulário específico para este ensaio
Passo 07: Realizar o Ensaio de Fator de Potência do Isolamento.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar o POP - formulário específico para este ensaio.
Passo 08: Realizar o Ensaio de Corrente de Excitação.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar o POP - formulário específico para este ensaio.
Passo 09: Realizar o Ensaio de Fator de Potência em buchas condensativas.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar o POP - formulário específico para este ensaio.
Passo 10: Realizar o Ensaio de Resistência Elétrica dos Enrolamentos.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar o POP - formulário específico para este ensaio.
Passo 11: Realizar o Ensaio de Verificação da Relação de Transformação.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar o POP - formulário específico para este ensaio.
Passo 12: Finalizar procedimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Analisar os resultados e corrigir quaisquer normalidades.

Na Figura 1 é ilustrada a realização do ensaio de resistência elétrica dos enrolamentos em transformadores de potência em laboratório, com a aplicação da metodologia desenvolvida neste trabalho.



Fig.1. Realização de ensaio de resistência dos enrolamentos: a) conexão no transformador de potência (de 6,25 MVA, 69/13,8 kV); e b) instrumento de medição

3.2 – Fluxogramas de procedimentos operacionais padrão

Para melhor compreensão dos POPs, visando obter uma visão macro dos procedimentos, foram elaborados fluxogramas correspondentes, como mais uma ferramenta de acesso aos passos de determinado ensaio, fornecendo informações importantes de forma resumida.

Na Figura 2 é ilustrado um exemplo de fluxograma elaborado para o ensaio de verificação da relação de transformação (TTR) de transformadores de potência.

3.3 – Programa computacional POPTrafo 1.0

O programa computacional POPTrafo 1.0 foi desenvolvido na linguagem Java, com o propósito de auxiliar a consulta rápida e eficiente aos procedimentos operacionais padrão, por meio eletrônico (digital), reunindo todas as informações sobre os ensaios elétricos em transformadores de potência. Nele é possível acessar os formulários, os fluxogramas, um guia prático passo-a-passo para a realização de cada um dos ensaios, e também alguns valores de referência, apresentados em [1].

Nas Figuras 3 e 4 são ilustradas as telas principais do software POPTrafo 1.0 desenvolvido neste trabalho.

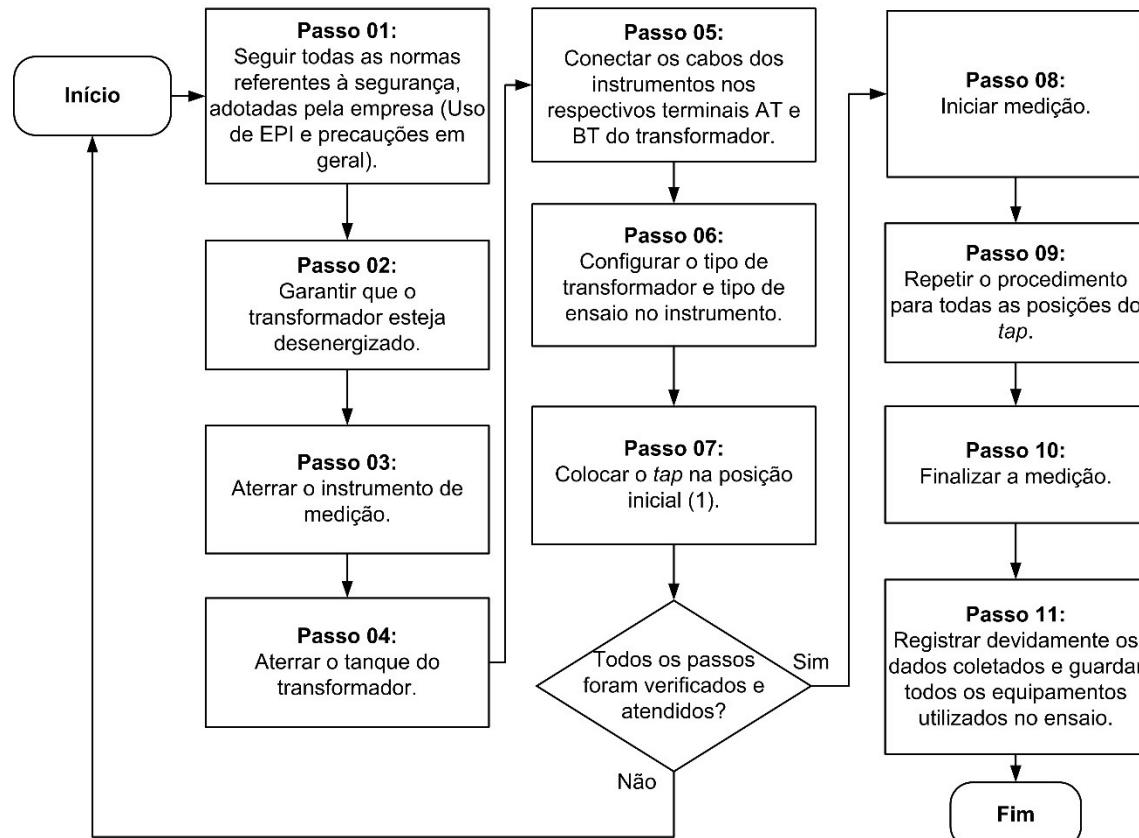


Fig. 2. Fluxograma dos procedimentos operacionais padrão para o ensaio de verificação de relação de transformação no transformador de potência, inserido no programa computacional.



Fig. 3. Janela inicial do software POPTrafo, desenvolvido neste trabalho.

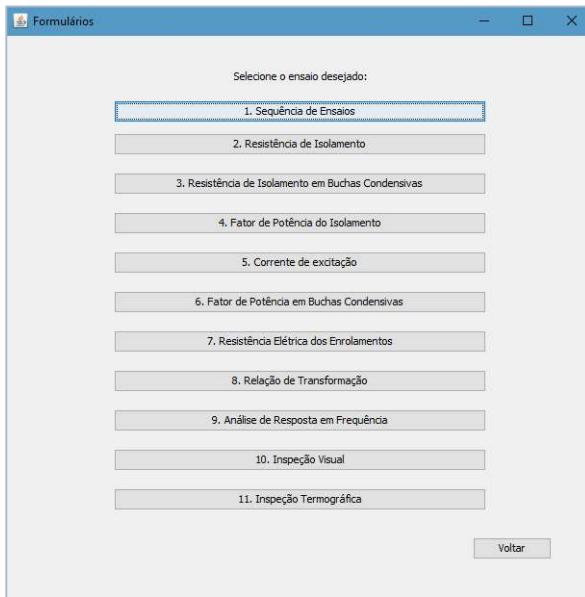


Fig. 4. Lista de acesso aos formulários sobre os procedimentos operacionais padrão para ensaios elétricos em transformadores de potência

3.4 – Aplicativo para dispositivo móvel

O aplicativo POPTrafo Móvel 1.0 é um software desenvolvido para plataforma Android, que tem como objetivo auxiliar nas aplicações de técnicas preditivas e preventivas no transformador de potência, fornecendo padrões de ensaios de uma forma prática e eficiente, sempre, contudo, considerando a segurança dos profissionais envolvidos nos procedimentos. Este programa para dispositivos móveis surgiu como uma alternativa para o acesso rápido a qualquer hora e em qualquer lugar, dos POPs já desenvolvidos em formulários e fluxogramas, passo a passo, e informações gerais,

ilustrados nas Figuras 5, 6 e 7, por meio de tecnologias de fácil aplicação e aceitação por parte dos usuários, como telefone celular e tablet.

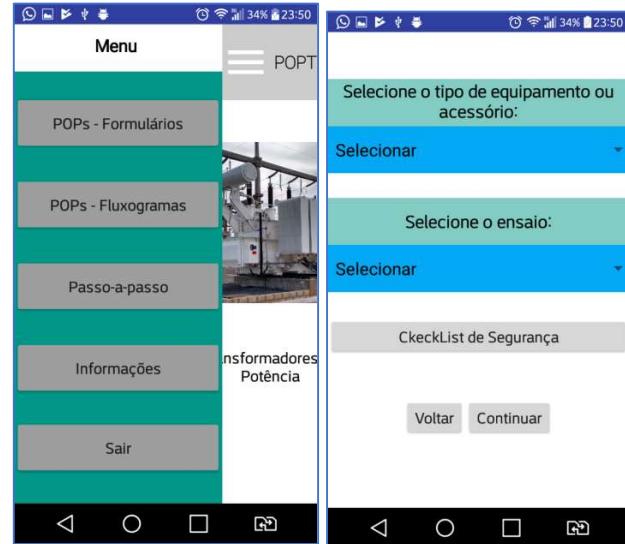


Fig. 5. Aplicativo móvel: a) POPs; e b) seleção dos tipos de equipamento e de ensaio.

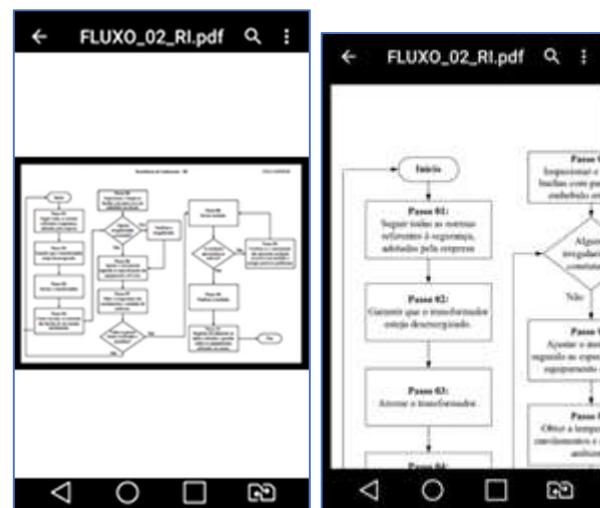


Fig. 6. Aplicativo móvel: a) exemplo de fluxograma com POP de um determinado ensaio; e b) opção de visualização ampliada.

O aplicativo POPTrafo Móvel 1.0 foi utilizado nos ensaios realizados na Oficina Eletromecânica da Concessionária de Energia Elétrica local. Sendo assim, após o treinamento mostrando a sua importância, foi realizada a instalação em telefones celulares compatíveis dos engenheiros, técnicos e responsáveis pela manutenção do transformador de potência. Com a instalação, foi também submetida a eles, uma pesquisa de satisfação do aplicativo, cujo resultado é ilustrado na Figura 8, onde o usuário respondeu questões com uma nota variando de (1), significando “concordo plenamente” a (5) representando “discordo totalmente”.

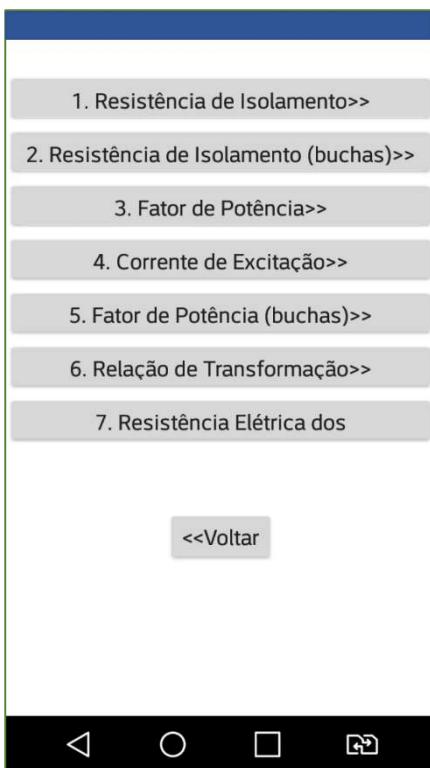
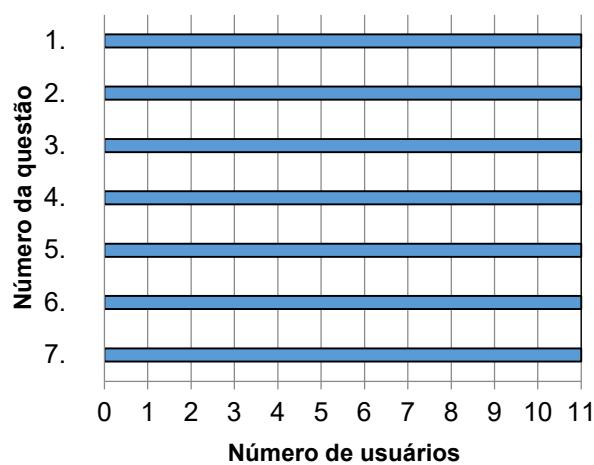


Fig. 7. Tipos de ensaios com os Procedimentos Operacionais Padrão, no aplicativo móvel.



Escala de notas: ■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5

Legenda das questões:

1. O aplicativo atende aos requisitos propostos?
2. Você usaria esse aplicativo no dia-a-dia de trabalho da oficina ou do campo?
3. A interface do aplicativo é de fácil compreensão?
4. O aplicativo é executado sem problemas no seu telefone celular ou no seu tablet?
5. A velocidade de execução do aplicativo é boa?
6. O layout é agradável?
7. O aplicativo possui um alto grau de utilidade dentro das atividades do departamento/empresa?

Fig. 8. Resultado da pesquisa de satisfação do aplicativo móvel POPTrafo 1.0, com a implementação da metodologia.

No total, onze profissionais responderam a avaliação, conforme observa-se na Figura 8, com apresentação dos resultados satisfatórios, onde todos os usuários avaliaram com nota (5), o que significa uma boa receptividade e aprovação da implantação da metodologia.

4 – CONCLUSÕES

Com a crescente demanda do desenvolvimento tecnológico do sistema elétrico, e os desafios da ampliação e de inovações da área de manutenção, torna-se importante a implantação de estratégias e de metodologias eficientes em relação à segurança do trabalho e à aplicação de técnicas preditivas, como os procedimentos operacionais padrão desenvolvidos neste trabalho, proporcionando a padronização, a confiabilidade, e auxiliando às equipes na condução segura de realização de ensaios elétricos em transformadores de potência, que são ativos fundamentais para as empresas, no fornecimento de energia elétrica.

A elaboração destes procedimentos operacionais padrão para ensaios elétricos nestes equipamentos foi realizada de acordo com o modelo adotado pela concessionária local, e foram validados com sucesso na prática.

Além de utilizar recursos digitais que favorecem e se adequam com facilidade à realidade dos usuários, com a utilização de tecnologias comuns e acessíveis, constatou-se as seguintes contribuições: na transmissão de conhecimentos nos treinamentos de capacitação de profissionais nestas atividades; na facilidade e complementação de requisitos de segurança na condução destes ensaios; na conferência da qualidade dos procedimentos; na rastreabilidade das atividades em relação às revisões das operações; na repetibilidade dos resultados; nas medidas relacionadas às diminuições de riscos com acidentes de trabalho; na realização de diagnósticos eficientes; e também na facilidade de acesso aos Procedimentos Operacionais Padrão, proporcionado pelas ferramentas computacionais.

Portanto, conclui-se que a metodologia desenvolvida neste trabalho, apresentou ganhos significativos nas práticas e nos resultados desses serviços com eletricidade, pois proporcionou complementações nas sistematizações dos procedimentos, facilitando a sua gestão, acesso e transferência de conhecimentos na área de engenharia de manutenção, favorecendo o rigor necessário para a precisão das análises de desempenho de transformadores de potência, e principalmente, auxiliando os profissionais nas medidas de controle e nos sistemas de prevenção, na área de segurança e saúde do trabalho.

5 – REFERÊNCIAS

- [1] A.P. Marques, "Diagnóstico Otimizado de Transformadores de Potência mediante a integração de técnicas preditivas", Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação) – Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.
- [2] S.D. Smith, "Periodic testing and maintenance of power transformers to extend life and improve reliability", EIC 13th Electrical/Electronics Insulation Conference, (pp. 156-158), Chicago, IL, USA, 1977
- [3] CIGRÈ – Brasil, "GT A2.05. Guia de manutenção para transformadores de potência", Grupo de Trabalho A2.05, 2013, Brasil.
- [4] G. Lousana, "Boas práticas clínicas nos centros de pesquisa", Revinter. Rio de Janeiro, 2005.
- [5] C.M. Barbosa, "A importância dos procedimentos operacionais padrão (POPs) para os centros de pesquisa clínicos", Revista Associação Médica Brasileira, 57, 134-135, 2011.
- [6] Eletrobrás Distribuição Alagoas, "Procedimento Operacional Padrão - Trabalhos em altura", 2014.
- [7] S.D. Mansoldo, "Procedimentos operacionais padronizados e o gerenciamento de qualidade em centros de pesquisa", Associação Médica Brasileira, 53 (no.1 São Paulo Jan./Fev.), 2007.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, "NBR 5356 – 1: Transformadores de potência. Parte 1: Generalidades", Rio de Janeiro, 2007.
- [9] Enel Distribuição Goiás, "NTC36: Transformador de Potência – Especificação, rev. 7", Goiânia, 2016, Disponível em <https://www.eneldistribucao.com.br/go/documentos/NTC36.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2019
- [10] Brasil, Ministério da Economia - Secretaria de Inspeção do Trabalho, "Normas Regulamentadoras", disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguanca-e-saude-no-trabalho/sst-menu/sst-normatizacao?view=default>. Acesso em: 10 abr. 2019
- [11] Institute of Electrical and Electronics Engineers, "C57.152-2013: IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors", New York, 2013.
- [12] Institute of Electrical and Electronics Engineers, "C57.123-2010: IEEE Guide for Transformer Loss Measurement", New York, 2010.
- [13] A.P. MARQUES, et al, "Insulation Resistance of Power Transformers – Method for Optimized Analysis", 19th IEEE International Conference on Dielectric Liquids – ICDL. Manchester, United Kingdom, 2017



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

Análise de Risco de Arco Elétrico e Energia Incidente em Plataforma Offshore

Gabriel Soares Wu

Chevron

gabrielwu@chevron.com

João Vitor Barboza da Silva

CEFET-RJ / Nova Friburgo

joaovitorbarboza@hotmail.com

Paulo Victor de Souza Borges

CEFET-RJ / Nova Friburgo

paulovictorborges61@gmail.com

RESUMO

Desde as primeiras publicações provindas da década de oitenta, a engenharia de sistemas elétricos tem procurado avaliar os riscos da exposição humana à ocorrência do arco elétrico, quantificando as grandezas relativas ao fenômeno e estabelecendo possíveis medidas mitigadoras para suas consequências. Atualmente, as normas internacionais NFPA 70E e IEEE 1584, amplamente utilizadas, apresentam metodologias para determinação da distância segura e da energia incidente durante a exposição de profissionais no exercício de suas atividades frente a equipamentos energizados, além de selecionar as vestimentas de proteção e demais equipamentos de proteção individuais. Dentro deste contexto, este trabalho se propõe a apresentar o estudo de caso de parte de uma instalação típica de uma plataforma de processamento primário de petróleo do tipo FPSO, com a aplicação das metodologias citadas. Para as simulações, foi utilizada a ferramenta computacional ETAP (*Electrical Power System Analysis*). Além dos resultados correspondentes à corrente de arco elétrico, energia incidente e distância segura para os painéis elétricos, serão apresentados análises de sensibilidade em relação as alterações no tempo de atuação da proteção (FCT – Fault Clearing Time) e na distância de trabalho.

1.0 – INTRODUÇÃO

Um dos mais graves riscos oferecidos pela eletricidade é o Arco Elétrico. Tal fenômeno ocorre quando existe o rompimento do dielétrico entre dois condutores com potenciais distintos, ou entre um ponto energizado e um terra. A NFPA (National Fire Protection Association) define o risco de arco elétrico como uma perigosa condição associada à

possível liberação de energia, causada por um arco elétrico [1].

O arco ocorrido de uma falha elétrica libera uma grande quantidade de energia e gera altas temperaturas, podendo ocasionar graves queimaduras aos trabalhadores, levando-os a óbito em alguns casos. A temperatura de um arco elétrico pode atingir cerca de 20.000 K, sendo quatro vezes maior que a superfície do Sol [2].

A principal causa da ocorrência do arco elétrico é a falha na isolação entre condutores. Esta falha pode ocorrer por diversos fatores: erros humanos, conexões deficientes e sobreaquecimento, entre outros [3].

Com base nos métodos de análise disponibilizados por meio do IEEE Std. 1584, 2002 - Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations 2002 [4], identifica-se que o grau de energia incidente varia de acordo com parâmetros como:

- Corrente de curto-circuito;
- Distância de trabalho;
- Distância entre os condutores;
- Tempo de operação dos dispositivos de proteção (FCT).

Este artigo tem por objetivo apresentar os resultados do estudo de arco elétrico e demonstrar a sensibilidade da energia incidente à parâmetros críticos como o FCT e a distância de trabalho entre o operador e componentes elétricos. O estudo proposto será em um sistema fictício, baseado em uma planta elétrica de uma Plataforma FSPO.

A organização do artigo foi feita da seguinte forma: no tópico 2 são apresentados os métodos utilizados para os cálculos de corrente de arco elétrico, energia incidente e distância segura de aproximação contra arco elétrico. O tópico 3 descreve o sistema utilizado no estudo, o cenário de operação e apresenta a simulação da planta por

meio do software ETAP. A seguir, no tópico 4, são examinados alguns parâmetros de sensibilidade do arco elétrico e apresentados os resultados. O artigo é finalizado pelo tópico 5 com as conclusões.

2.0 – CÁLCULO DA ENERGIA INCIDENTE

A fim de garantir condições de segurança e saúde no trabalho com eletricidade, a Norma Regulamentadora NR 10 determina requisitos e procedimentos de segurança para atividades que envolvam risco com eletricidade. Tal norma, no entanto, não trata especificamente sobre o arco elétrico, porém instrui a procurar normas internacionais vigentes, conforme apresentado no tópico 10.1.2 da mesma: “*Esta NR se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis [5].*”

A norma IEEE Std 1584-2002 [4], utilizada no presente trabalho, apresenta os métodos de cálculo para o estudo de arco. Sua aplicação é válida para sistemas com as seguintes características:

- Sistema trifásico;
- Tensão: 208V e 15kV;
- Frequência: 50Hz ou 60Hz;
- Corrente de curto-círcuito de 700A a 106kA;
- Espaçamento entre condutores de 13 mm a 152 mm.

Abaixo são apresentadas as equações utilizadas para o cálculo da corrente de arco elétrico, energia incidente normalizada, energia incidente atual e distância segura de aproximação.

Para sistemas com tensão abaixo de 1000V, tem-se a equação (1):

$$\log(I_a) = K + 0,662 \log(I_{bf}) + 0,0966V + 0,0000526G + 0,5588V(\log(I_{bf})) - 0,00304G(\log(I_{bf})) \quad (1)$$

Onde:

I_a é a corrente de arco elétrico (kA);

K é -0,153 para configurações em ambiente aberto e -0,097 para ambientes fechados.

I_{bf} é a corrente de curto circuito em kA.

V é a tensão do sistema em kV

G é a distância entre os condutores em mm.

Para sistemas de 1000V, ou mais, não há distinção entre sistemas abertos e fechados. Sendo assim, tem-se a equação (2):

$$\log(I_a) = 0,00402 + 0,983 \log(I_{bf}) \quad (2)$$

Para o cálculo da energia incidente, primeiramente deve-se determinar a energia normalizada por meio da equação (3):

$$\log E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \log(I_a) + 0,0011G \quad (3)$$

Onde:

E_n é a energia normalizada (J/cm^2) para o tempo de 200ms e distância de 610 mm;

K_1 é -0,792 para configurações em ambiente aberto e -0,555 para ambientes fechados.

K_2 é 0 para sistemas isolados ou aterrados por alta resistência e -0,113 para sistemas solidamente aterrados.

G é a distância entre os condutores em mm.

A partir da Energia Normalizada, calcula-se a Energia Incidente por meio da equação (4):

$$E = 4,184C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

Onde:

E é a energia incidente (J/cm^2);

C_f é um fator de cálculo 1,0 para tensões acima de 1kV e 1,5 para tensões iguais ou inferiores à 1kV;

t representa o tempo de arco (s);

D é a distância de trabalho (mm);

x é o expoente de distância conforme a Tabela 1 extraída da IEEE 1584 [4].

Tabela 1 - Fatores para equipamentos e classes de tensão (Adaptada de [4]).

Tensão do Sistema [kV]	Tipo de Equipamento	Distância X Fator
0,208 – 1,0	Ambiente aberto	2,000
	Painel de distribuição	1,473
	CCM e Painel	1,641
	Cabos	2,000
>1-5	Ambiente aberto	2,000
	Painel de distribuição	0,973
	Cabos	2,000
>5-15	Ambiente aberto	2,000
	Painel de distribuição	0,973
	Cabos	2,000

A norma determina também, como apresentado na Tabela 2, tempos típicos de acionamento dos disjuntores de acordo com a tensão nominal [4].

Tabela 2 – Tempo de operação dos disjuntores de potência [4].

Configuração e tipo do disjuntor	Tempo de abertura em 60 Hz (ciclos)	Tempo de abertura (segundos)
Baixa tensão (em caixa moldada) (<1000V)	1,5	0,025
Baixa tensão (em caixa isolada)	3,0	0,050
Tensão média (1-35kV)	5,0	0,080
Alguns casos de alta tensão (>35kV)	8,0	0,13

3 – ESTUDO DE CASO

3.1 – DESCRIÇÃO DO SISTEMA E CASOS DE OPERAÇÃO

O sistema possui dois geradores síncronos principais de *Topsides* idênticos de 11 kV, 30 MVA, 60 Hz acionados por turbinas à gás. O neutro de cada gerador é conectado à um aterramento de alta impedância dedicado, e o aterramento das cargas é feito exclusivamente através das suas massas, caracterizando portanto o esquema de aterramento IT conforme NBR 5410. Os geradores são ligados independentemente ao barramento principal de 11 kV. Este barramento é tanto um Centro de Controle de Motores quanto um barramento de distribuição para transformadores abaixadores.

A subestação é composta por equipamentos de níveis de tensão 11 kV, 4,16 kV e 460 V. No nível de 460V, dois geradores síncronos reserva de 2 MVA para as cargas essenciais e de emergência são conectados.

A manutenção em equipamentos como transformadores, geradores e motores pode ser considerada como realizada somente com o equipamento desenergizado. No entanto, algumas manutenções e operações dos painéis elétricos do sistema de distribuição necessitariam ser realizadas com os equipamentos energizados, visto o alto requisito de continuidade do serviço - portanto há necessidade na redução do potencial de energia incidente para minimizar a exposição do trabalhador ao risco de arco elétrico.

Em operação normal, dois geradores fornecem juntos 28 MW e 12 MVar para a planta. A maior carga elétrica da planta é do compressor de

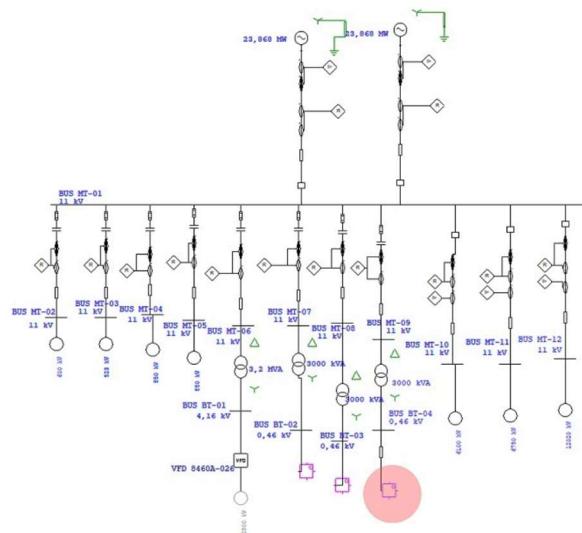
gás principal, de 12 MW. Como pior cenário para o nível de curto circuito e, por consequência, para o nível de energia incidente trata-se da ocorrência de uma falta enquanto os geradores de baixa tensão estão em condição de teste.

Portanto, dois cenários de estudo serão considerados: o caso 1, onde os geradores *Topsides* de 11 kV alimentam o sistema e o caso 2, onde além dos geradores principais, tem o funcionamento concomitante dos geradores de emergência.

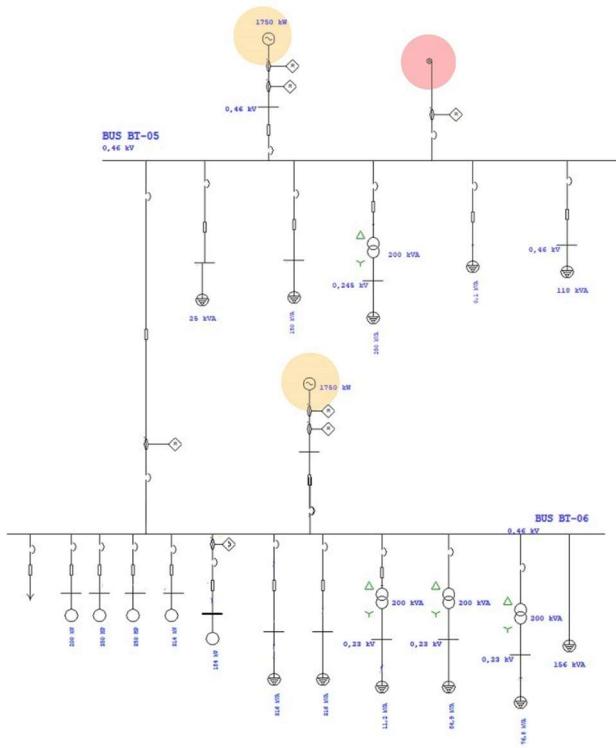
3.2 – DIAGRAMA

As figuras 1 e 2 a seguir apresentam os diagramas referentes ao sistema em estudo: na figura 1 tem-se a primeira parte, representando o painel de 11 kV, onde estão conectados os geradores principais, além de cargas e demais barras em diferentes níveis de tensão. Na figura 2, tem-se a segunda parte, apresentando as barras de 460 V, onde estão conectados os geradores de emergência e demais cargas.

Figura 1 – Diagrama do Sistema – Parte 1



Análise de Risco de Arco Elétrico e Energia Incidente em Plataforma Offshore
Figura 2 – Diagrama do Sistema – Parte 2



4.0 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes ao estudo de arco e análises de sensibilidade. A Tabela 3 apresenta as barras nas quais o estudo de arco elétrico e energia incidente foi realizado. Os FCT das barras foram determinados de acordo com a Tabela 2.

Tabela 3 – Relação das Barras do Sistema

	V [kV]	FCT [s]	D [m]
BUS BT-01	4,16	0,05	0,46
BUS BT-02	0,46	0,05	1,16
BUS BT-03	0,46	0,05	1,16
BUS BT-04	0,46	0,05	1,16
BUS BT-05	0,46	0,05	1,55
BUS BT-06	0,46	0,05	1,55
BUS MT-01	11	0,08	0,91
BUS MT-02	11	0,08	1,16
BUS MT-03	11	0,08	1,16
BUS MT-04	11	0,08	1,16
BUS MT-05	11	0,08	1,16
BUS MT-06	11	0,08	1,16
BUS MT-07	11	0,08	1,16
BUS MT-08	11	0,08	1,16
BUS MT-09	11	0,08	0,46
BUS MT-10	11	0,08	1,16
BUS MT-11	11	0,08	1,16
BUS MT-12	11	0,08	1,16

De acordo com as recomendações do IEEE Std. 1584-2002, o estudo de arco elétrico foi realizado para os dois casos de operação descritos anteriormente e, por meio das correntes de curto-circuito (IBF), foram obtidos os valores de corrente de arco elétrico (IA) e energia incidente (E), conforme apresentado nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Resultado do estudo de Arco Elétrico e Energia Incidente (Caso 1).

	I _b [kA]	I _a [kA]	E [cal/cm ²]	AFB [m]
BUS BT-01	7,486	7,302	1,1	0,44
BUS BT-02	62,09	33,99	1,348	1,23
BUS BT-03	55,54	30,81	1,212	1,17
BUS BT-04	58,02	32,02	1,264	1,19
BUS BT-05	52,65	23,92	0,889	1,26
BUS BT-06	47,83	22,11	0,816	1,19
BUS MT-01	22,79	21,81	3,1	2,42
BUS MT-02	18,57	17,83	0,716	0,9
BUS MT-03	19,3	18,53	0,746	0,92
BUS MT-04	19,88	19,07	0,77	0,93
BUS MT-05	20,53	19,69	0,797	0,95
BUS MT-06	22,29	21,34	0,869	0,99
BUS MT-07	22,59	21,62	0,882	1
BUS MT-08	22,68	21,71	0,885	1
BUS MT-09	21,18	20,3	5,312	0,96
BUS MT-10	20,95	20,08	0,814	0,96
BUS MT-11	20,85	19,98	0,81	0,95
BUS MT-12	21,95	21,02	0,855	0,98

Tabela 5 – Resultado do estudo de Arco Elétrico e Energia Incidente (Caso 2).

	I _b [kA]	I _a [kA]	E [cal/cm ²]	AFB [m]
BUS BT-01	7,513	7,327	1,104	0,44
BUS BT-02	62,206	34,04	1,35	1,23
BUS BT-03	55,655	30,87	1,215	1,17
BUS BT-04	96,261	49,98	2,045	1,52
BUS BT-05	100,88	40,83	1,584	1,87
BUS BT-06	92,577	38,04	1,468	1,78
BUS MT-01	23,441	22,42	3,195	2,5
BUS MT-02	18,962	18,21	0,732	0,91
BUS MT-03	19,736	18,94	0,764	0,93
BUS MT-04	20,35	19,51	0,789	0,94
BUS MT-05	21,038	20,16	0,818	0,96
BUS MT-06	22,919	21,93	0,895	1
BUS MT-07	23,233	22,23	0,908	1,01
BUS MT-08	23,329	22,32	0,912	1,01
BUS MT-09	21,838	20,92	5,488	0,98
BUS MT-10	21,496	20,59	0,836	0,97
BUS MT-11	21,382	20,49	0,832	0,97
BUS MT-12	22,547	21,58	0,88	0,99

Seguindo o estudo com a análise de sensibilidade, os parâmetros da energia incidente são ajustados, um por vez, e o estudo do arco elétrico é realizado para os dois casos de operação. A sensibilidade é analisada pela comparação entre os resultados obtidos em cada caso. Isolando os parâmetros da energia incidente, é possível determinar o fator mais significante e assim reduzir o perigo em trabalhos com equipamentos energizados. Serão analisadas as contribuições de dois parâmetros:

- A distância de trabalho entre um componente elétrico e um operário (em metros);
- O tempo de acionamento dos dispositivos de proteção (FCT em segundos).

Os valores base de cada parâmetro foram variados a uma mesma proporção para que a análise da sensibilidade fosse mais consistente.

A. Energia Incidente x Distância do Equipamento Energizado

As distâncias de trabalho base, apresentadas na Tabela 3, foram variadas e os valores de energia incidente simulados são apresentados nas tabelas 6 e 7, representando os casos 1 e 2, respectivamente. As figuras 3 e 4 apresentam os gráficos que ilustram o comportamento da energia incidente devido à variação da distância de trabalho para determinadas barras, para os casos 1 e 2, respectivamente.

É possível perceber que à medida que a distância diminui, a energia aumenta de maneira exponencial, já com o aumento da distância de trabalho, a energia diminui. Tal comportamento, mostra uma relação inversa entre a energia e a distância.

Alguns métodos podem ser aplicados a fim de aumentar a distância de trabalho dos operários em determinados equipamentos elétricos, diminuindo assim o risco de energia incidente sobre o mesmo. Como exemplo, existem no mercado diversos equipamentos que permitem o acionamento de dispositivos de proteção e chaveamento de maneira remota [6].

Tabela 6 – Energia Incidente em função da variação das distâncias de trabalho do Caso 1

	1/4D	1/2 D	D	2D	4D
BUS BT-01	17,59	4,40	1,10	0,27	0,07
BUS BT-02	21,57	5,39	1,35	0,34	0,08
BUS BT-03	19,40	4,85	1,21	0,30	0,08
BUS BT-04	20,22	5,06	1,26	0,32	0,08
BUS BT-05	6,85	2,47	0,89	0,32	0,12
BUS BT-06	6,29	2,27	0,82	0,29	0,11
BUS MT-01	11,95	6,09	3,10	1,58	0,80
BUS MT-02	11,46	2,86	0,72	0,18	0,04

BUS MT-03	11,94	2,99	0,75	0,19	0,05
BUS MT-04	12,32	3,08	0,77	0,19	0,05
BUS MT-05	12,75	3,19	0,80	0,20	0,05
BUS MT-06	13,91	3,48	0,87	0,22	0,05
BUS MT-07	14,11	3,53	0,88	0,22	0,06
BUS MT-08	14,17	3,54	0,89	0,22	0,06
BUS MT-09	85,00	21,25	5,31	1,33	0,33
BUS MT-10	13,03	3,26	0,81	0,20	0,05
BUS MT-11	12,96	3,24	0,81	0,20	0,05
BUS MT-12	13,68	3,42	0,86	0,21	0,05

Tabela 7 – Energia Incidente em função da variação das distâncias de trabalho do Caso 1

	1/4D	1/2 D	D	2D	4D[m]
BUS BT-01	17,66	4,42	1,10	0,28	0,07
BUS BT-02	21,61	5,40	1,35	0,34	0,08
BUS BT-03	19,44	4,86	1,22	0,30	0,08
BUS BT-04	32,72	8,18	2,05	0,51	0,13
BUS BT-05	12,21	4,40	1,58	0,57	0,21
BUS BT-06	11,31	4,08	1,47	0,53	0,19
BUS MT-01	12,31	6,27	3,20	1,63	0,83
BUS MT-02	11,72	2,93	0,73	0,18	0,05
BUS MT-03	12,22	3,06	0,76	0,19	0,05
BUS MT-04	12,63	3,16	0,79	0,20	0,05
BUS MT-05	13,08	3,27	0,82	0,20	0,05
BUS MT-06	14,33	3,58	0,90	0,22	0,06
BUS MT-07	14,54	3,63	0,91	0,23	0,06
BUS MT-08	14,60	3,65	0,91	0,23	0,06
BUS MT-09	87,81	21,95	5,49	1,37	0,34
BUS MT-10	13,39	3,35	0,84	0,21	0,05
BUS MT-11	13,31	3,33	0,83	0,21	0,05
BUS MT-12	14,08	3,52	0,88	0,22	0,06

Figura 3 – Gráfico da Energia Incidente x Distância de Trabalho (Caso 1)

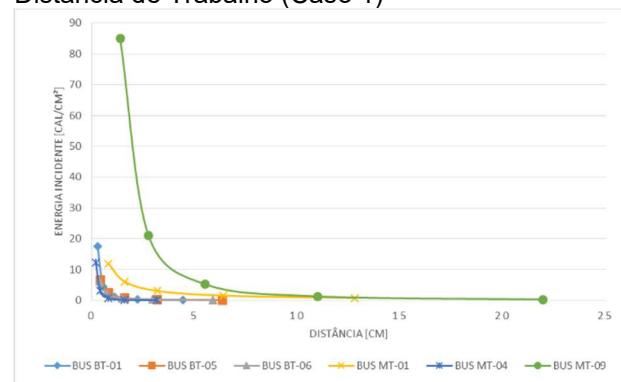
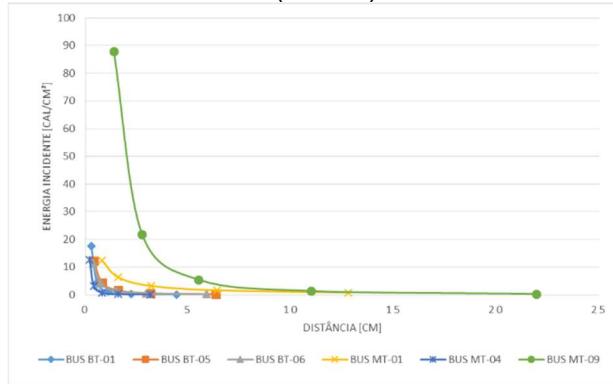


Figura 4 – Gráfico da Energia Incidente x Distância de Trabalho (Caso 2)



B. Energia Incidente x Tempo de Eliminação da Falha

A fim de determinar os efeitos do tempo necessário para eliminação de falha sobre a energia incidente, os valores base foram variados e simulados. Os valores base para cada barra foram definidos por meio da Tabela 2, que sugere tempos típicos de acordo com a barra e a tensão nominal. Os tempos base utilizados por cada barra do sistema em estudo, são apresentados na Tabela 3.

As tabelas 8 e 9 apresentam a energia incidente em cada barra em função da variação dos FCT, para os casos 1 e 2, respectivamente. Com o propósito de ilustrar o comportamento da energia incidente, foram selecionadas algumas barras de diferentes tensões nominais e gerados os gráficos apresentados nas figuras 5 e 6. Por meio dos resultados, é possível observar que a energia incidente é diretamente proporcional ao tempo dos dispositivos de proteção.

Tabela 8 – Energia Incidente em função da variação dos tempos de acionamento do dispositivos de proteção do Caso 1.

	1/4 FCT	1/2 FCT	FCT	2 FCT	4 FCT
BUS BT-01	0,26	0,55	1,10	2,20	4,40
BUS BT-02	0,32	0,67	1,35	2,70	5,39
BUS BT-03	0,29	0,61	1,21	2,42	4,85
BUS BT-04	0,30	0,63	1,26	2,53	5,05
BUS BT-05	0,21	0,44	0,89	1,78	3,56
BUS BT-06	0,20	0,41	0,82	1,63	3,27
BUS MT-01	0,78	1,55	3,10	6,20	12,40
BUS MT-02	0,18	0,36	0,72	1,43	2,86
BUS MT-03	0,19	0,37	0,75	1,49	2,98
BUS MT-04	0,19	0,38	0,77	1,54	3,08
BUS MT-05	0,20	0,40	0,80	1,59	3,19
BUS MT-06	0,22	0,43	0,87	1,74	3,48
BUS MT-07	0,22	0,44	0,88	1,76	3,53

BUS MT-08	0,22	0,44	0,89	1,77	3,54
BUS MT-09	1,33	2,66	5,31	10,62	21,25
BUS MT-10	0,20	0,41	0,81	1,63	3,26
BUS MT-11	0,20	0,40	0,81	1,62	3,24
BUS MT-12	0,21	0,43	0,86	1,71	3,42

Tabela 9 – Energia Incidente em função da variação dos tempos de acionamento do dispositivos de proteção do Caso 2.

	1/4 FCT	1/2 FCT	FCT	2 FCT	4 FCT
BUS BT-01	0,26	0,55	1,10	2,21	4,41
BUS BT-02	0,32	0,68	1,35	2,70	5,40
BUS BT-03	0,29	0,61	1,22	2,43	4,86
BUS BT-04	0,49	1,02	2,05	4,09	8,18
BUS BT-05	0,38	0,79	1,58	3,17	6,34
BUS BT-06	0,35	0,73	1,47	2,94	5,87
BUS MT-01	0,80	1,60	3,20	6,39	12,78
BUS MT-02	0,18	0,37	0,73	1,46	2,93
BUS MT-03	0,19	0,38	0,76	1,53	3,06
BUS MT-04	0,20	0,39	0,79	1,58	3,16
BUS MT-05	0,20	0,41	0,82	1,64	3,27
BUS MT-06	0,22	0,45	0,90	1,79	3,58
BUS MT-07	0,23	0,45	0,91	1,82	3,63
BUS MT-08	0,23	0,46	0,91	1,82	3,65
BUS MT-09	1,37	2,74	5,49	10,98	21,95
BUS MT-10	0,21	0,42	0,84	1,67	3,35
BUS MT-11	0,21	0,42	0,83	1,66	3,33
BUS MT-12	0,22	0,44	0,88	1,76	3,52

Figura 5 – Gráfico da Energia Incidente x Tempo de Eliminação da Falha (Caso 1)

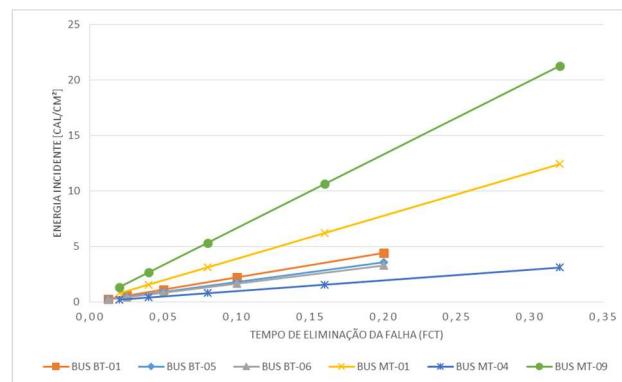
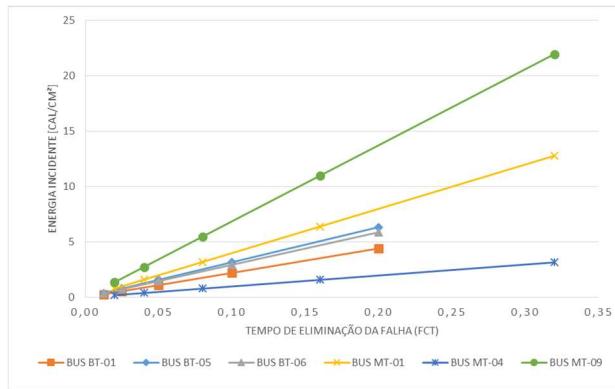


Figura 6 – Gráfico da Energia Incidente x Tempo de Eliminação da Falha (Caso 2)



O tempo de eliminação das falhas pode ser reduzido por meio de uma revisão das configurações dos dispositivos de proteção, assim como a substituição de alguns dispositivos por outros mais eficientes, resultando assim em menores níveis de energia [6].

5.0 – CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou o estudo de arco elétrico e energia incidente para parte de um sistema elétrico típico de uma plataforma tipo FPSO. Foram realizadas simulações para dois casos de operação: no caso 1 funcionam somente os geradores principais ligados ao painel de 11 kV e, no caso 2, há a entrada concomitante dos geradores de emergência.

A fim de se determinar os parâmetros sensitivos à energia incidente para o estudo de caso proposto, o sistema elétrico foi modelado e simulado para obtenção dos efeitos mais significativos. Pode-se observar que a energia incidente possui relação indireta com a variação da distância de trabalho e direta com a variação do FCT: com o aumento da distância em relação ao equipamento, a energia incidente diminui e com o aumento do tempo do dispositivo de proteção, o nível de energia incidente é elevado. Observa-se que para o caso 2 os níveis de energia incidente foram mais elevados, com aumento maior nas barras BUS BT-05 e BUS BT-06, onde os geradores de emergência são conectados. Estas barras apresentaram maiores variações na energia incidente com as alterações na distância e tempo de atuação.

7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NFPA Website. [Online]. Available: <http://www.nfpa.org/>.

[2] Lee, R.H. The other electrical hazard: Electric arc blast burns. *IEEE Transactions on industrial applications*, n. 3, p. 246-251, 1982.

[3] Das, J., *Arc flash hazard analysis and mitigation*, Vol. 91. 2012: John Wiley & Sons.

[4] IEEE Std. 1584. “IEEE Guide for performing arc-flash hazard calculations”, 2002.

[5] Ministério do Trabalho e Emprego. “Norma Regulamentadora n.10 (NR-10)”, Segurança em instalações e serviços em eletricidade. Brasília, 2004.

[6] Khan, A., *Investigation of the effects of critical incident energy parameters using ETAP to reduce arc flash hazards*. In: 2018 1st International Conference on Power, Energy and Smart Grid (ICPESG), IEEE, 2018, Mirpur. Anais. Pakistan, 2018.



VIII IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

Metodologia de teste e supervisão dos relés de arco utilizada na planta industrial da Vale Itabira – Usina Conceição II

Paulo Henrique Vieira Soares
Vale S.A.
paulo.vieira.soares@vale.com

Keli Cristine Silva Antunes
UNIFEI
kelicsantunes@gmail.com

Gilcimar Estavam Jacome
Vale S.A
gilcimar.jacome@vale.com

Paulo Marcio da Silveira
UNIFEI
pmsilveira@unifei.com

Thiago Henrique Pereira
Vale S.A
thiago.henrique.pereira@vale.com

Vicentino J. Pinheiro Rodrigues
Vale S.A
vicentino.rodrigues@vale.com

Aurélio L. M. Coelho
UNIFEI
aurelio.eng@gmail.com

Felipe Monteiro
Vale S.A
Felipe.monteiro@vale.com

RESUMO

Os relés de arco apresentam-se como uma das soluções para redução da energia incidente, proteção dos equipamentos e aumento da segurança das pessoas. Uma vez adquirido e instalado conforme definição do projeto, garantir a integridade e disponibilidade do equipamento durante o dia-a-dia da operação é um fator crucial. Com este intuito, busca-se procedimentos de teste que possam ser aplicados com o mínimo de intervenção no sistema. Este artigo visa apresentar como são realizados os testes nos relés de arco durante as paradas da usina Conceição II em Itabira, além de abordar as rotinas e os procedimentos utilizados para garantia do funcionamento correto do equipamento. Por fim será apresentada a funcionalidade de supervisão e “controle” remoto do ativo desenvolvido pela equipe, o qual garante o monitoramento online de falhas no equipamento (interna, no sensor ou rompimento da fibra ótica) e atuação (TRIP) do relé de arco por meio do sistema supervisório da planta.

1.0 – INTRODUÇÃO

As ocorrências de faltas no sistema elétrico acompanhadas da formação de arco, representam riscos aos trabalhadores e à instalação, pois podem gerar queimaduras graves ou até mesmo fatalidades. De forma a quantificar o calor liberado com a formação do arco elétrico, são utilizadas

metodologias de cálculo de energia incidente que possibilitam determinar as distâncias de segurança e os equipamentos de proteção necessários. Sabe-se que a redução do tempo de atuação da proteção é a forma mais simples de atuar na redução da energia incidente. Assim, a evolução dos dispositivos eletrônicos inteligentes (IED's) e a padronização do processo de automação do sistema elétrico, pela norma IEC61850, podem resultar na melhoria dos tempos de atuação das proteções do sistema [1]. Nesse sentido, o emprego dos relés de arco contribui para redução da energia incidente e os perigos associados.

Cada novo ativo instalado e em funcionamento necessita de manutenção e testes periódicos que atestem o seu correto funcionamento. Nesse contexto, este artigo apresenta os procedimentos básicos para teste do relé de arco e a telas desenvolvidas, no sistema de automação de subestações (SAS), para supervisão e monitoramento online de atuação e falha nos relés de arco.

Os resultados e conclusões são apresentados com base na condição existente do ativo (relé de arco) funcionando sem o monitoramento remoto comparado ao cenário atual, onde o equipamento é monitorado em tempo real.

2.0 – PROJETO CONCEIÇÃO II

Em 2010 a Vale iniciou, em Itabira (berço da empresa), a construção de sua primeira usina de beneficiamento de itabirito compacto. A usina Conceição II (CE II), foi concebida utilizando tecnologia de ponta e equipamentos de diferentes fabricantes. Para possibilitar a operação da planta foi necessário construir uma subestação principal de 230kV (Itabira IV conectada ao SIN – Sistema Interligado Nacional) e oito subestações secundárias de 13.8kV. A partir de 2013, começa a operar a Usina Conceição II (Figura 1) e as Usinas Cauê e Conceição I estavam passando por adequações. Este trabalho marca a “terceira onda” do minério de ferro em Itabira e foi fruto de um estudo iniciado no começo dos anos 2000, para o aproveitamento do itabirito compacto com baixo teor de ferro [2].



Figura 1 – Planta de beneficiamento - Conceição II

O projeto das novas subestações teve como premissa a utilização da norma IEC61850. Visando a segurança das pessoas e das instalações, diversos dispositivos foram implementados no projeto. Limitadores de curto entre os barramentos da subestação principal, resistor de aterramento no neutro do transformador, seletividade lógica utilizando IED's e painéis certificados são algumas das medidas adotadas.

As novas subestações (9 no total) foram integradas ao SAS Itabira existente, totalizando um acréscimo de aproximadamente 180 IED's no sistema. Possibilitando assim o monitoramento e acompanhamento de todos os disjuntores principais de entrada de 0,48kV, 4,16kV, 13,8kV até chegar à subestação principal de 230kV ilustrada na Figura 2.

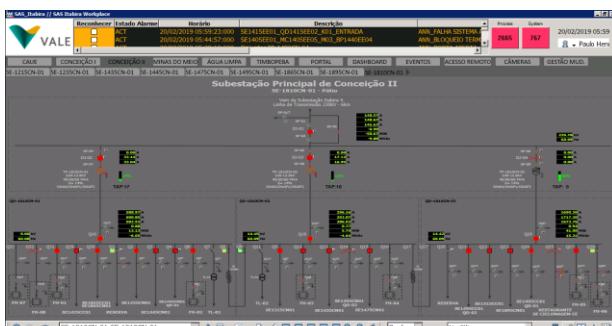


Figura 2 – Subestação principal (230kV)

Neste contexto destaca-se os 28 relés de arco existentes na planta. O relé de arco é um importante equipamento de proteção e um dos principais meios de redução da energia incidente. A Figura 13 mostra os relés de arco instalados em: Quadro de distribuição de 13.8kV (1); Centro de Controle de motores de 4.16kV (2); Centro de controle de motores de 0.48kV (3); E painéis com cargas auxiliares alimentadas pela rede ou gerador (4).



Figura 3 – Relé de arco

3.0 – ARCO ELÉTRICO

A formação do arco elétrico ocorre quando a ionização do ar é suficiente para permitir a passagem da corrente elétrica através deste meio. Sua temperatura pode chegar a elevados valores (20.000°) mesmo que sua ocorrência seja de curtíssima duração (menos de 1s) [2]. Lesões podem ser causadas por inalação de gases, luz ofuscante, estilhaços, deslocamento de ar e radiação térmica durante a ocorrência do arco elétrico [3].

A Figura 4 ilustra os tempos de duração de um arco elétrico e as consequências [4]. Sendo que quanto maior for a duração do arco, piores serão os defeitos causados à instalação.

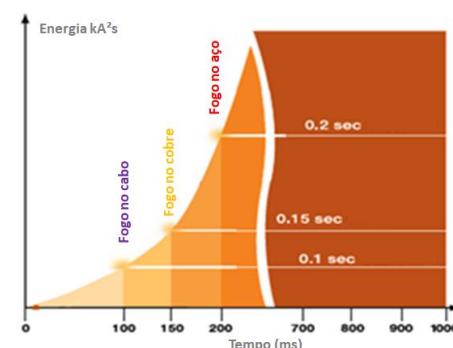


Figura 4 – Duração e consequência do arco elétrico

3.1 – INSTALAÇÃO DO RELÉ

A atuação de desligamento por arco elétrico (TRIP) acontece quando tem-se a elevação de corrente somada à incidência de luz sobre os sensores [5]. Por projeto, caso ocorra um arco elétrico, o relé atua desligando o disjuntor da entrada e o disjuntor à montante, retirando assim a fonte de energia do curto-circuito.

Na Figura 5, o relé de arco (M1) recebe os sinais de corrente do circuito (3I) e monitora o sinal de luz através da fibra ótica. Em caso de arco, o desligamento do disjuntor de entrada Q2 é realizado pela saída HSO 1 e o disjuntor à montante é desligado pela HSO 2 conforme configuração do equipamento. Os sinais de IRF (falha) e TRIP 3 (relé atuado) podem ser utilizados para sinalização externa, por exemplo, através de LED (*Light Emitting Diode*) na porta do painel para facilitar a visualização do operador.

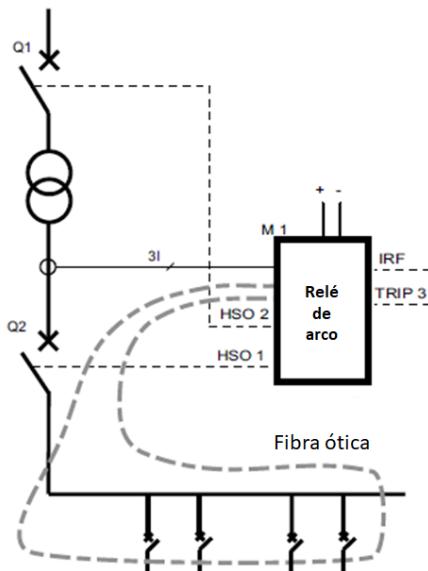


Figura 5 – Diagramação de interligação

3.2 – CONFIGURAÇÃO DO RELÉ

A Figura 6 mostra uma representação genérica do frontal do relé de arco onde é possível ver: Indicação de TRIP (1); Indicação de falha interna ou nos sensores (2); Botão para *reset* da falha/atuação (3); Chave de seleção entre atuação por luz ou luz e corrente (4); Ajuste da sensibilidade (5); Configuração do equipamento (6). O item 6 não será abordado neste trabalho, pois se trata da configuração de cada relé para atender as necessidades das instalações e o estudo de seletividade. Assumiremos que o dispositivo está configurado com $1,5 \times In$, nível de referência da luz automática e que não serão utilizadas unidades extensoras, apenas a unidade principal.

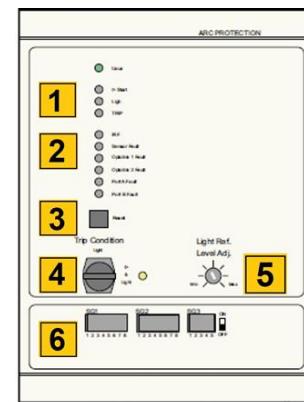


Figura 6 – Frontal do relé de arco

Localmente, todas as vezes que a proteção de arco atuar, um LED vermelho de TRIP acenderá (1), caso o equipamento apresente defeito interno ou encontre falha durante o teste de integridade da fibra ótica, um LED vermelho de IRF (falha) acenderá indicando falha (2), e para que o operador possa reconhecer a falha é necessário pressionar o botão reset em (3). A chave (4) é mantida na horizontal, garantido que o equipamento atue somente na presença de luz e corrente e o ajuste de sensibilidade (5) em 50%.

3.3 – TESTE DO RELÉ

Para avaliar a integridade dos equipamentos, a equipe de manutenção realiza testes nos relés durante a parada geral da Usina. Para realização dos testes, era comum proceder conforme a seguir:

1. Colocar a chave de seleção na posição “somente luz”, não sendo necessário a presença de corrente;
2. Reduzir o ajuste de sensibilidade para o valor mínimo;
3. Desconectar a fibra ótica da entrada do relé;
4. Ativar o flash de um smartphone direto na entrada do relé.

Após essa sequência, o relé atua TRIP e desliga o disjuntor. Vale destacar que após o passo 3 é necessário realizar o passo 4 imediatamente, pois no próximo ciclo de verificação da fibra, o relé perceberá que a mesma “rompeu”, sinalizando falha IRF. A figura 7 ilustra as etapas do teste.

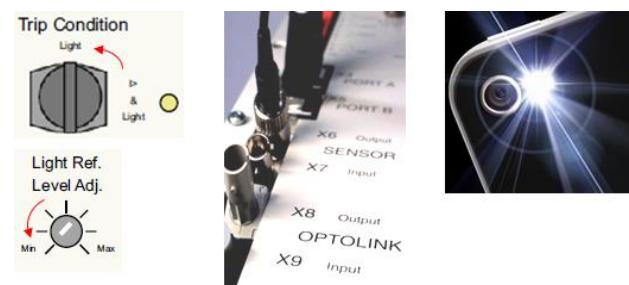


Figura 7 – Teste de atuação utilizando luz

Para realizar o teste completo é necessário abrir o circuito de corrente que interliga os sinais

secundários do TC (transformador de corrente) à entrada do relé. Após isto simula-se os valores secundários utilizando uma mala de testes.

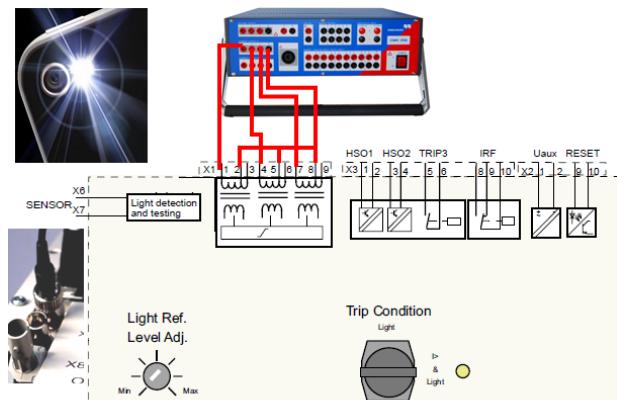


Figura 8 – Teste de atuação utilizando luz e corrente

Durante os testes, foi verificado que a utilização de uma câmera fotográfica (antiga) com flash, como a ilustrada na Figura 9, é suficiente para fazer com que o relé atue. Isso dispensa as etapas 2 e 3 referentes à retirada da fibra ótica e a redução da sensibilidade respectivamente.



Figura 9 – Câmera fotográfica

Na Figura 10, à esquerda, é possível visualizar na parte inferior a câmera fotográfica posicionada antes do teste. À direita, o flash sendo disparado, simulando o arco e provocando o desligamento (TRIP) do disjuntor de entrada da barra.



Figura 10 – Teste de atuação utilizando luz e câmera fotográfica

4.0 – MONITORAMENTO

A condição dos relés de arco pode ser monitorada remotamente através de um *workstation* (estaçao de trabalho) presente em diversos pontos da planta, tais como na sala da equipe de elétrica corretiva, equipe de alta tensão e na engenharia de automação. Os sinais de IRF (falha interna) e TRIP 3 são interligados, via cabo, à uma entrada digital do IED conforme Figura 11. Também é possível notar a existência de uma saída digital do IED conectada ao relé de arco para possibilitar o reset remoto via sistema supervisório.

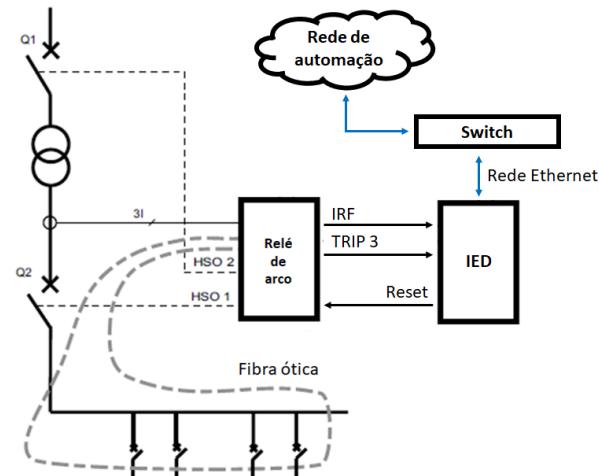


Figura 11 – Monitoramento do relé de arco

O valor (0 ou 1) da entrada digital do IED é enviado, via rede, aos servidores do sistema supervisório que, de posse da informação, indica em uma tela de visão geral o *status* de cada relé de arco conforme Figura 12. Caso as condições monitoradas estejam normais, a indicação será verde. A cor preta se refere ao equipamento sem comunicação (IED).



Figura 12 – Tela de visão geral dos relés de arco no SAS

Na ocorrência de um TRIP ou Falha, a sinalização é feita na cor vermelha e o alarme é exibido na lista de alarmes e eventos (1) conforme Figura 13.



Figura 13 – Tela de visão geral dos relés de arco no SAS

Na tela específica, mostrada na Figura 14, é possível acompanhar os 28 relés de arco presentes na planta de Conceição II e mais 11 relés de arco da Usina Conceição I. Na parte superior da figura é apresentado um equipamento com defeito e na parte inferior a falha foi normalizada.



Figura 14 – Tela específica

Ao clicar no equipamento, uma *faceplate* é aberta conforme Figura 15. Nela é retratado, de forma idêntica, o frontal do equipamento presente em campo.



Figura 15 – Faceplate relé de arco normal

Na Figura 16, é possível visualizar que, caso ocorra uma falha, será indicado na *faceplate* o LED IRF (vermelho). Essa condição habilita o botão reset e uma caixa de texto com a mensagem “Antes de Resetar verifique o motivo e a integridade dos equipamentos”.

Caso o usuário pressione a tecla reset, ele estará resetando o dispositivo em campo.



Figura 16 – Faceplate rede de arco com falha

5.0 – CONCLUSÕES

Conforme apresentado no artigo, a instalação dos relés de arcos é uma ação importante para aumentar a segurança nas instalações elétricas por meio da redução do valor de energia incidente.

A presença do relé de arco nos painéis, demanda da equipe de manutenção expertise sobre o assunto e a realização de testes periódicos para avaliar o funcionamento do ativo.

O trabalho buscou apresentar de forma clara e sucinta as etapas inicialmente adotadas para teste dos relés e os artifícios necessários. Mostrou também a evolução dos testes, que resultou em um método mais simples utilizando uma câmera fotográfica e mantendo as configurações iniciais do ativo, suprimindo, se necessário, apenas a entrada de corrente.

A adaptação da câmera para possibilitar o uso com a mala de teste está em análise e se mostra interessante, pois possibilita realizar o teste de atuação do flash usando uma saída digital da mala de teste e medir o tempo de retorno do sinal de TRIP e de abertura do disjuntor.

Como próximos passos, pretende-se especificar e adquirir um acessório (flash) para mala de teste, possibilitando realizar testes de corrente e luz no relé de arco sem a necessidade da câmera fotográfica.

Por fim, a disponibilização dos sinais no sistema de automação da planta possibilitou um monitoramento online e confiável dos ativos, fornecendo ao usuário uma visualização rápida e remota sobre a condição de falha ou atuação do relé de arco.

7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. S. Antunes, Keli; B. Borges, LARA; L. M. Coelho, Aurélio; O. Passo, Frederico; M. Silveira, Paulo, "Seletividade e interoperabilidade segundo a norma IEC61850 - Uma abordagem sobre energia incidente" XXII Congresso Brasileiro de Automática, Setembro 2018.
- [2] R. H. Lee, "The Other Electrical Hazard: Electrical Arc Blast Burns," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-18, no. 3, Maio/Junho 1982, pg. 246-251.
- [3] D. R. Doan, R. A. Sweigart, "A Summary of Arc Flash Energy Calculations," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 39, no. 4, Julho 2003, pg. 1200-1204.
- [4] ABB. Medium voltage products – Catalogue TK 541/05 UFES™ Ultra-Fast Earthing Switch. Acessado em 19/04/2019 de: https://library.e.abb.com/public/ee1d0ccf824e4c00b54f030b8d1bcc11/UFES_Leaflet%202459_EN_V04.15.pdf
- [5] ABB. REA 101 Arc Protection relay – Operatiors manual. Acessado em 19/04/2019 de: https://library.e.abb.com/public/8ded070f2494b38ec2257036003ad165/REA101_oper_751003_ENf.pdf



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

ARCO ELÉTRICO – UM RISCO À SER GERENCIADO

Ricardo Carvalho	Eliton Ronaldo Geroldo
Diagnerg soluções e normatização elétrica	Diagnerg soluções e normatização elétrica
ricardo@diagnerg.com.br	eliton@diagnerg.com.br

RESUMO

O entendimento do conceito da gestão de riscos em serviços com eletricidade torna-se condição fundamental para que a implementação das medidas de controle necessárias para eliminação ou redução dos riscos elétricos sejam eficazes. A gestão dos riscos em instalações elétricas deve abordar de maneira sistemática os riscos a que os profissionais autorizados estão expostos. O objetivo deste artigo é apresentar a metodologia adequada para a aplicação do processo de gerenciamento de risco do arco elétrico, desde a elaboração do escopo de contratação, etapas de levantamento, cálculos realizados, entrega final do estudo de avaliação de risco de arco elétrico e manutenção das medidas de controle adotadas no estudo.

1.0 – INTRODUÇÃO

Do ponto de vista técnico, legal e acima de tudo visando a segurança e saúde dos profissionais autorizados, a avaliação de risco do arco elétrico é uma medida de controle indispensável. De acordo com os textos normativo da NR 10 no subitem 10.2.4 alínea (c), um dos itens que compõe o Prontuário das Instalações Elétricas – PIE é a “Especificação dos equipamentos de proteção... individual...”, o item 10.2.9.2 menciona “As vestimentas de trabalho devem ser adequadas às

atividades, devendo contemplar a inflamabilidade...” [1].

Ao fazer referência as vestimentas de trabalho usando a expressão “devem ser adequadas”, entende-se que este objetivo poderá ser alcançado somente através de um processo de avaliação de risco do arco elétrico, seguindo um raciocínio exegético do item 10.2.9.2 incorreríamos a seguinte pergunta: O que é uma vestimenta adequada ao trabalho? A resposta pode ser obtida no próprio texto da NR 10 – item 10.1.2 “...observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis” [1].

Conforme orientação do texto mencionado acima, em função da inexistência de material normativo nacional que aborde sobre o tema de gerenciamento de risco do arco elétrico, devemos recorrer a metodologia e recomendações preconizadas pelas normas NFPA 70E - Standard for Electrical Safety in the Workplace [2], IEEE Std 1584.1-2013 - IEEE Guide for the Specification of Scope and Deliverable Requirements for an Arc-Flash Hazard Calculation Study in Accordance with IEEE Std 1584-2018 [3] e IEEE Std 1584-2018 - IEEE Guide for performing Arc Flash Hazard Calculations [4].

ARCO ELÉTRICO – UM RISCO À SER GERENCIADO

De acordo com a definição da NBR ISO/IEC 31010 - item 4.3.1 [5], “O processo de avaliação de riscos não é uma atividade autônoma e convém que seja totalmente integrado aos outros componentes do processo de gestão de riscos”. Seguindo a lógica do processo de avaliação de risco conforme mencionado no item descrito acima, o êxito do trabalho somente poderá ser atingido se todos os componentes do processo atuarem de maneira integrada. Desse modo, o intuito deste artigo é apresentar que a avaliação de risco do arco elétrico não se resume somente na realização dos cálculos, apresentação da tabela com os resultados e qual Equipamento de Proteção Individual - EPI utilizar. O EPI é parte do processo da avaliação de risco e não a sua conclusão. A efetividade da gestão deste risco engloba todas as etapas: Escopo de contratação, levantamento de dados, cálculos realizados, cenários considerados, entrega final do estudo e manutenção das medidas de controle recomendadas.

2.0 – PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE RISCO DO ARCO ELÉTRICO

O início do processo de avaliação de risco do arco elétrico deve ser baseado nas etapas descritas na figura 1 da NBR ISO/IEC 31010 [5] e anexo F da NFPA 70E [2].

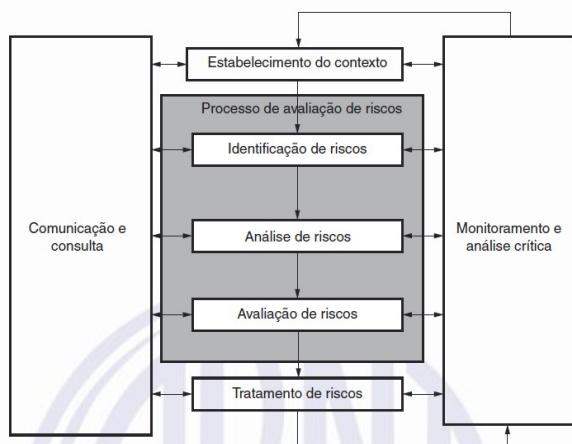


Figura 1 – Contribuição do processo de avaliação de riscos para o processo de gestão de riscos

Conforme demonstrado na figura 1, a etapa do estabelecimento do contexto define os parâmetros para a gestão de risco, o escopo e os critérios para o restante do processo. Fica evidente que a definição assertiva do escopo do estudo possibilitará o alcance dos resultados esperado. Os subsídios necessários para a especificação do escopo do estudo são apresentados na IEEE Std 1584.1-2013 [3].

I. Levantamento de dados

De acordo com a IEEE Std 1584.1-2013 seção 5 e 6 [3], a etapa de levantamento de dados em campo consiste na confirmação das características do sistema elétrico. O volume de informação para elaboração do estudo irá depender do tamanho e complexidade do sistema sob avaliação. Para o levantamento de dados duas abordagens são relevantes:

- A existência dos estudos de curto circuito, coordenação e seletividade e o esquema elétrico unifilar atualizados. Convém que as informações presentes nestes documentos correspondam às condições atuais do sistema elétrico, inclusive a manutenção dos ajustes dos dispositivos de proteção, visto que as funções de tempo-corrente são fatores determinantes para o resultado do nível de energia incidente. Mesmo de posse destes documentos é recomendável que o responsável pelo estudo realize uma inspeção no sistema elétrico para validar os dados fornecidos ou verificar alguma particularidade do sistema.
- Caso não dispor da documentação atualizada ou ainda inexistente, todos os dados deverão ser levantados em campo. O item 5 da IEEE Std 1584.1-2013 [3], lista a relação das informações que compõe o levantamento, que vai desde os itens do sistema (transformadores, disjuntores, relés, cabos,

ARCO ELÉTRICO – UM RISCO À SER GERENCIADO

etc.) até a documentação existentes. De acordo com a literatura técnica Proteção e Seletividade em Sistemas Elétricos Industriais, p. 56 a 60 [6], o número de informações levantadas em campo podem passar de 150 itens, este valor pode ser alterado em função do tamanho e complexidade do sistema elétrico. A etapa de levantamento de dados é de fundamental importância, pois informações imprecisas podem resultar em valores de energia incidente não confiáveis.

II. Abrangência do estudo de avaliação de risco do arco elétrico

Conforme IEEE Std 1584.1-2013 item 3.1 [3] e IEEE Std 1584-2018 item 6.2 [4], o estudo de avaliação de risco do arco elétrico deve abranger todos os equipamentos em que existe a possibilidade de exigir serviços ou inspeção enquanto energizados ***sejam de Alta Tensão (> 1000 V c.a.) ou na Baixa Tensão (≤ 1000 V c.a.), (grifo nosso)***. Não podemos tomar conclusões precipitadas sobre a abrangência do estudo de arco elétrico, infelizmente uma prática comum no meio técnico é a realização dos cálculos somente nas entradas do sistema elétrico (Cubículos e QGBTs ou CCMs), de posse dos resultados dos níveis de energia incidente nestes locais “estimam” qual os EPIs a serem utilizados em toda a planta, mesmo não possuindo o conhecimento dos níveis de energia incidente nos conjuntos de manobra e controle instalados a jusante. Quando o nível de energia incidente em um determinado equipamento é desconhecido, três condições podem ocorrer:

- Os profissionais autorizados podem estar totalmente protegidos, nível de energia abaixo dos EPIs utilizados;
- Parcialmente protegidos, nível de energia igual ao limite de proteção dos EPIs; ou
- Totalmente desprotegidos, neste último caso, pode-se custar a perda de uma vida.

III. Modos de operação do sistema elétrico

A quantidade de cálculos e cenários considerados para avaliação de risco do arco elétrico, pode variar de acordo com os modos de operação e comutação do sistema elétrico, conforme a seção 4 da IEEE Std 1584.1-2013 [3], IEEE Std 1584-2018 item 6.3 [4] e IEEE Std 141-1993 figuras 2.1 e 2.5 [7], o sistema pode apresentar duas características distintas representadas nas figuras 2 e 3:

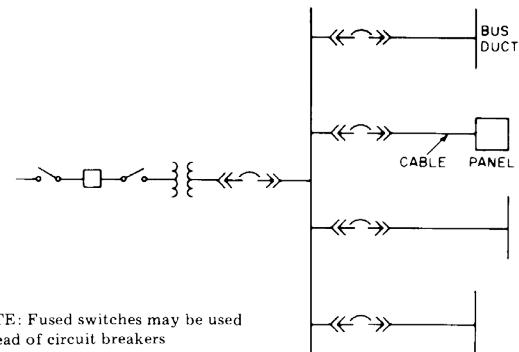


Figura 2 – Sistema simples – operação única

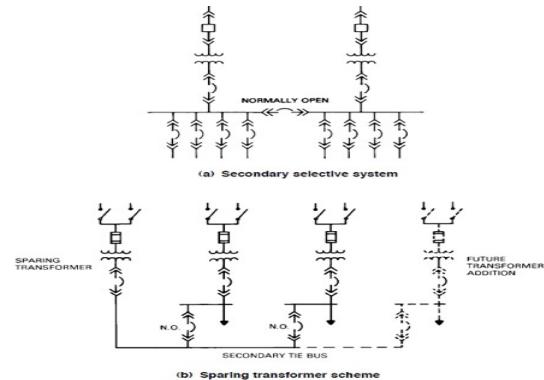


Figura 3 – Sistema complexo – múltiplos modos de operação

Nos locais em que o sistema elétrico for simples, de acordo com o item 6.2 da IEEE Std 1584.1-2013 [3], devem ser realizados dois conjuntos de cálculos, sendo:

- Primeiro considerando a corrente de falta máxima a partir da concessionária com todos os motores com potência maior ou igual a 50 Hp em funcionamento;
- Segundo considerando a corrente de falta mínima a partir da concessionária sem a contribuição destes motores.

ARCO ELÉTRICO – UM RISCO À SER GERENCIADO

Para sistemas complexos podemos encontrar subsídio na literatura técnica Proteção e Seletividade em Sistemas Elétricos Industriais, p. 61 [6] e IEEE Std 1584.1-2013 [3] item 6.2, o profissional responsável pela realização do estudo de energia incidente deve considerar todos os cenários possíveis, desde a possibilidade de funcionamento de transformadores em paralelo, entrada de uma segunda subestação, características de funcionamento de geradores de emergência, tipo de partida de motores com potência superior ou igual a 50 Hp e tipo de operação dos disjuntores de interligação (TIE). Estes modos de operação irão definir a variação dos valores de curto circuito e consequentemente o tempo de abertura dos dispositivos de proteção, a alteração destes parâmetros podem influenciar nos resultados da energia incidente. Ainda de acordo com o item 6.2 “Alguns locais no sistema irão apresentar a maior energia incidente em altas correntes de falha, enquanto em outros locais, menores correntes de falha resultarão em valores de energia incidentes mais elevados”, os resultados dos diferentes níveis de energia incidente devem ser documentados, visto que, em alguns casos, nem sempre o maior nível de energia (pior caso) corresponde ao cenário de operação usual na planta.

IV. Cálculos realizados e cenários considerados

A seção 4 e 6 da IEEE Std 1584-2018 [4], fornece os parâmetros necessários para elaboração da avaliação de risco do arco elétrico, entre os vários pontos relevantes necessários para a elaboração do estudo destacaremos alguns:

- Determinação do local da falha – Cenários Bus, Load side e Line side

A definição do local da falha para o cálculo do arco elétrico, de acordo com o item 8 da IEEE Std 1584.1-2013 [3] e IEEE Std 1584-2018 item 6.10 [4], é imprescindível, visto que, dependendo do

cenário considerado os níveis de energia incidente podem alterar significativamente. A alteração dos níveis de energia ocorre em função da localização da falha, a montante ou a jusante do dispositivo de proteção principal, qual o dispositivo de proteção responsável pela eliminação e qual o tempo de interrupção da falha, ver figura 4.

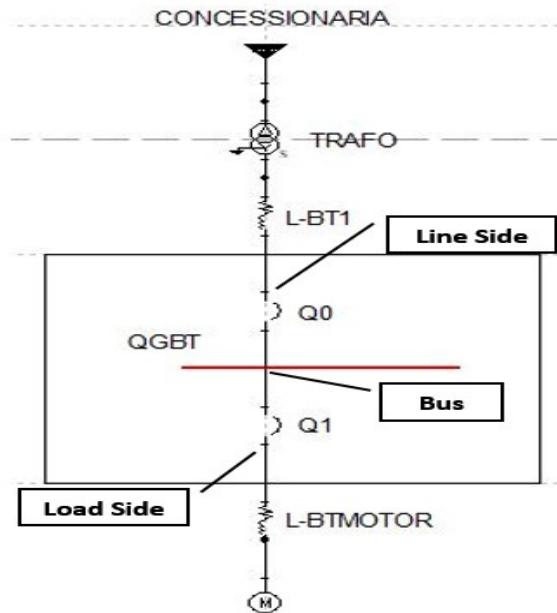


Figura 4 – Cenários Bus + Line Side + Load Side

Quando a falha ocorre no barramento principal (vermelho) do conjunto de manobra e controle, logo abaixo do disjuntor de entrada (Q0), cenário BUS, este dispositivo de proteção é responsável pela extinção da falha.

No cenário Load side a falha ocorre logo abaixo de um dos dispositivos de proteção (Q1) conectados no barramento principal do conjunto, sendo que este dispositivo será encarregado pela eliminação da falha, caso ele não atue a proteção de retaguarda (Q0) deverá atuar.

O cenário Line side consiste na falha que ocorre a montante do dispositivo de proteção geral (Q0). Este tipo de falha geralmente apresenta níveis de energia incidente mais elevados, visto que, a corrente de falta não incidirá sobre o disjuntor (Q0), desse modo, o dispositivo responsável pela eliminação da falha será a proteção instalada acima do disjuntor de entrada, normalmente o

ARCO ELÉTRICO – UM RISCO À SER GERENCIADO

dispositivo a montante possui uma corrente (I) mais elevada e consequentemente o tempo de interrupção da falha será mais longo.

Vale destacar que em alguns casos a energia incidente no cenário Load side apresenta valores superiores ao cenário Line side, esta condição pode ocorrer quando o conjunto de manobra e controle possuir “grandes” motores (≥ 50 Hp) conectados no barramento, ou ainda quando aplicado o cálculo do motor equivalente para um conjunto de motores com potência menor que 50 Hp, conforme IEC 60909-0-2016.

Convém que seja realizado os cálculos considerando todos os cenários (*Bus*, *Line Side* e *Load Side*) de modo que possibilite o conhecimento dos níveis de energia incidente de magnitude mais elevada, ou seja, a condição de “pior caso”, todos os resultados devem ser documentados.

V. Configurações do barramento do equipamento

Uma das principais alterações incluída na revisão da IEEE Std 1584-2018 item 6.6 e tabela 9 [4], estão 5 (cinco) diferentes configurações para o arranjo dos barramentos:

- VCB: Eletrodos verticais, caixa metálica;
- VCBB: Eletrodos verticais terminados em uma barreira isolante, caixa metálica;
- HCB: Eletrodos Horizontais, Caixa Metálica;
- VOA: Eletrodos verticais, ao ar livre;
- HOA: Eletrodos Horizontais ao Ar Livre.

A disposição do barramento deve ser avaliada cuidadosamente, a depender da configuração, os valores de energia incidente podem ser afetados e os resultados obtidos não serem confiáveis, ver tabela 1:

*Tabela 1: Simulação configurações de eletrodos - geradas através do software SKM Power*Tools Version 8.0.3.7 (PTW) [11].*

Nome da barra	Dispositivo de Proteção	Cenário	Configurações do barramento	Tensão (kV)	Distância entre barras ou condutores - Gap (mm)	Distância de Trabalho (mm)	Fronteira do arco	Energia Incidente (cal/cm²)
QGBT	Q0	Bus	VCB	0,38	32	457	833	3,12
	Q1	Load Side	VCB	0,38	32	457	834	3,12
	-	Line side	VCB	0,38	32	457	6160	76,3
	Q0	Bus	VCBB	0,38	32	457	933	4,34
	Q1	Load Side	VCBB	0,38	32	457	933	4,34
	-	Line side	VCBB	0,38	32	457	5451	105,6

Conforme podemos verificar, ao considerarmos duas condições distintas de barramentos (VCB ou VCBB) os níveis de energia incidente no cenário Line side elevam-se em grande proporção. Embora em ambos os casos os níveis de energia necessitem ser tratados, a falta de critério na escolha da configuração do barramento pode levar a soluções superdimensionadas ou insuficientes.

VI. Determinação da distância de trabalho

Outro item de fundamental importância no processo de avaliação de risco do arco elétrico, conforme destacado no item 130.5 (A) (2) da NFPA 70E [2], é a “Estimativa da probabilidade de ocorrência de ferimentos ou danos à saúde...”, a estimativa dos danos causados pelos efeitos térmicos provenientes do arco elétrico está relacionada com a distância de trabalho. De acordo com a IEEE Std 1584-2018 item 6.7 [4], a distância de trabalho corresponde a distância entre a cabeça e o troco do profissional autorizado do ponto da falha, esta distância varia de acordo com a classe de tensão do equipamento, ver figura 5.



Figura 5 – Distância de trabalho

Embora a tabela 10 da IEEE Std 1584-2018 [4], apresente alguns valores que devem ser adotados para definir a distância de trabalho, o profissional

ARCO ELÉTRICO – UM RISCO À SER GERENCIADO

responsável pela avaliação de risco do arco elétrico deve levar em consideração o tipo de atividade, às condições de projeto e de instalação dos conjuntos de manobra e controle, dependendo das condições distâncias alternativas podem ser adotadas.

VII. Relatório e apresentação dos resultados

Após o conhecimento dos níveis de energia incidente, atendendo ao disposto nos itens 110.1 (H) (3) e 130.5 (C) da NFPA 70E [2], deve-se adotar as medidas de controle necessárias para eliminação ou redução dos riscos de queimaduras provocadas pelos agentes térmicos provenientes do arco elétrico. Fica evidente que o objetivo da avaliação de risco do arco elétrico não é somente a especificação dos Equipamentos de Proteção Individual – EPIs, estes também estão incluídos na hierarquia de medidas de controle conforme item 110.1 (H) (3) da NFPA 70E [2] e NR 6 item 6.3 alínea (a), (b) e (c) [9]. No entanto, deve ser priorizado a adoção de medidas que visem a redução dos níveis de energia onde “...razoavelmente possível”.

Com o objetivo de reduzir o nível de energia incidente e garantir maior segurança aos profissionais autorizados a IEEE Std 1584.1-2013 no item 10.2 [3], apresenta 3 (três) grupos de recomendações:

- Simples: soluções de baixo custo, tais como alterações nas configurações de dispositivos de sobrecorrente ou alterações nos fusíveis (tamanho/tipo).
- Moderado: soluções de custo moderado, tais como proteção de sobrecorrente adicional.
- Detalhado: soluções de alto custo, como a instalação de novos equipamentos de distribuição ou retrofit de disjuntores com novas unidades de disparo ou sistemas de controle de relé especiais.

As recomendações moderadas e detalhadas não necessitam ser completas, mas apenas tratar numa abordagem provável para reduzir a exposição à

energia incidente, visto que algumas soluções demandam especificação de projeto e, consequentemente outros fatores deverão ser levantados em campo, devendo fazer parte de um escopo posterior (**grifo nosso**).

VIII. Medidas de controle adicionais

- Especificação dos equipamentos de proteção individual

As medidas de controle adicionais incluem a utilização de EPIs conforme NFPA 70E item 130.5 (C) (3) [2], estes possibilitam a redução dos danos causados pelos agentes térmicos provenientes do arco elétrico. Na especificação dos EPIs deve ficar claro que a proteção só é garantida nos locais onde o ATPV (Arc Thermal Performance Value) for superior ao nível de energia incidente presente no equipamento. Os EPIs deverão ser especificados conforme as prescrições da Tabela 130.5 (G) da NFPA 70E [2], ver figura 6.

Exposição energia incidente	Vestimenta de proteção e EPI
$\geq 1.2 \text{ cal/cm}^2$ até 12 cal/cm^2 Vestimentas e equipamentos com uma classificação de arco igual ou maior do que a energia incidente determinada por cálculo	Camisa e calça ou macacão com classificação de arco (SR) Protetor facial e balaclava ou capuz com classificação de arco (SR)
EPIs adicionais	Luvas de couro resistentes, Luvas com classificação de arco ou luvas isolantes de borracha com protetores de couro (SR) Capacete Óculos de segurança (SR) Proteção auditiva Calçado de couro

Figura 6 - Especificação dos Equipamento de Proteção Individual - EPI

Entre os EPIs relacionados para proteção contra os agentes térmicos provenientes do arco elétrico estão as luvas (de couro resistente ou com classificação de arco – luva com ATPV), para este item cabem duas observações:

1º - No anexo I da NR 6 [9], não está previsto a especificação de luva para proteção contra os agentes térmicos provenientes do arco elétrico, em função disto, até a data de elaboração deste artigo não foi emitido certificado de Aprovação – CA para este equipamento. No entanto, de acordo com o

ARCO ELÉTRICO – UM RISCO À SER GERENCIADO

entendimento do Ministério do Trabalho e Emprego - MTE expresso na NOTA TÉCNICA 146/2015/CGNOR/DSST/SIT [10], item 4 “outros equipamentos ou produtos podem ser destinados à proteção do trabalhador e *indispensável* à execução de suas tarefas, porém, se não listados no Anexo I da NR 6, serão considerados somente produtos de segurança para o trabalho, sem certificação do MTE, não lhes sendo aplicável a designação “equipamento de proteção individual”. Configuram entre estes, por exemplo... *alguns tipos de vestimentas, indispensáveis para a execução segura do trabalho*, porém, não certificados pelo Ministério do Trabalho e Emprego”.

De acordo com a tabela 130.5 (G) da NFPA 70E [2], deve ser provida proteção para as mãos dos profissionais autorizados, visto que as mãos do trabalhador são as partes do corpo mais próxima da fonte do arco elétrico e estão expostas aos níveis mais elevados de energia incidente. Atualmente, existem fabricantes que fornecem luvas com ATPV geralmente acima de 20 cal/cm². 2º - Para a proteção das mãos dos profissionais autorizados conforme NFPA 70E item 130.7 (C) (10) (d) (1) [2], é considerado luva de couro resistente, somente aquelas que atendam as seguintes características simultaneamente:

- a) Ser confeccionada inteiramente de couro e possuir espessura do couro superior a 0,7 milímetros; e
- b) Não possuir forro com componentes inflamáveis ou tecidos que podem ser derretidos.

As luvas que atenderem estas condições, de acordo com a nota informativa constante no item mencionado acima "...demonstraram ter valores de ATPV superiores a 10 cal/cm². " Está claro que não são todas as luvas confeccionadas em couro que provêm a adequada proteção das mãos dos usuários, as características das luvas de couro devem estar documentadas.

Do ponto de vista da segurança, o que deve ser levado em consideração não é somente se o EPI possui CA ou não, mas sim, como será realizada a proteção do colaborador.

- Controle administrativos

O gerenciamento de risco do arco elétrico deve incluir as “Práticas de trabalho adequadas relacionadas com a segurança”, item 130.5 (C) (1) da NFPA 70E [2], esta medida de controle constitui-se no atendimento a 5º (quinta) medida de controle listada no item 110.1 (H) (3) da NFPA 70E [2], entre as medidas de controle administrativas que necessitam ser implementadas, mas não se limitam, estão:

- Manter um programa de segurança de modo sistemático para acompanhamento das alterações ocorridas nas instalações elétrica, com vista a antecipar os riscos e prover futuras revisões do estudo de energia incidente;
- Procedimentos de trabalho para intervenções nas instalações elétricas, considerando a avaliação de risco de choque e arco elétrico e riscos adicionais;
- Planos de manutenção com periodicidade e rotina adequada as instalações elétricas;
- Instrução de uso, guarda e conservação dos Equipamentos de Proteção Individual - EPI e treinamento dos profissionais autorizados.
- Treinamento de segurança obrigatório NR 10 e complementar SEP, personalizados com os riscos existentes nas instalações elétricas.

IX. Sinalização dos conjuntos de manobra e controle

Especial atenção deve ser dada as etiquetas de sinalização, estas necessitam apresentar os valores mais elevados de energia incidente, mesmo este não sendo o modo de operação atual.

O item 9.2 da IEEE Std 1584.1-2013 [3], define que os casos que os diferentes modos de operação apresentares valores de energia incidente

ARCO ELÉTRICO – UM RISCO À SER GERENCIADO

elevados, os conjuntos de manobra e controle podem ser sinalizados com os dois valores, "...modo de geração normal e de espera, ou modo normal e manutenção envolvendo diferentes ajustes do relé". O item 10.10.1 da NR 10 [1], preconiza sobre a necessidade da utilização de sinalização de segurança, entende-se que a sinalização se constitui uma medida de controle administrativa. Desse modo, a qualidade e quantidade das informações são fundamentais. A quantidade das informações necessárias para que as atividades sejam executadas com segurança são apresentados no item 130.5 (H) da NFPA 70E [2], o Projeto de norma - Segurança em eletricidade NBR 16384 item 4.8 [8] também apresenta informações relevantes para a sinalização dos conjuntos de manobra e controle, ver figura 7.



Figura 7 – Etiqueta de sinalização risco de choque e arco elétrico

De acordo com o item 130.5 (H) (3) (a), a indicação do nível de energia incidente (cal/cm^2) na etiqueta, somente pode ser utilizado quando este é determinado por cálculo, caso seja adotado o método de categoria de EPI, conforme tabela 130.7 (C) (15) (a) ou Tabela 130.7 (C) (15) (b) da NFPA 70E [2], a etiqueta deverá mencionar a categoria do EPI de acordo com a tabela 130.7 (C) (15) (c). É necessário atentar-se para a qualidade das informações constantes nas etiquetas, não podemos incorrer ao erro de fornecer uma medida de controle que conflite com a nossa legislação ou ainda com informações em outro idioma ou com

termos não usuais nos EPIs, p. ex. " J/cm^2 " ao invés de " cal/cm^2 ".

X. Entrega final do estudo e manutenção das medidas de controle recomendadas

A entrega final do trabalho não deve ser desprezada, visto que ela conclui o processo de avaliação de risco do arco elétrico. Uma entrega de má qualidade, enviar o relatório por correio, por exemplo, pode comprometer todo o trabalho. O ideal é que o profissional responsável pela elaboração do estudo, realize uma apresentação com a participação dos responsáveis pela gestão da segurança das instalações elétricas, gerentes de manutenção, engenheiros e técnicos de segurança do trabalho, responsável técnico pelas instalações elétricas, profissionais autorizados, entre outros. Nesta apresentação deve ser exposto os parâmetros utilizados no estudo e seus resultados, e as medidas de proteção adotadas e necessárias para que as condições de segurança e os níveis da energia incidente do arco elétrico sejam mantidos. O envolvimento dos profissionais autorizados é indispensável, pois a realização de manutenções indevidas nas instalações como alteração dos parâmetros adotados, compromete os resultados e a eficácia das medidas de controle.

3.0 – CONCLUSÃO

A avaliação de risco do arco elétrico é imprescindível para a manutenção das condições de segurança das instalações elétricas, pois está relacionado intrinsecamente com a segurança e a saúde dos trabalhadores que intervém direta ou indiretamente com as instalações elétricas. A avaliação de risco não pode ser entendida como "volume de documento", ou seja, possuir para atendimento a legislação.

Certamente poderíamos discorrer mais amplamente sobre o assunto, no entanto, não é objetivo deste artigo, nem de longe, esgotar a temática.

ARCO ELÉTRICO – UM RISCO À SER GERENCIADO

Entendo, pelo cenário atual que ainda temos um longo caminho a percorrer, apesar do enorme esforço realizado por grandes profissionais e instituições do nosso País. A intenção é lançar luz sobre a necessidade de dedicar maior atenção ao gerenciamento de risco do arco elétrico e principalmente a adequada aplicação dos conceitos normativos, ante as recorrentes revisões da NFPA 70E [2] e IEEE Std 1584-2018 [4], e conscientizar os profissionais envolvidos na gestão da segurança das instalações elétricas sobre a importância do controle dos riscos com arco elétrico.

[10] NOTA TÉCNICA 146/2015/CGNOR/DSST/SIT. Acessado em 06/05/2019. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_EPI/SST_EPI_CAEPI/NT-N-146-2015-CGNOR-DSST.pdf

[11] SKM Systems Analysis Version 8.0.3.7, Inc. **Arc Flash Reference Manual Electrical Engineering Analysis Software for Windows**. Redondo Beach, Califórnia, 2018.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Manual de auxílio na interpretação e aplicação da nova NR-10*. Joaquim Gomes Pereira e João José Barrico de Souza. Editora LTr, 2005, Rio de Janeiro, RJ.
- [2] *NFPA 70E Standard for electrical safety in the workplace*, 2018.
- [3] *IEEE Std 1584.1-2013 - IEEE Guide for the Specification of Scope and Deliverable Requirements for an Arc-Flash Hazard Calculation Study in Accordance with IEEE Std IEEE 1584-2018*.
- [4] *IEEE Std 1584-2018 - IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations*.
- [5] ABNT NBR ISO/IEC 31010 - Gestão de riscos — Técnicas para o processo de avaliação de riscos, 2012.
- [6] Proteção e Seletividade em Sistemas Elétricos Industriais. Claudio S. Mardegan. Editora Atitude.editorial, 2012, São Paulo, SP.
- [7] *IEEE Std 141-1993 - IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*.
- [8] 2º PROJETO ABNT NBR 16384 - Segurança em eletricidade. (Documento em fase de elaboração).
- [9] IEC 60909-0 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents, 2016.
- [9] Norma Regulamentadora nº 6 - Equipamento de Proteção individual - EPI



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

Aterramento e equipotencialização de subestações

João Gilberto Cunha, MEE
Mi Omega
jcunha@miomega.com.br

RESUMO

Este artigo trata do aterramento de subestações nas instalações de média tensão, destinado a proteger as pessoas contra choques elétricos devido as faltas nos componentes das instalações. A seleção do sistema de aterramento adequado deve ser feita com base na norma brasileira de instalações elétricas de média tensão a ABNT NBR 14039 [1], são apresentadas as opções baseadas nesta norma.

1.0 – INTRODUÇÃO

Uma falta elétrica, entre uma parte energizada e a massa de um componente da instalação elétrica, provoca uma tensão de contato que pode ser perigosa às pessoas que estão nas proximidades ou possam tocar nestas massas. Para que a segurança destas pessoas seja garantida, deve ser adotadas medidas de proteção que impeça o aparecimento de tensões superiores às que possam provocar fibrilação cardíacas (risco inaceitável de dano) nas pessoas que possam estar em contato com estas massas no momento da ocorrência da falta ou que possam estar em contato simultaneamente com duas partes condutoras estranhas às instalações, como por exemplo, estruturas metálicas, portas, janelas, grades de proteção, cercas. A medida de proteção aplicável, segundo a ABNT NBR 14039 [1] é a equipotencialização e seccionamento automático da alimentação.

Para as subestações que estão diretamente no solo esta equipotencialização pode ser obtida pelo aterramento, que é a ligação elétrica intencional com o eletrodo de aterramento, feita para prover a instalação de um potencial de referência e/ou de um caminho de impedância adequada à corrente de falta. Neste último aspecto, o solo deve ser considerado como um elemento do circuito por onde pode circular uma corrente proveniente de

uma falta, sempre em um caminho fechado incluindo a fonte e a carga.

Portanto, do ponto de vista da proteção contra choque elétrico, o objetivo de uma malha de terra (eletrodo de aterramento) é proporcionar uma superfície equipotencial no solo, onde estão colocados os componentes da instalação elétrica e onde as pessoas estão pisando. Esta superfície equipotencial deve garantir que quando ocorrer uma falta entre uma parte viva e a massa não apareça uma diferença de potencial superior a um valor aceitável entre diferentes pontos acessíveis à pessoa.

No caso da subestação que não está diretamente em contato com o solo, como as subestações em interiores de edificação vertical, a equipotencialização não pode ser conseguida pelo aterramento. A equipotencialização deve ser conseguida por outro meio, que deve ser aterrada para garantir o caminho de percurso da corrente de falta para a fonte.

2.0 – ELETRODO DE ATERRAMENTO

O eletrodo de aterramento – termo normalizado na terminologia oficial brasileira – também é conhecido como malha de terra. As características e o desempenho do eletrodo de aterramento devem satisfazer às prescrições de segurança das pessoas e funcionais da instalação. O eletrodo de aterramento é um condutor ou conjunto de condutores enterrados no solo e eletricamente ligados a terra, para fazer um aterramento, que podem ser: natural, que não é instalado especificamente para este fim, em geral as armaduras de aço das fundações e convencional que é instalado unicamente para este fim, como por exemplo, os condutores em anel, as hastes verticais ou inclinadas e os condutores horizontais radiais. Os eletrodos naturais são elementos metálicos, normalmente da estrutura da edificação.

2.1 – ELETRODO NATURAL

Um dos eletrodos de aterramento naturais mais usados é o constituído pelas armaduras de aço embutidas no concreto das fundações das edificações. A experiência tem demonstrado que as armaduras de aço das estacas, dos blocos de fundação e das vigas baldramas, interligadas nas condições correntes de execução, constituem um eletrodo de aterramento de excelentes características elétricas.

No caso de fundações em alvenaria, o eletrodo de aterramento pode ser constituído por uma fita de aço ou barra de aço de construção, imersa no concreto das fundações, formando um anel em todo o perímetro da estrutura. A fita deve ter, no mínimo, 100 mm² de seção e 3 mm de espessura e deve ser disposta na posição vertical. A barra deve ter, no mínimo, 95 mm² de seção. A fita ou a barra deve ser envolvida por uma camada de concreto com espessura mínima de 5 cm.

O uso de eletrodo de aterramento natural nas subestações, normalmente só são adequados para a prover a instalação de um caminho do retorno da corrente de falta.

2.2 – ELETRODO CONVENCIONAL

Os eletrodos convencionais como são produtos especialmente estabelecidos para este fim, podendo ser especialmente fabricado para ser eletrodo como as hastes ou fabricado para outro uso elétrico como o cabo nu e usado como eletrodo. Os eletrodos convencionais estabelecidos nas normas brasileiras estão indicados na tabela 1.

Tabela 1 - Eletrodos de aterramento convencionais

Tipo de eletrodo	Dimensões mínimas	Observações
Tubo de aço zinkado	2,40 m de comprimento e diâmetro nominal de 25 mm	Aterramento totalmente vertical
Perfil de aço zinkado	Cantoneira de (20mmx20mmx3mm) com 2,40 m de comprimento	Aterramento totalmente vertical
Haste de aço zinkado	Diâmetro de 15 mm com 2,00 ou 2,40 m de comprimento	Aterramento totalmente vertical
Haste de aço revestida de cobre	Diâmetro de 15 mm com 2,00 ou 2,40 m de comprimento	Aterramento totalmente vertical
Haste de cobre	Diâmetro de 15 mm com 2,00 ou 2,40 m de comprimento	Aterramento totalmente vertical
Fita de cobre	50 mm ² de seção, 2 mm de espessura e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 m. Largura na posição vertical
Fita de aço galvanizado	100 mm ² de seção, 3 mm de espessura e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 m. Largura na posição vertical
Cabo de cobre	50 mm ² de seção e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 m. Posição horizontal
Cabo de aço zinkado	95 mm ² de seção e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 m. Posição horizontal
Cabo de aço cobreado	50 mm ² de seção e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 m. Posição horizontal

Como nas outras áreas, tais como, nas instalações elétricas de baixa tensão e nos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, nas instalações elétricas de média tensão o eletrodo de aterramento em uma subestação deve constituir de

no mínimo um anel circundando o perímetro da edificação.

O sistema de aterramento de uma subestação é que irá efetivamente garantir a proteção dos usuários contra choque elétrico por contato indireto. O desempenho deste eletrodo deve ser compatível com esta função. Logo, do ponto de vista da proteção dos usuários de uma instalação, o parâmetro mais importante na especificação do eletrodo de aterramento é a tensão de contato. A tensão de contato máxima a que pode ser submetida uma pessoa em uma instalação média tensão é dada na ABNT NBR 14039 [1].

Outra especificação adicional do eletrodo é que valor da resistência de aterramento deve satisfazer às condições de proteção e de funcionamento da instalação elétrica, de acordo com o esquema de aterramento utilizado.

Portanto pode-se estabelecer a seguinte sequência para o projeto do eletrodo de aterramento de uma subestação de média tensão:

- 1.Verificar qual é a máxima corrente de falta;
- 2.Verificar o tempo de eliminação da falta pela atuação da proteção;
- 3.Verificar na curva de tensão de contato x tempo, qual a máxima tensão de contato aceitável;
- 4.Projetar uma malha em função da: corrente de falta, máxima tensão de contato aceitável, resistividade do solo.

Seguindo a sequência dada e usando o método estabelecido na ABNT NBR 15751 [2] para o projeto da malha, o resultado encontrado é o tamanho da malha básica, também conhecida como “mash”, e a espessura de concreto do piso da subestação. A figura 1 ilustra com um exemplo qualitativo a aplicação de um eletrodo de aterramento em uma subestação de média tensão.

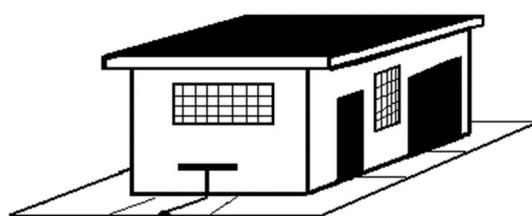


Figura 1 – eletrodo de aterramento em malha de uma subestação

O desempenho deste eletrodo deve ser compatível com a sua função, para isto a ABNT NBR 14039 [1] determina no item 6.4.2.2.1 que o eletrodo de aterramento deve constituir uma malha sob o piso da edificação, no mínimo, um anel circundando o perímetro da edificação. Isto é o mesmo que dizer que as pessoas devem estar sobre o aterramento para que se atenda aos requisitos de proteção contra choque. Do ponto de vista da proteção contra choque dos usuários de uma instalação, o parâmetro mais importante na especificação do

eletrodo de aterramento é a tensão de contato, cujo valor máximo é dado na figura 2..

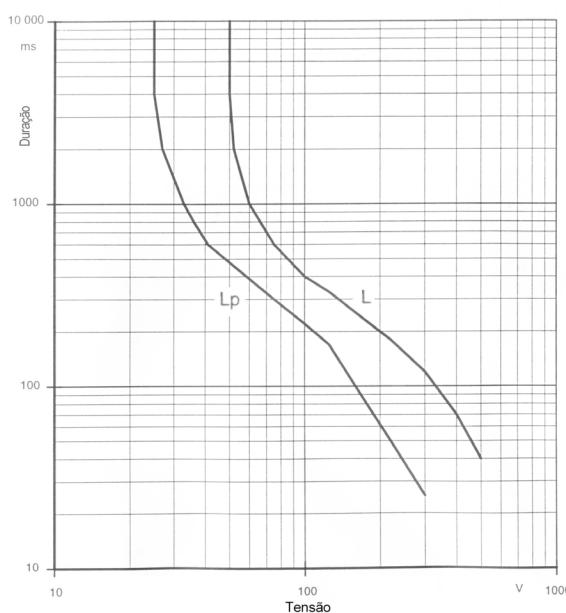


Figura 2 - Duração máxima da tensão de contato presumida

2.3 – MALHA DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

No interior de uma edificação a subestação pode estar no pavimento térreo, em um pavimento inferior ou superior. Do ponto de vista do eletrodo de aterramento o mais importante é se está ao nível do solo ou acima do solo, ou seja, se o piso da subestação está sobre o solo ou sobre uma laje. Quando ela está sobre uma laje o eletrodo de aterramento não consegue garantir a tensão de contato, neste caso a solução é fazer um piso “equipotencial” na subestação, para isto pode se usar a seguinte solução: o piso deve ter uma camada de concreto de espessura não inferior a 20 cm. Dentro desta camada de concreto deve ser colocado uma malha de tela soldada com aço redondo de diâmetro não inferior a 4 mm formando uma retícula não superior a 0,30 x 0,30 m. Esta malha, formada pela tela soldada, será conectada ao eletrodo de aterramento de proteção da SE em no mínimo dois pontos preferencialmente opostos, e será coberto recoberto por uma espessura de concreto não inferior a 10 cm. As massas e os elementos condutivos estranhos à instalação (todas as partes metálicas não destinadas à condução de corrente) da subestação serão conectados a esta malha. Com esta medida se consegue que a pessoa que acessar uma parte condutora que, de forma accidental, pode ser submetida à tensão, esteja situada sobre uma superfície equipotencial, com o que desaparece o risco inerente à tensão de contato ou passo interior.

Esta tela soldada é interligada ao eletrodo de aterramento da edificação, conforme mostra a figura 3.

Como o eletrodo de aterramento não tem mais a função de controlar a tensão do contato, ou seja, manter os seus valores dentro de limites aceitáveis, ele passa a ser o eletrodo de aterramento da edificação, como estabelecido na ABNT NBR 5410 [3] e na ABNT NBR 5419-3 [4]. Podendo ser usado o eletrodo natural ou não natural (convencional).

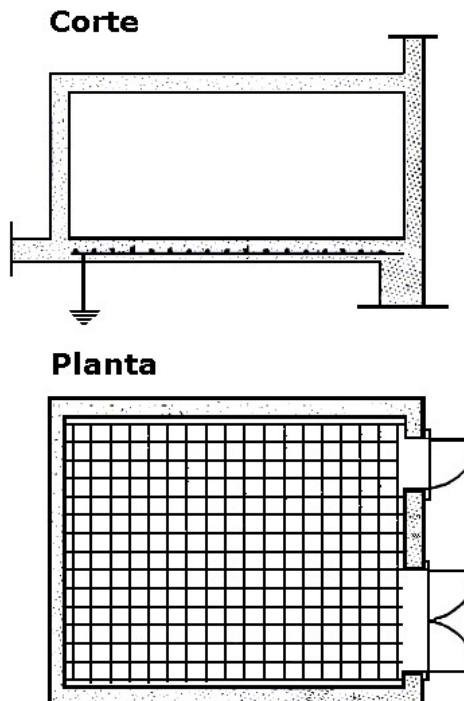


Figura 3 – Malha de equipotencialização no piso da subestação.

3.0 – CONCLUSÕES

A seleção do sistema de aterramento para uma instalação elétrica de média tensão deve ser feita de forma objetiva, para garantir a segurança dos usuários das instalações. A garantia de segurança só pode ser obtida através do controle da tensão de contato, que é um parâmetro objetivo para avaliar o desempenho do sistema de aterramento.

4.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro, 2005. 87 p.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15751: Sistemas de aterramento de subestações - Requisitos. Rio de Janeiro, 2013. 47 p.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004. 209 p.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5419-3: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro, 2018. 51 p.



VIII IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

Transporte e Montagem de Grandes Transformadores de Potência – Riscos e Medidas Preventivas

Manuel Maria Polainas Bolotinha

Mestre em Engenharia Elétrica e Engenheiro Eletricista – Consultor Sênior (Profissão Liberal)

manuelbolotinha@gmail.com

RESUMO

Com base na experiência do autor na construção e fiscalização de montagem de Subestações, apresentam-se neste trabalho os riscos de danos nos transformadores de potência de grandes dimensões durante as operações de transporte e montagem e as medidas e os ensaios a implementar para detectar e minorar aqueles danos.

1.0 – INTRODUÇÃO

Os transformadores de potência são, particularmente nas *Subestações do tipo AIS¹ ou híbridas*, o equipamento mais caro, têm o prazo de entrega mais longo e a sua destruição pode pôr a subestação fora de serviço e causar desequilíbrios na rede elétrica.

Durante o transporte os equipamentos são sujeitos a **vibrações e impactos mecânicos**, particularmente com *mar revolto e estradas em mau estado*.

Devemos ter presente que por questões de peso e manuseamento, os transformadores para tensões a partir de **110 kV** e para potências elevadas são normalmente transportados **sem óleo** (habitualmente são cheios com *nitrogênio ou ar seco*), eventualmente **sem o conservador e sem as buchas**.

As vibrações são **movimentos oscilatórios periódicos**, que podem ter várias origens.

No caso do transporte a experiência mostra que todas as vibrações contêm **mais do que uma frequência**, apesar de um **espectro de frequências**, cada uma com diversas amplitudes.

As vibrações podem atingir a frequência de ressonância e causar a destruição do equipamento.

Se a **embalagem e a fixação da carga não forem adequadas** à amplitude das referidas vibrações e aos impactos mecânicos os equipamentos, particularmente os transformadores, correm o risco de sofrer **danos não visíveis** que podem conduzir à sua destruição.

Erros de montagem dos transformadores podem também produzir **impactos mecânicos** causadores de danos na máquina.

Esta problemática e as suas consequências devem estar presentes não só nos fabricantes, mas também nas companhias de logística e de transporte, nas empresas de montagem e no Dono da Obra.

Neste trabalho procura-se dar uma perspectiva dos **danos causados, das medidas preventivas a implementar e dos ensaios a realizar** para a **detecção atempada** dos danos não visíveis antes da entrada em serviço dos transformadores.

2.0 – POSSÍVEIS DANOS

Os **principais danos** causados pelas vibrações são:

- Desintegração de alguns materiais.
- Aumento da rigidez dos metais.
- Micro fissuras.

Se os transformadores não forem devidamente **embalados e fixados**, eventuais **impactos mecânicos** podem danificá-los.

Impactos mecânicos com uma força superior à **força equivalente a 3g** (**g** é a aceleração da gravidade – $9,81 \text{ m/s}^2$) Podem causar danos visíveis e não visíveis no transformador, tais como:

¹ AIS: Air Insulated Substation.

- Deterioração do revestimento da cuba e dos radiadores (quer sejam galvanizados a quente ou pintados com tinta de proteção contra a agressividade do meio ambiente), como se representa na Figura 1, o que *mais tarde ou mais cedo* dará origem a **corrosão**. A deterioração dos radiadores pode também traduzir-se pela sua **rotura**.



Figura 1 – Danos na cuba do transformador

- **Lascas e fissuras nas buchas**, que podem ser *internas*, e/ou **penetração de umidade** ou depósitos de partículas.
- Deslocamento ou distorção do núcleo e/ou dos enrolamentos.
- Danificação da isolação entre espiras, com a consequente probabilidade de **curtocircuitos** durante a operação do transformador.
- Diminuição da força de aperto dos enrolamentos, o que pode *danificá-los* quando se verifica um *defeito externo*.
- Diminuição da distância de isolação entre a cuba e partes em tensão.
- Diminuição do aperto de parafusos.

- Perda da pressão do nitrogênio devido a fugas.

- Contaminação do óleo e de outros materiais **isolantes**, designadamente dos enrolamentos (umidade, poeiras, etc.). Esta contaminação origina o **envelhecimento precoce** daqueles materiais de isolação, que veem **reduzidas as suas propriedades dielétricas**, o que originará **defeitos severos** no transformador e, consequentemente, a **redução da sua vida útil**.

3.0 – MEDIDAS PREVENTIVAS

É recomendável que seja elaborado um **Caderno de Encargos rigoroso** para o *transporte e embalagem* dos transformadores e que sejam seguidos os **procedimentos de transporte** indicados na *Norma IEEE C57.150 Guide for the Transportation of Transformers and Reactors Rated 10000 kVA or Higher* e no documento *Guide on transformer transportation, CIGRÉ, Working Group A2.42, Technical Brochure No. 673, 2017*.

Devem ainda ser utilizados **registradores de impacto** (Figura 2) para avaliar a **magnitude** dos *impactos mecânicos* que os transformadores possam sofrer durante o transporte.



Figura 2 – Registrador de impactos

Após a chegada à obra dos transformadores deve ser realizada uma **inspeção visual** para detectar os **danos visíveis** e realizar em obra os **ensaios (SAT – Site Acceptance Tests)** prescritos nas *normas aplicáveis*, que permitam detectar **eventuais danos não visíveis**.

Os ensaios habitualmente utilizados para este fim são:

- Medida da **tg δ** (perdas dielétricas) das buchas (ver Capítulo 4.0).
- Análise da resposta de frequência (ensaio **SFRA** – Sweep Frequency Response Analysis) – ver Capítulo 4.0.

- Determinação das **capacitâncias** entre cada enrolamento e a terra e entre enrolamentos.
- Determinação das **resistências de isolação CC²**, entre cada enrolamento e a terra e entre enrolamentos.
- Medida das **resistências de isolação CC**, entre o **núcleo** e a terra e entre a estrutura do **núcleo** e a terra (ensaio semelhante à medida das resistências de isolamento CC dos enrolamentos).
- Medida da **corrente de excitação monofásica**.
- Estudo do **balanço magnético** do transformador.

Os resultados dos testes devem ser comparados com os *ensaios realizados em fábrica* (**FAT – Fatory Acceptance Tests**) e daí tiradas as devidas conclusões sobre a existência, ou não, de danos no transformador.

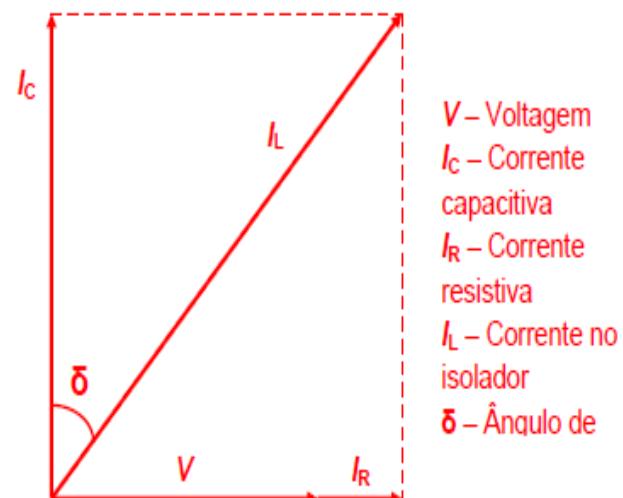
Deve notar-se que os *dois primeiros ensaios* são considerados **ensaios especiais** na Norma IEC 60076 – *Power transformers*, pelo que devem ser **expressamente** indicados na *especificação de compra* dos transformadores.

Já os *três últimos ensaios* não estão **previstos** na Norma IEC 60076, devendo ser realizados de acordo com a Norma IEEE C57.12.00, *General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*.

4.0 – ENSAIOS SEGUNDO NORMA IEC 60076

A determinação das **perdas dielétricas**, ou **fator de dissipação dielétrica (tg δ)** das buchas permite detectar a existência de **fissuras internas** ou de **contaminantes** (umidade, poeiras, etc.).

Num *isolador ideal* a corrente que o percorre é *puramente capacitiva* (I_C), mas os **isoladores reais** não têm uma **pureza a 100%**, o que significa que a **corrente que os percorre** tem uma **componente resistiva** (I_R); as **perdas dielétricas** resultantes desta **componente resistiva** são representadas pela **tg δ**, sendo δ o ângulo entre as duas componentes, por como se representa na Figura 3.



Aquela **componente resistiva** resulta da **existência de impurezas ou danos no isolador**, cuja **rigidez dielétrica** é **inversamente proporcional** a esta corrente.

Da Figura 3 podemos concluir que:

$$\tan \delta = \frac{|I_R|}{|I_C|}$$

Logo se $|I_R|$ aumentar tal significa que a **rigidez dielétrica diminui**; valores da **tg δ** superiores aos admitidos na norma significam que existem **danos ou contaminação** do isolador, no caso presente, as **buchas do transformador**.

Este ensaio, que permite **detectar danos no núcleo e nos enrolamentos**, é habitualmente conhecido como a “**impressão digital**” do transformador, porque **cada enrolamento e o núcleo** apresentam uma **única resposta de frequência**.

Quando são aplicadas **frequências de varrimento** ao transformador, o resultado é uma “**assinatura particular**”.

A importância deste ensaio resulta do fato de transformadores com a **mesma relação de transformação e a mesma potência nominal, construídos da mesma maneira e usando o mesmo tipo de materiais no núcleo, enrolamentos e isolantes**, embora tenham **resposta e “assinatura” similares e muito próximas**, mas **não idênticas**, quando lhes são aplicadas **frequências de varrimento**.

É pois este fato que torna este **ensaio indispensável** para se detectarem **danos, sobretudo os não visíveis**, no transformador entre o **momento de saída da fábrica e a conclusão da montagem**.

² CC: corrente contínua.

O ensaio é realizado aplicando ao transformador uma gama de frequências entre ± 5 Hz³ e ± 2 MHz, como se exemplifica na Figura 4.

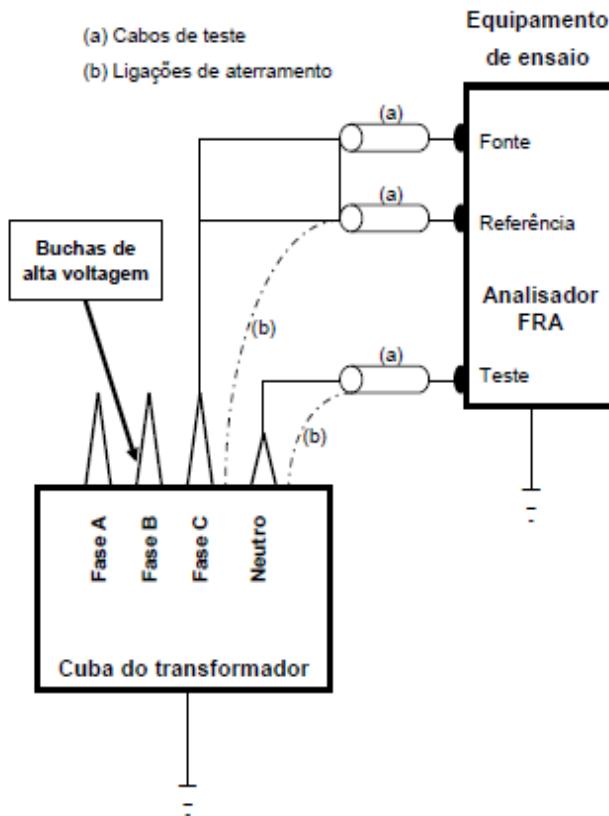


Figura 4 – Ensaio SFRA

A aplicação de frequências entre ± 5 Hz e ± 5 kHz permite detectar os resultados do impacto no núcleo e na gama de frequências entre ± 5 kHz e 500 kHz são aferidos os efeitos na relação entre os enrolamentos e os seus movimentos radiais e geométricos.

Para frequências superiores a 500 kHz detectam-se o impacto dos movimentos axiais dos enrolamentos e das suas ligações internas.

5.0 – OUTROS ENSAIOS

O ensaio da medida das resistências de isolamento CC do núcleo pode ser utilizado para detectar danos, sobretudo se houver um contato entre o núcleo e a terra.

O ensaio da medida da corrente de excitação é utilizado para diagnosticar defeitos secundários nos enrolamentos (curto-circuitos e circuitos abertos), eventuais defeitos à terra do núcleo e ainda defeitos de fabricação.

Se nos FAT não se tiver realizado o ensaio SFRA, deve ser realizada a medida da

³ Hz: hertz (unidade de frequência do Sistema Internacional de Unidades – SI).

corrente de excitação, para avaliar eventuais danos no transformador.

O princípio teórico do ensaio da corrente de excitação é o seguinte (ver Figura 5):

- Aplicando uma baixa voltagem V_1 (400/230 V) num dos enrolamentos primário, nesse enrolamento circula uma corrente de baixo valor – a corrente de magnetização (I_{mag}) – que é corrente necessária para induzir no núcleo um fluxo magnético (Φ_{mag}).
- Com o secundário em vazio, para induzir uma tensão no secundário (V_2), apenas um valor baixo da corrente é necessário – a corrente de excitação (I_{exc}).

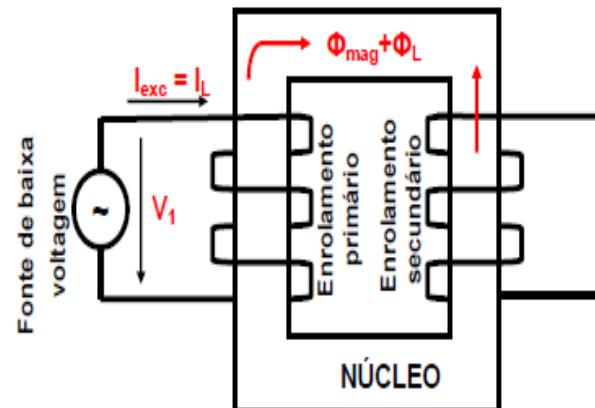


Figura 5 – Diagrama simplificado do ensaio da corrente de excitação monofásica

Comparando as correntes de excitação em vazio obtidas nos FAT e nos SAT, se a diferença entre elas for maior do que a tolerância definida nas normas há uma forte probabilidade de haver um defeito nos enrolamentos (primário e/ou secundário).

Com um transformador em carga o secundário é percorrido por uma corrente I_L .

A relutância magnética da carga cria um fluxo magnético (Φ_L) que tende a opor-se ao fluxo magnético que circula no núcleo.

A corrente primária terá um incremento de I_L , para se opor à relutância da carga, como se representa na Figura 6.

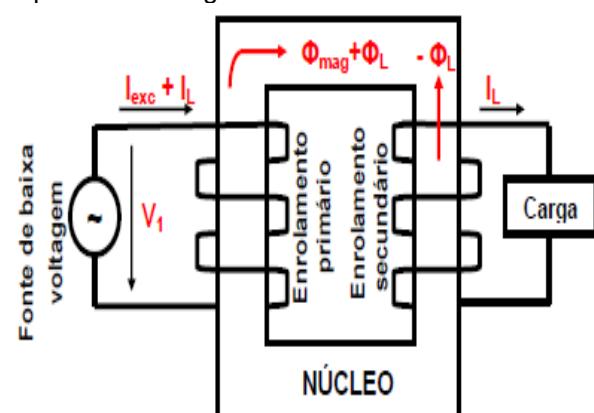


Figura 6 – Correntes no transformador com carga no secundário

Estando o transformador em **vazio**, se ao realizar este teste com **400/230 V** aplicados no **primário** e se a **corrente de excitação** for **maior do que o valor normal**, tal significa que o transformador se comporta como se estivesse em **carga**, resultado de um **curto-círcuito entre espiras do secundário ou de um defeito à terra** deste enrolamento.

Se o **padrão da corrente de excitação não for regular**, tal significa que pode haver **danos no núcleo ou outros problemas** no transformador, os quais **não são passíveis de identificação**.

A análise do **balanço magnético** do transformador **não é um ensaio** que seja usualmente utilizado em *transformadores de alta e muita alta tensão*, mas sim nos transformadores **MT/MT** e **MT/BT⁴**, quer durante a fase de fabrico quer em obra, para detectar eventuais **defeitos nas espiras** dos enrolamentos (**defeitos de isolamento; deformação dos enrolamentos**) ou no **núcleo** (**corrente de magnetização com valores anormais, falhas na fixação da estrutura laminada do núcleo, parafusos e porcas soltas, etc.**).

O procedimento habitual para este ensaio é **aplicar uma baixa voltagem (400-230 V, 50 Hz ou 60 Hz) entre duas fases do transformador (A e B, por exemplo – V_{AB}) e medir a voltagem entre as fases B e C (V_{BC}) e A e C (V_{AC}) e compará-las.**

Caso **não exista defeito** verifica-se:

$$V_{AB} = V_{BC} + V_{AC}$$

Havendo **defeito, provavelmente** teremos:

$$V_{AB} \neq V_{BC} + V_{AC}$$

A **desvantagem** deste ensaio é que os **valores obtidos** são meramente indicativos, **não sendo possível garantir a existência de defeito** no transformador, **sendo necessário recorrer a outros ensaios**.

6.0 – CONCLUSÕES

A utilização de **registrator de impacto** é uma medida preventiva indispensável para avaliar impactos mecânicos anormais durante o transporte dos grandes transformadores de potência.

Os **ensaios** descritos neste trabalho, principalmente o **SFRA**, são um processo de detectar defeitos nos transformadores causados por impactos mecânicos durante as operações de transporte e montagem, garantindo a sua integridade e a segurança dos operadores.

7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bolotinha, Manuel. *Subestações: Projecto, Construção, Fiscalização*. Quântica Editora/Engebook. Janeiro 2019 – 2ª Edição.

⁴ MT: Média Tensão. BT: Baixa Tensão.

[2] Bolotinha, Manuel. *Transformadores de Potência*. Quântica Editora/Engebook. Janeiro 2019.

[3] Bolotinha, Manuel. *Transformer Handling and Transport*. Transformers Magazine, VOL 4, ISSUE 3, July 2017.

[4] Bolotinha, Manuel. *Failures in Electrical Systems, Equipments and Materials*. Novembro 2016 (disponível em: https://issuu.com/manuelbolotinha/docs/failures_ele ct_syst_and_equip._-_07fc3ab1e7ac52).

[5] IEEE C57.150 Guide for the Transportation of Transformers and Reactors Rated 10000 kVA or Higher.

[6] Guide on transformer transportation, CIGRÉ, Working Group A2.42, Technical Brochure No. 673, 2017.

[7] Reykherdt, Dr Andrey A., *Condition Monitoring of Power Transformers*, Select Solutions.



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

O USO SEGURO DOS MULTÍMETROS

Estellito R. Junior
Consultor
estellito@ieee.org

RESUMO

O multímetro é o instrumento de medição mais utilizado pelos profissionais de eletricidade. Apesar de possuir uma interface “intuitiva”, há necessidade de se conhecer suas limitações e as orientações para seu uso seguro.

O trabalho inclui a apresentação de estudo de caso de acidente que resultou em queimaduras graves, contendo fotografias e recomendações para a adoção de medidas preventivas.

1.0 – INTRODUÇÃO

Os multímetros são amplamente utilizados para medir parâmetros elétricos como tensões, correntes e resistências dos circuitos CA e CC. Porém, nem sempre os circuitos elétricos têm uma forma de onda de tensão perfeita e suave. Quando um grande equipamento elétrico é ligado ao sistema, ou um raio atinge as linhas aéreas, picos de tensão de vários milhares de volts poderão ser transmitidos ao longo das linhas de distribuição.

Este trabalho debaterá sobre alguns dos riscos que devem ser considerados na seleção e uso dos multímetros.

2.0 - CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS ELÉTRICOS

Um ponto crítico no uso dos multímetros é que apenas o valor da tensão nominal não é suficiente para indicar o quanto um medidor é protegido contra os picos de tensão transitórios. [1]

Por exemplo, se medirmos a tensão em uma tomada de 240 V, o visor pode mostrar como na Figura 1:



Figura 1: Valor de tensão indicado

Mas o instrumento pode realmente estar recebendo a tensão mostrada na Figura 2:

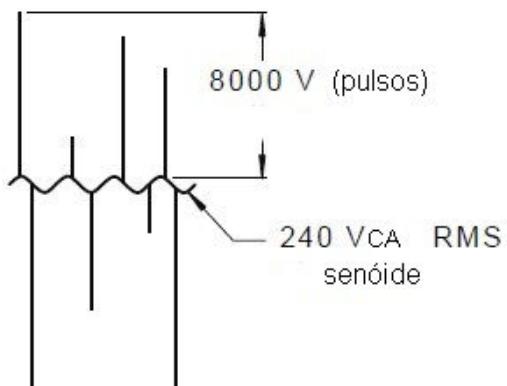


Figura 2: Picos de tensão no instrumento.

Desta forma, os instrumentos de medição devem ser especificados de forma a resistirem às sobretensões suscetíveis de surgir no sistema.

3.0 – ESPECIFICAÇÃO DO MULTÍMETRO

Os multímetros devem ser especificados pelo profissional habilitado conforme as características da tarefa a ser executada, constando na relação de materiais incluída no respectivo procedimento [2]. A responsabilidade pela especificação é grande, como pode ser notada nos termos de garantia destes instrumentos, expressa nos manuais de utilização: “*O fabricante garante que este produto não apresentará defeitos de material nem de mão-de-obra durante o prazo de x meses a contar da data da compra. Esta garantia não cobre fusíveis, baterias ou pilhas descartáveis, ou danos devidos a acidente, negligência, uso inadequado ou condições anormais de operação ou manuseio. Esta garantia é o único recurso do comprador. Não é concedida nenhuma outra garantia, expressa ou implícita, tal como garantia de adequação do produto para um determinado fim.*

Desta forma, para a especificação do modelo adequado, algumas características devem ser definidas, dentre as quais, destacamos:

3.1 - Faixa de medição de correntes

Para medirmos a corrente elétrica em um circuito precisamos colocar o instrumento em série com o mesmo, e o circuito estará energizado.

A grande maioria dos multímetros possui uma faixa de medição na ordem de miliamperes, com valores até 2 A cc, ou até mesmo 10 A cc em certos modelos. Esta faixa sinaliza que a aplicação dos multímetros para medição de correntes é primordialmente em circuitos eletrônicos, e não em circuitos de força de motores industriais, onde a grandeza das correntes é usualmente maior.

3.2 - Faixa de medição de resistências

Todos os multímetros digitais possuem a característica de um único borne de entrada tanto para tensão quanto para resistência.

Para medir a resistência elétrica entre dois pontos, basta conectar as pontas de provas aos mesmos, porém o circuito estará desenergizado. Nos multímetros, a faixa de medição para resistências pode chegar a 2 MΩ, ou até 20 MΩ em certos modelos.

3.3 - Faixa de medição para tensões

Usualmente, os multímetros podem medir tensões até 750 Vca e Vcc. Há modelos com disponibilidade de leitura de valores eficazes (valor médio quadrático, ou “rms”) de tensão alternada, que oferecem maior precisão de leitura.

3.4 - Uso em circuitos Ex i

Se o instrumento for destinado a medições em circuitos de segurança intrínseca, será necessário especificar um multímetro certificado como Ex i, verificando-se suas características com

relação ao conceito de entidade, para manter a integridade do circuito enquanto energizado.

3.5 – Grau de poluição

Dependendo ao ambiente que o multímetro será utilizado, o grau de poluição é importante, pois impacta na definição das distâncias de isolamento e escoamento do circuito interno do medidor [3]. A Tabela 1 mostra as definições.

Tabela 1: Grau de poluição

Grau de poluição	Definição
1	Nenhum contaminante ou apenas contaminantes secos e não condutivos.
2	Só contaminante não condutivo, embora ocasionalmente uma condutividade causada por condensação possa ocorrer.
3	Contaminantes condutivos ou não condutivos secos, tornados condutivos devido à possível condensação.
4	Contaminantes com condutividade contínua devido à poeira, chuva ou neve.

3.6 - Categoria de sobretensão

Um dos riscos na execução de medição de tensão é a possibilidade de ocorrência de transientes (também chamados de “picos de tensão”, ou “spikes”), os quais podem surgir na partida de motores, capacitores e inversores de frequência em uma planta industrial. A queda de raios em linhas de transmissão também pode originar transientes de tensão, os quais, em redes de 480 volts, podem chegar a valores de 8000 V!

Devido ao fato que estas sobretensões de curta duração podem destruir componentes eletrônicos, ou até mesmo carcaças de plástico, é importante que o multímetro digital esteja classificado na categoria adequada. [4]

As classificações estão designadas na IEC 61010 como “Categoria”, e definidas com base na magnitude das sobretensões transitórias que o medidor e suas pontas de prova podem suportar. Os locais de emprego costumam ser definidos segundo a distância do equipamento em relação à fonte de energia, conforme a Figura 3.

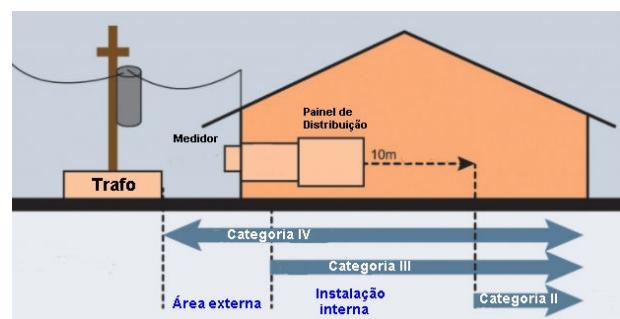


Figura 3: Emprego das categorias de sobretensão.

Muitos instrumentos de teste não se destinam à conexão direta com o sistema elétrico

de potência, mas a circuitos em extra-baixa tensão. Estes são classificados como Categoria I. [5]

Portanto, conhecer as categorias de sobretensão dos multímetros é fundamental para a segurança do usuário. A Tabela 1 é apenas

orientativa *, pois outros valores além dos indicados podem também ser empregados nos ensaios das quatro categorias.

TABELA 1 – Quadro orientativo sobre as categorias dos multímetros

CATEGORIA	CARACTERÍSTICA	TENSÃO AVALIADA *	CURTO-CIRCUITO	IMPEDÂNCIA DE ENSAIO	SOBRETENSÃO
CAT I	Para medições não conectadas diretamente à rede elétrica CA, como reparos de aparelhos eletrônicos, circuitos CC, etc.	150 V	< 3 kA	30 Ω	500 V
CAT II	Para medições conectadas à tensão da rede (127 / 220 Vca), TUG distantes > 10 m de locais CAT III	300 V	< 10 kA	12 Ω	2.500 V
CAT III	Para medições no painel principal de entrada do prédio, alimentadores de plantas industriais, equipamentos industriais trifásicos, etc.	600 V	< 50 kA	2 Ω	6.000 V
CAT IV	Para medições externas e na entrada principal (<1.000 V)	600 V	> 50 kA	2 Ω	8.000 V

As pontas de prova também precisam atender aos mesmos requisitos da categoria do multímetro. A Figura 4 mostra as diferenças entre as dimensões das partes condutoras de pontas de prova para Categoria II e Categoria III. [6]

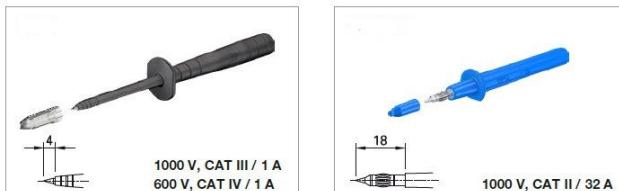


Figura 4 – Pontas de prova (dimensões em mm)

O multímetro deve ter sua categoria indicada, geralmente junto ao terminal positivo da ponta de prova, como ilustrado na Figura 5.



Figura 5 – Indicação de categoria conforme a tensão de utilização

No ambiente industrial, o emprego das Categorias pode ser ilustrado como na Figura 6.

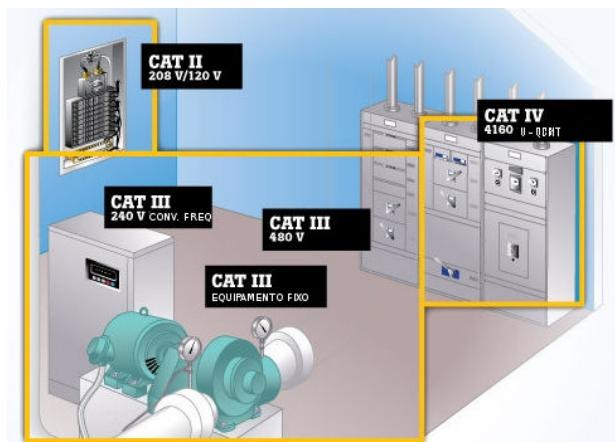


Figura 6 – Categorias no ambiente industrial.

3.7 - Normas construtivas

A IEC 61010-2-33 [4] define requisitos de segurança para instrumentos portáteis, visando garantir que os perigos para o usuário e o ambiente sejam reduzidos a um nível aceitável, envolvendo:

- Choque elétrico e queimaduras;
- Riscos mecânicos;
- Temperaturas excessivas;
- Propagação de fogo no ensaio de acessórios;
- Arco elétrico.

4.0 – CONSERVANDO O MULTÍMETRO

Os multímetros exigem cuidados para se manterem confiáveis, dentre os quais destacamos:

4.1 - Calibração

A fim de manter a confiança nas medições, deve-se adotar um sistema que confirme a precisão dos instrumentos. Os instrumentos podem se tornar imprecisos por vários motivos, tais como quedas ou proximidade a corpos com altas temperaturas.

A calibração envolve verificar se um instrumento ainda está operando dentro da especificação do fabricante, e, se não, fazer ajustes para trazê-lo de volta à especificação. Os cabos de teste utilizados com o instrumento devem ser ensaiados com ele. Certificados de calibração emitidos por laboratórios credenciados pela Rede Brasileira de Calibração são preferíveis.

Se forem severas as condições em que os instrumentos são utilizados, a calibração pode não fornecer uma garantia durante o período (tipicamente um ano) entre as verificações. Um registro deve ser mantido para cada instrumento (por exemplo, pelo número de série), mostrando as datas de inspeção, dados de calibração, a data em que deve ser retirado do campo e quaisquer reparos efetuados. A freqüência para recalibrar cada instrumento deve ser definida pelo profissional habilitado.

5.0 – REQUISITOS PARA USO DO MULTÍMETRO

A medição de grandezas elétricas é uma atividade que envolve riscos ao trabalhador, sendo fundamental o conhecimento das características do multímetro e suas limitações. [7]

5.1 – Capacitação dos usuários

Somente os trabalhadores capacitados (devidamente treinados para trabalhar com os instrumentos de teste que serão utilizados na tarefa), podem ser autorizados a realizar serviços em circuitos ou equipamentos energizados, onde exista perigo de contato acidental com partes energizadas.

A capacitação deve ser feita previamente à utilização, e especificamente com o modelo e marca que será utilizado. Isto é importante, pois cada modelo possui recursos especiais, como “desligamento automático”, ou mesmo o posicionamento das grandezas a medir ao redor do seletor rotativo.

5.2 – Inspeções visuais

Os instrumentos de teste, seus cabos (de alimentação e de pontas de prova), e acessórios devem ser inspecionados visualmente quanto a danos antes de serem usados. Se existirem defeitos, o item danificado não deve ser usado até que seja reparado ou substituído. [5]

6.0 ESTUDO DE CASO

Na verificação de defeitos em uma gaveta de um motor industrial de 480 V, em um CCM com corrente de curto-circuito de 40 kA, o eletricista

sofreu queimaduras em cerca de 40% do corpo, quando fechou um arco elétrico devido ao seletor do multímetro ter sido colocado na posição errada. As Figuras 7 a 9 mostram detalhes. [8]



Figura 7 – Macacão, óculos e multímetro.



Figura 8 – Multímetro queimado



Figura 9 – Gaveta do CCM queimada

Os multímetros com seletores rotativos podem induzir este erro, e desta forma, algumas empresas passaram a adotar um amperímetro-alícate para os serviços de campo, restringindo o uso de multímetros às suas oficinas.

7.0 – EVITANDO ACIDENTES

Os riscos na medição de grandezas elétricas devem ser devidamente controlados, como por exemplo:

7.1 – Na medição de tensão

O instrumento deve ter sua faixa de tensão e possuir uma categoria de sobretensão adequada para a aplicação.

Os indicadores de tensão por proximidade e os dispositivos do tipo solenóide não devem ser usados para testar a ausência de tensão CA, porque eles têm um limite inferior de tensão (geralmente na faixa de 50 a 110 V) abaixo da qual não indicarão tensão, mesmo se ela estiver presente. Além disso, esses indicadores não detectarão tensão CC, nem detectarão a tensão CA em um cabo blindado.

Eles são muito úteis em certas aplicações, como encontrar os cabos que atravessam um painel. No entanto, deve ficar claro que apenas porque um testador de proximidade não detectou tensão, não significa que o equipamento ou dispositivo esteja realmente desenergizado. A ausência de tensão só pode ser confirmada com um voltímetro adequado. [9]

7.2 – Na medição de correntes

O usuário deve ler e entender as instruções dos fabricantes sobre o uso e aplicação do multímetro. Quando utilizar um multímetro, é necessária a máxima atenção ao selecionar a função e a escala necessárias para que a tarefa seja executada sem causar danos ao medidor, nem ferimentos no trabalhador.

Fusíveis no circuito de medição de correntes, de capacidade de ruptura compatível com o circuito elétrico, é uma boa medida de segurança [1]. O acidente descrito neste trabalho ocorreu por causa da seleção de medição de corrente quando se desejava medir tensão. A Figura 7 mostra pontas de prova com fusíveis de alta capacidade de ruptura.



Figura 7 – Pontas de prova com fusíveis.

7.3 - No procedimento da tarefa

Nenhuma ferramenta por si só pode garantir a segurança do usuário. É a combinação das ferramentas certas e dos procedimentos para trabalho seguro que darão a máxima proteção. As seguintes recomendações devem ser avaliadas pelo profissional habilitado visando sua inclusão no procedimento para serviços de medição de grandezas elétricas na área industrial, quando embasado na respectiva análise de riscos: [10]

- Utilização de um programa de bloqueio e etiquetagem (lock-out / tag-out);
- Utilização de ferramentas isoladas;
- Utilização de óculos de segurança ou um protetor facial;
- Utilização de luvas isolantes;
- Utilização de roupas resistentes a arco, vide o estudo de energia incidente.

7.4 - No emprego de boas práticas

É importante conhecer algumas orientações que colaboram para a execução segura de serviços com multímetros: [10]

- Em circuitos energizados, coloque primeiro a ponta de prova no neutro e depois faça o contato com a fase. Ao terminar, remova primeiro a fase, depois o neutro;
- Pendure ou apoie o medidor. Evite segurá-lo em suas mãos, para minimizar a possibilidade de exposição aos efeitos de transientes de tensão;
- Use o método de testar em três etapas, especialmente para verificar se um circuito está desenergizado. Primeiro, conecte o medidor a um circuito vivo conhecido. Em segundo lugar, conecte-o no circuito a medir. Após a medição,

conecte o medidor no mesmo circuito vivo conhecido da primeira etapa. Isso confirmará que o medidor funcionou corretamente na medição;

- Uma prática dos antigos eletricistas era, com o uso de pontas de prova tipo “jacaré”, manter uma das mãos no bolso. Isso diminuía a chance de um circuito ser fechado através do peito e do coração.

8.0 – CONCLUSÕES

Por envolver o conhecimento de características do sistema elétrico e das limitações do instrumento, a seleção de multímetros é uma atividade de responsabilidade do profissional habilitado, que deve incluí-lo no procedimento da tarefa, como preconizado em 10.11 da NR-10.

Apenas trabalhadores devidamente capacitados no uso do multímetro que será utilizado, poderão ser autorizados pelo profissional habilitado para executar a tarefa.

Especialmente em sistemas industriais, visando evitar erros de operação com consequências drásticas, não se recomenda o uso do multímetro para medição de corrente elétrica, preferindo-se o alicate-amperímetro, cuja faixa de medição é maior e sua operação é mais segura.

9.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Travis, John. *The dangers of digital multimeters and what to do about them*. Acesso em 10/4/19. Disponível em: <https://www.leafelectricalsafety.com/blog/digital-multimeter-danger>

[2] *Manual de auxílio na interpretação e aplicação da nova NR-10*. Joaquim Gomes Pereira e João José Barrico de Souza. Editora LTr, 2005, Rio de Janeiro, RJ.

[3] IEC 61010-1 Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use. Part 1: General safety requirements.

[4] IEC 61010-2-33 - Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use. Part 2-033: Particular requirements for hand-held multimeters and other handheld meters, for domestic and professional use, capable of measuring mains voltage.

[5] Smith, Duane. *Safety Considerations for Live Electrical Measurements*. Acesso em 15/4/19. Disponível em: <https://ohsonline.com/Articles/2006/11/Safety-Considerations-for-Live-Electrical-Measurements.aspx>

[6] IEC 61010-031 - Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and

laboratory use. Part 031: Safety requirements for handheld probe assemblies for electrical measurement and test.

[7] RANGEL Jr, Estellito – Segurança para eletricistas. In: VI ENCONTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA PETROBRAS, 5 a 7/12/2001, Rio de Janeiro. Anais. Petrobras/Serec/Cen-Sud, 2001, 331 p. p. 99 - 107

[8] Martins, Marcos O. P.; Dutra, Diógenes. Multímetros x Segurança – Estamos utilizando os dispositivos adequados? SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE INSTALAÇÕES DE SUPERFÍCIE DA E&P-BC, Petrobras, Macaé - RJ, out. 1999.

[9] Rangel Jr., Estellito. *Mayor seguridad en los trabajos de mantenimiento eléctrico*. NFPA Journal Latinoamericano, vol 1, no. 16, setembro 2002, NFPA International, pg. 38 - 39. Acesso em 16/4/19. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/168979657/Estellito-Seguranca-Electricista-Nfpa>

[10] *Electrical safety in the workplace*. Ray Jones e Jane Jones. NFPA International, 2000. Massachusetts, EUA.



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

PERCEPÇÃO DE SEGURANÇA & MÚSICA

João Carlos Schettino de Castro

PETROBRAS

jcschettino@petrobras.com.br

joaoschetino@hotmail.com

RESUMO

O artigo intitulado “Percepção de Segurança & Música” aborda de forma técnica, dinâmica e interativa, como podemos controlar nossas emoções e ritmos de trabalho, em relação aos fatores de perigo e risco existentes nos ambientes e nas atividades de trabalho, com o estabelecimento de medidas de segurança (Controle Operacional). O motivo para o surgimento de um incidente e/ou acidente é a falha. Falha é o princípio da sequência de fatores causais que originam um incidente e/ou acidente, que dependendo de sua gravidade, pode gerar poucas ou muitas perdas. Partindo do princípio de que falha é falta de controle, entendemos que é necessário fazer o controle do perigo e do risco. O controle é uma das funções essenciais em uma administração efetiva, não importando o segmento em que ela estiver. Torna-se necessário fazer com que nossos atos e ações contribuam para a realização de um trabalho seguro, utilizando-se para tanto de comportamento e atitude segura, através de uma abordagem técnica, prazerosa e motivadora.

- Comportamento seguro é a disciplina por meio de escolhas, onde o conhecimento leva a uma obediência em fazer ou não fazer uma ação.

- Atitude segura é a disciplina por meio de limites, onde o domínio emocional leva a uma reação consciente em executar uma atividade de trabalho.

- Comportamento seguro é colocar essa capacidade física e mental de fazer o que é certo, o tempo todo, em prol da sua segurança.

- Atitude segura é colocar essa capacidade sensorial (sentir, ver, tocar, cheirar e ouvir) em prol da segurança.

Você já parou para pensar e se questionar qual hemisfério do seu cérebro domina a sua personalidade (sentimento) e pensamento (sabedoria)? Caso não saiba, o lado direito do cérebro é responsável pela emoção, criatividade e

sentimentos; já o esquerdo domina a lógica, a razão e o raciocínio. Todos nós precisamos ter os dois lados equilibrados, pois um balanceia o outro. É como um pássaro, que precisa das duas asas para voar.

Em qualquer atividade, quando o trabalhador é conhecedor e tem o domínio sobre algum tipo de controle sobre o processo de perigo que determina o risco que vai enfrentar, tal risco provavelmente não será visto como tão grande quanto no caso em que não se tenha nenhum controle sobre ele. É o caso como exemplo do piloto da EDA-Esquadrão de Demonstração Aérea.

Cada piloto da EDA, Esquadrão de Demonstração Aérea, (Esquadrilha da Fumaça) domina a situação com reações conscientes de atitude e se comporta através de ações, obediente às normas, instruções e procedimentos, devido ao seu conhecimento dos equipamentos, sistemas, instrumentos e acessórios que utiliza para a realização das manobras acrobáticas.

Assim, cada piloto da esquadrilha da fumaça domina a situação consciente e se comporta obediente a cada etapa da atividade, em cada acrobacia, fazendo o certo o tempo todo. As manobras são executadas com altíssimo grau de precisão com habilidade e talento sem desprezar o medo que está sob controle.

Cada piloto da esquadria é capaz de visualizar tudo o que tem que ser feito e distinguir o que é mais importante para que as acrobacias sejam realizadas de forma correta sem que aconteça nenhum acidente, porque se acontecer uma falha a consequência pode ser fatal.

A complexidade das manobras representa o perigo da operação e vai exigir uma conduta segura do piloto, cercada de atenção e cuidado constante para evitar o risco de queda da aeronave. Partindo do princípio de que o processo de trabalho é uma

sequência de fatores causais que, associados inicialmente ao comportamento e à atitude, geram resultados satisfatórios e essenciais para o êxito de uma atividade, é necessário adotar uma conduta segura.

A conduta segura para a realização e a conclusão de um processo de trabalho tem como referência o comportamento e a atitude e seguem a sequência abaixo para qualquer atividade:



1.0 – OBJETIVO

Todos nós temos a necessidade de nos sentirmos aceitos por nosso grupo de convivência, particularmente por aqueles que nos são mais próximos como a família, amigos e colegas de trabalho. Passamos a maior parte da nossa vida com os colegas de trabalho e é fundamental que este relacionamento seja o mais sincero e verdadeiro, para que a execução da nossa atividade tenha sucesso e sejamos reconhecidos, valorizados e recompensados pelo fruto do nosso trabalho. Quando executamos uma atividade estamos vendendo o nosso tempo que poderia estar sendo utilizado com a nossa família. Portanto, estamos vendendo parte da nossa vida.

Dependemos das pessoas para nos orientar, criticar e ensinar a fazer o que é certo o tempo todo, não por vaidade, mas por necessidade, para nos mantermos vivos. Somos, muitas vezes, falhos em nossas decisões e por isso dependemos dos outros para nos mostrar os nossos erros e nos corrigir. Demora-se, em média, vinte anos para formar um homem e mais cinco para um bom profissional e a vida pode ser ceifada em um minuto. A nossa luta para um trabalho digno está associada à nossa vida, à nossa existência como ser humano e dependemos do nosso trabalho para a nossa sobrevivência. Portanto, para estar de bem com a vida é importante fazer o certo o tempo todo, seguindo as normas, instruções e procedimentos, ou seja, é necessário conhecer e ficar focado no trabalho. Precisamos ficar antenados com o trabalho e que ele seja nosso meio de vida, de realização e sucesso, de forma que não se tenha

espaço para o acidente que pode levar à sequela graves ou a uma fatalidade e assim a vida não terá mais sentido. A nossa luta é pela preservação da vida.

A empresa deve criar mecanismos didáticos para reafirmar o compromisso de todo trabalhador na busca da excelência em SST e preservação da vida, através da capacitação, educação e conscientização, que devem ser continuamente promovidas de modo a reforçar o comprometimento do trabalhador com o desempenho em Segurança e Saúde no Trabalho – SST é primordial para uma empresa se tornar promissora. De nada vai adiantar se o comprometimento não for explícito da gerência com a política e valores de SST, de modo a sensibilizar os trabalhadores para seu cumprimento.

Quando a empresa se dedica e se esforça em levar conhecimento de qualidade para o trabalhador ela espera que o mesmo tenha um excelente aproveitamento, afinal é um investimento que se espera retorno e a resposta para isto está no índice de aproveitamento e da avaliação dos participantes quanto ao treinamento.

Portanto, deve se perguntar antes aos participantes: Qual a sua expectativa com relação ao treinamento? A resposta, a princípio, deve ser respondida neste nível de entendimento: "Que eu receba o conhecimento necessário para manter e aperfeiçoar a minha segurança no trabalho."

O que pensa um trabalhador quando participa de um treinamento? Que ele está ali para ser treinado a exercer sua função com segurança, pois a sua vida é o seu maior patrimônio, ele sabe que é importante chegar em casa inteiro, pois sua família lhe espera e se orgulha do que ele faz e significa para eles.

O objetivo do treinamento é o de promover uma troca saudável de experiência com todos participantes. Partindo do princípio que a palavra aluno significa "isento de luz" do conhecimento, não é assim que pensa um trabalhador já experiente.

Assim, o mesmo não pode ser tratado como aluno e sim treinando, pois já vem trazendo com ele seus talentos e habilidades, mas que precisam ser lapidadas.

Este trabalhador obediente e consciente com as informações necessárias, tem condições de valorizar seu trabalho, de forma que seu conhecimento e seu domínio emocional influenciem positivamente, de forma segura, na execução da sua atividade diante do perigo e risco.

O princípio básico que deve fundamentar um bom trabalhador é confiar naquilo que faz como sendo o

certo o tempo todo, controlando sempre o medo e tendo como referência a norma, instrução e procedimento. Sem essa premissa, fica difícil para o trabalhador passar credibilidade e ter uma atitude e comportamento humilde que define quem ele representa para os demais. Humilde vem do radical humo que significa "pó da terra". Humilhar-se é ir ao pó, é tornar-se nada. Ser humilde, portanto é uma qualidade e significa também ser moderado e comedido.

Percepção de Segurança & Música, aqui apresentado, surgiu da necessidade de passar para o trabalhador que nada pode ser resolvido "rapidinho", principalmente quando envolve a nossa vida, qualquer descuido pode ser fatal. Segurança é um valor. É um estado de espírito. As pessoas verdadeiramente serenas nunca estão sozinhas. Atingimos a verdadeira serenidade quando sabemos que podemos contar com alguém que nos faz sentir seguros.

Entendo que cabe à gerência de SST e principalmente aos profissionais de segurança do trabalho o papel de assessoria, orientando os trabalhadores em aplicar as medidas de controle para equilibrar o fator perigo e o risco, tornando a operação controlada com a adoção de medidas de segurança para a sua execução, estabelecendo um controle operacional.

A ação principal para se obter êxito na operação é do trabalhador, pois é ele o especialista, é ele quem faz, é ele o profissional que está qualificado, habilitado, capacitado, credenciado e autorizado para a execução da atividade de trabalho. Portanto, cabe a ele adotar as medidas de segurança necessárias para a condução do seu trabalho com produtividade e segurança.

Para transformar o trabalhador fazendo-o executar sua atividade com segurança, é necessária uma mudança na cultura de SST. A vida é nosso maior patrimônio, portanto a segurança tem que ser um valor na nossa vida.

Esta mudança na cultura de SST da empresa deve começar com a gerência geral da mesma na adoção das seguintes medidas:

- a) Criar na força de trabalho o espírito de satisfação pelo trabalho, realizando suas atividades com entusiasmo, ou seja, colocando algo forte e marcante na sua ação. A preservação da vida.
- b) Mostrar como o comportamento e a atitude segura da força de trabalho focadas no trabalho podem influenciar no seu rendimento.
- c) Fazer com que a força de trabalho assuma o seu papel de protagonista, valorizando o trabalho como meio de vida e não meio de morte, deixando de ser mero figurante no processo de trabalho.

d) Levar ao chão de fábrica a inovação e versatilidade do trabalho, passando para a força de trabalho instruções de segurança (DDS) com conteúdo mais técnico e com maior abordagem nos aspectos legais, imputando mais responsabilidades à força de trabalho.

e) Implantar nos corações de toda força de trabalho um amor maior pela vida, valorizando o nosso maior patrimônio.

f) Despertar em toda a força de trabalho a certeza de que que segurança é um valor para a vida toda.

2.0 – INTRODUÇÃO

O trabalho sobre o qual, na maioria das vezes falamos e tratamos, é útil. Portanto, ele é necessário e extremamente importante para a realização dos nossos sonhos e projetos de vida. É muito comum ouvir no nosso dia a dia frase do tipo: primeiro o trabalho, depois o lazer. Essa frase nos direciona à exaltação do trabalho, como parte de alegria e prazer, de máxima importância e intensidade na realização dos nossos objetivos.

Tem na Bíblia uma frase que diz: "Comerás o teu pão com o suor do teu rosto, até que voltes à terra de que foste tirado; porque és pó, e pó te hás de tornar." É uma passagem no livro de Genesis 3.19, quando Adão, por ter desobedecido a Deus, comendo a maçã proibida, recebia como "castigo" o trabalho. Esta é uma interpretação que algumas pessoas fazem, mas não vejo por este ângulo. Entendo que o trabalho dá uma identidade, dignidade, e edifica o ser humano como um ser especial que precisa lutar pelo pão de cada dia, pelo exercício do seu trabalho. Deus, na verdade, mostrou a Adão que, se ele quisesse viver, teria que cultivar a terra donde tinha sido tirado.

Às vezes reclamamos da nossa atividade e das condições de trabalho, da falta de segurança, melhores salários, mas mesmo assim continuamos trabalhando. Ora, por que será? Para realização do sonho de comprar uma moto, que não aconselho a ninguém fazer isso, comprar um carro, uma casa, casar ter filhos e dar ao seu filho a condição de ser um Engenheiro de Segurança do Trabalho, iniciando por Técnico de Segurança do Trabalho e depois avançando em nosso propósito de evoluir, de aprender sempre mais para nos aprimorarmos e dar o melhor para os nossos filhos.

Portanto, lembrando essas variedades de situações que qualquer um de nós é capaz de listar com extensas atribuições do trabalho, é fácil compreender a vasta amplitude de objetividades, atribuições, significados e sentimentos.

A complexidade que a atividade vai requerer estabelece classificações como: trabalhos simples, repetitivos, abstratos e complexos. Esta divisão é que vai determinar o grau de exigência de mais concentração e equilíbrio. Se preocupamos com a

nossa saúde precisamos pensar nas atividades insalubres, perigosas e penosas. Portanto, quando utilizamos a palavra trabalho e a associamos à segurança no trabalho, estamos falando de vários objetos que merecem atenção e cuidado, lembrando que toda atividade de trabalho envolve perigo e risco.

O artigo está centrado no aspecto como um valor na nossa vida e do trabalho como meio de vida e não meio de morte. Assim, considero as relações do saber de cada ofício com seus respectivos perigos e riscos existentes na realização das atividades de trabalho, fundamental para o controle da operação e para torná-la segura. A cada tipo de ação temos que nos preocupar com a reação. O mundo evolui e a cada evolução surgem juntas novas atividades de trabalho e, para cada novo tipo de atividade, estaremos expostos a perigos e riscos.

É necessário buscar um fator de equilíbrio para tornar o processo de trabalho sob controle: um fator que vai tornar esta atividade segura. Que fator seria este? É o fator de segurança. O que é fator de segurança? É a nossa atitude e o nosso comportamento em fazer o que é certo o tempo todo, cumprindo norma, instrução e procedimento, estabelecendo assim um controle sobre o processo de trabalho.

ESTRUTURA DO PROCESSO DE TRABALHO



2.1 – PROCESSO DE TRABALHO

2.1.1 ATIVIDADE DO TRABALHO

Toda atividade de trabalho é perigosa e oferece risco. O risco é, muitas vezes, expresso em termos de uma combinação de consequências de um evento perigoso e a probabilidade de ocorrência deste evento.

Qual a dimensão do perigo? A probabilidade e consequência do risco.

Precisamos entender que a nossa obediência interfere na capacidade de nos protegermos do perigo e refletir que a nossa consciência está na

forma de como nos relacionamos com os riscos presentes no dia a dia de trabalho. Diante de uma situação de perigo nosso corpo adota uma ação e reage para o sim ou para o não, aqui não existe o meio termo, nem tempo para pensar muito e sim de agir. Num processo de trabalho deve ser tudo muito detalhado e um descuido pode ser fatal. Neste processo de aceitação do que é o certo existe a sensação e a percepção.

Sensação é a impressão recebida do mundo exterior pelo sistema nervoso central quando um dos órgãos dos sentidos recebe um estímulo.

Percepção é um processo interpretativo da sensação. É a maneira como nós vemos, julgamos, conceituamos, qualificamos as coisas no mundo e em nós mesmos e agimos.

Observem este exemplo: Em pleno dia de domingo à noite, você está na sua casa sozinho assistindo televisão e ouve três barulhos seguidos: PAM! PAM! PAM!

Qual a sua sensação? Toma um susto e pula da poltrona e logo pensa: "Foram três tiros de revolver" e, se você é convededor do assunto, vai ainda dizer: "É uma Taurus calibre 38."

Qual será a sua percepção? Vai abaixar, deitar no chão, se esconder para não ser atingido por uma bala perdida. É a melhor conduta a seguir para a sua segurança.

Para se adotar uma conduta segura é necessário que o trabalhador perceba os riscos que possam existir no seu local de trabalho em relação ao perigo que a atividade apresenta e atenção que sua profissão exige, prevenindo e adotando, desta forma, as medidas de segurança para a redução de incidentes e/ou acidentes no local de trabalho.

2.1.2 COMO PERCEBER OS RISCOS

O conceito de risco, cuja origem está ligada à palavra traço, do latim, surgiu quando nossos antepassados começaram a se aventurar nos mares para desbravar o "Novo Mundo". Significa planejar (traçar no mapa) os caminhos que evitariam os perigos da navegação rumo ao desconhecido.

O risco no trabalho é, muitas vezes, expresso em termos de uma combinação de consequências de um evento perigoso e a probabilidade de ocorrência deste evento. Assim, a percepção de segurança é a capacidade de se fazer uma combinação mental de perigos já existentes aos riscos associados (como, por exemplo, equipamentos sem proteção adequada, buracos no chão, procedimentos inadequados) que possam resultar em incidentes e/ou acidentes. Ou seja, ela

caracteriza um modelo físico, mental e sensorial capaz de perceber o risco, sem negligenciá-lo.

É importante ressaltar que nem sempre o risco que corremos é exatamente o que percebemos. Com o tempo, nos acostumamos com os riscos e o risco percebido passa a ser menor do que o real. Quando isso acontece, deixamos de tomar cuidados necessários à nossa segurança. No momento em que não se percebe mais o risco real, o ser humano entra no modo automático de funcionamento e deixa de avaliar os riscos. É neste contexto que os acidentes podem acontecer. O fato de nunca ter acontecido nada grave anteriormente, a repetição da atividade e a familiaridade com o perigo diminuem a percepção de segurança.

A familiaridade pode produzir uma falsa percepção de redução de risco, muitas vezes reforçada pela ausência de acidentes e incidentes, logo, neste caso, a percepção de segurança deve ser redobrada.

A percepção de segurança é ter o foco no comportamento e na atitude durante a realização das atividades, cumprindo um padrão previamente estabelecido e de seu total conhecimento e domínio.

2.1.3 Permissão para Trabalho (PT)

Sempre antes de iniciarmos uma atividade de trabalho é preciso que analisemos suas consequências, ou seja, façamos uma análise dos riscos envolvidos. A Permissão para Trabalho (PT) é uma ferramenta que busca consolidar a cultura de “Na dúvida, pare!”, ou seja, é destinada a identificar o perigo, avaliar e gerenciar o risco e a adoção das medidas de segurança pelos envolvidos, antes do início das atividades, reduzindo ou minimizando os riscos de acidentes.

A maioria dos acidentes ocorre durante execução das atividades rotineiras dos trabalhadores, os quais deveriam ter o controle operacional sobre os riscos presentes. Assim, o trabalhador executante da atividade deve ser agente ativo no controle do perigo e dos riscos para prevenção de acidentes.

Para que isso ocorra, seguem algumas dicas simples de serem seguidas em nosso dia a dia.

- Pare, pense e faça certo e com segurança sua atividade diária.
- Identifique o perigo que a sua atividade apresenta.
- Verifique, avalie e minimize o risco antes de começar a sua atividade.
- Certifique-se de que, ao introduzir uma mudança no procedimento da atividade (esteja escrita ou não), que ela tenha sido previamente analisada e autorizada pelo Supervisor. Qualquer mudança deve ter seu risco avaliado e gerenciado.

- Certifique-se de que não está alterando a configuração, especificação ou condição de uso de ferramenta, equipamento ou acessório utilizado na execução da atividade. Não faça improvisos.
- Verifique se você está qualificado, habilitado, capacitado, credenciado e autorizado, quando for o caso para executar todas as atividades solicitadas. Não execute atividade, mesmo que por pouco tempo, se você não foi treinado, nada pode ser feito “rapidinho”.
- Certifique-se de que, ao receber o serviço do seu antecessor na passagem de serviço, você foi informado sobre as condições dos perigos e riscos do ambiente de trabalho e sobre as mudanças realizadas nos turnos anteriores.
- Observe a área ao redor de onde a atividade será executada, identificando as possíveis interferências com o ambiente ou com outras atividades, as sinalizações de segurança e os possíveis riscos existentes.
- Leia atentamente a Permissão para Trabalho e a APR antes do início das atividades. Caso tenha dúvidas a respeito de algum perigo identificado, solicite esclarecimento ao seu supervisor ou chame o profissional de segurança do trabalho.
- Certifique-se que os equipamentos, ferramentas, acessórios e EPI's necessários às atividades estão em perfeitas condições de uso antes do início das atividades.
- Comunique à Supervisão imediata qualquer condição ou situação de risco iminente identificado na atividade.

2.2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Para entendermos melhor os conceitos e definições que o título do trabalho direciona, apresento em anexo algumas informações técnicas tendo como referência a OHSAS 18001:2007 - Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho e algumas informações ortográficas obtidas no Minidicionário Houaiss da Língua Portuguesa - Antônio Houaiss Rio de Janeiro Editora Objetiva, 2004.

2.2.1 Termos Técnicos

[1] Para os efeitos desta Norma OHSAS, aplicam-se os seguintes conceitos e definições:

1.2.1.1 Ação corretiva

Ação para eliminar a causa de uma não-conformidade identificada ou outra situação indesejável.

NOTA 1 – Pode existir mais de uma causa para uma não-conformidade.

NOTA 2 – Ação corretiva é executada para prevenir a repetição, enquanto que a ação

preventiva é executada para prevenir a ocorrência. [ISO 9000:2005]

2.2.1.2 Ação preventiva

Ação para eliminar a causa de uma potencial não-conformidade ou outra situação potencialmente indesejável.

NOTA 1 – Pode existir mais de uma causa para uma não-conformidade potencial.

NOTA 2 – Ação preventiva é executada para prevenir a ocorrência, enquanto que uma ação corretiva é executada para prevenir a repetição. [ISO 9000:2005]

2.2.1.3 Avaliação de riscos

Processo de avaliação de risco(s) proveniente(s) de perigo(s), consideração a adequação de qualquer controle existente, e decidindo se o risco é ou não aceitável.

2.2.1.4 Desempenho da SST

Resultados mensuráveis da gestão de uma organização de seus riscos de SST.

NOTA 1 – Medição do desempenho da SST inclui a medição da eficácia dos controles da organização.

NOTA 2 – No contexto dos sistemas de gestão da SST, os resultados também podem ser medidos em relação à política de SST, objetivos de SST e outros requisitos de desempenho da SST da organização.

2.2.1.5 Doença

Condição física ou mental adversa identificável, oriunda de, e/ou agravada por uma atividade laboral e/ou situação relacionada ao trabalho.

2.2.1.6 Incidente

Evento relacionado ao trabalho no qual uma lesão ou doença (independentemente da gravidade) ou fatalidade ocorreu ou poderia ter ocorrido.

NOTA 1 – Um acidente é um incidente que resultou em lesão, doença ou fatalidade.

NOTA 2 – Um incidente no qual não ocorre lesão, doença ou fatalidade pode também ser denominado um "quase-acidente", "quase-perda", "ocorrência anormal" ou "ocorrência perigosa".

NOTA 3 – Uma situação de emergência é um tipo particular de incidente.

2.2.1.7 Identificação de perigos

Processo de reconhecimento de que um perigo existe e definição de suas características.

2.2.1.8 Local de trabalho

Qualquer local físico no qual atividades relacionadas ao trabalho são executadas sob o controle da organização.

NOTA – Sempre que fizer considerações sobre o que constitui um local de trabalho, convém que a organização leve em consideração os efeitos da SST sobre o pessoal que esteja, por exemplo, viajando ou em trânsito (p.ex.: dirigindo, viajando de avião, ônibus ou trem), trabalhando nas instalações de um cliente, ou trabalhando em casa.

2.2.1.9 Melhoria contínua

Processo recorrente de se avançar com o sistema de gestão da SST, com o propósito de atingir o aprimoramento do desempenho da SST geral, coerente com a política de SST da organização.

NOTA 1 – Não é necessário que o processo seja aplicado simultaneamente a todas as áreas de atividade.

NOTA 2 – Adaptado da ISO 14001:2004, Não-conformidade Não atendimento a um requisito. [ISO 9000:2005; ISO 14001:2004]

NOTA – Uma não-conformidade pode ser qualquer desvio de:

- normas, práticas, procedimentos, requisitos legais, etc. de trabalhos pertinentes.
- requisitos do sistema de gestão da SST.

2.2.1.10 Objetivo de SST

Meta de SST, em termos do desempenho da SST, que uma organização estabelece para ela própria atingir.

NOTA 1 – Convém que os objetivos sejam quantificados sempre que exequível.

NOTA 2 – A seção requer que os objetivos de SST sejam coerentes com a política de SST.

2.2.1.11 Organização

Empresa, corporação, firma, empreendimento, autoridade ou instituição, ou parte ou uma combinação desses, incorporada ou não, pública ou privada, que tenha funções e administração próprias.

NOTA – Para organizações que tenham mais de uma unidade operacional, uma única unidade operacional pode ser definida como uma organização. [ISSO 14001:2004]

2.2.1.12 Perigo

Fonte, situação ou ato com potencial para provocar danos humanos em termos de lesão ou doença, ou uma combinação destas.

2.2.1.13 Política de SST

Intenções e princípios gerais de uma organização em relação ao seu desempenho da SST, conforme formalmente expresso pela Alta Direção.

NOTA 1 – A política de SST fornece um arcabouço para a ação e para o estabelecimento dos objetivos de SST.

NOTA 2 – Adaptado da ISO 14001:2004.

2.2.1.14 Procedimento

Norma especificada de executar uma atividade ou um processo.

NOTA – Procedimentos podem ser documentados ou não. [ISO 9000:2005]

2.2.1.15 Registro

Documento que apresenta resultados obtidos ou fornece evidências de atividades realizadas. [ISO 14001:2004]

2.2.1.16 Risco

Combinação da probabilidade de ocorrência de um evento perigoso ou exposição(ões) com a gravidade da lesão ou doença que pode ser causada pelo evento ou exposição(ões).

2.2.1.17 Risco aceitável

Risco que foi reduzido a um nível que pode ser tolerado pela organização, levando em consideração suas obrigações legais e sua própria política de SST.

2.2.1.18 Segurança e Saúde no Trabalho (SST)

Condições e fatores que afetam, ou poderiam afetar, a segurança e a saúde de funcionários ou de outros trabalhadores (incluindo trabalhadores temporários e pessoal terceirizado), visitantes ou qualquer outra pessoa no local de trabalho.

NOTA – Organizações podem estar sujeitas a requisitos legais para a segurança e saúde das pessoas fora de seu local de trabalho, ou que estejam expostas às atividades do local de trabalho.

2.2.1.19 Sistema de gestão da SST

Parte do sistema de gestão de uma organização utilizada para desenvolver e implementar sua política de SST e para gerenciar seus riscos de SST.

NOTA 1 – Um sistema de gestão é um conjunto de elementos inter-relacionados utilizados para estabelecer a política e os objetivos e para atingir tais objetivos.

NOTA 2 – Um sistema de gestão inclui a estrutura organizacional, atividades de planejamento (incluindo, por exemplo, a avaliação de riscos e o estabelecimento de objetivos), responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos.

NOTA 3 – Adaptado da ISO 14001:2004.

2.2.1.20 Política de SST

A Alta Direção deve definir e autorizar a política de SST organização e assegurar que, dentro do escopo definido de seu sistema de gestão da SST, a política:

- a) seja apropriada à natureza e escala dos riscos de SST da organização;
- b) inclua um comprometimento com a prevenção de lesões e doenças e com a melhoria contínua da gestão da SST e do desempenho da SST;
- c) inclua um comprometimento em atender, pelo menos, aos requisitos legais aplicáveis e a outros requisitos subscritos pela organização que se relacionem a seus perigos de SST;
- d) forneça o arcabouço para o estabelecimento e análise crítica dos objetivos de SST;
- e) seja documentada, implementada e mantida;
- f) seja comunicada a todas as pessoas que trabalhem sob o controle da organização, com o intuito de que elas tenham ciência de suas obrigações individuais em relação à SST;
- g) esteja disponível às partes interessadas;
- h) seja periodicamente analisada criticamente para assegurar que permanece pertinente e apropriada à organização.

2.2.1.21 Planejamento

A organização deve estabelecer, implementar e manter procedimento (s) para a identificação contínua de perigos, a avaliação de riscos e a determinação dos controles necessários.

2.2.2 Termos Ortográficos

[1]Para os efeitos do Minidicionário Houaiss da Língua Portuguesa, aplicam-se os seguintes conceitos e definições:

Atitude - Modo de agir.

Atividade - Qualidade de ativo.

Comportamento - Conduta, procedimento.

Consciência - Posse das faculdades como: (ver, pensar, ouvir etc.)

Conhecimento - Fato, estado ou condição de compreender; entendimento.

Controle - Monitoração ou fiscalização minuciosa de acordo, padrões, normas etc.

Domínio - Autoridade, poder.

Escolhas - Preferência que se dá a alguma coisa que está entre outras.

Falta - Carência de algo considerado necessário.

Falha - Omissão, lacuna.

Limites - O que determina o contorno de um domínio.

Obediência - Ato de obedecer (submeter-se à vontade ou às determinações).

Percepção - Capacidade de apreender (assimilar mentalmente) por meio dos sentidos ou da mente.

Perigo - Situação em que a existência ou integridade física de pessoas, animais, objetos etc. encontra-se ameaçada. Situação de risco: em perigo.

Risco - Probabilidade de perigo.

Segurança - Ação ou efeito de tornar seguro.

Seguro - Estável, fixo.

Sensação - Impressão captada pelos órgãos dos sentidos (visual, olfativa, gustativa, auditiva)

3. DISCUSSÃO

3.1 O MUNDO DO TRABALHO

Na psicologia organizacional e do trabalho fala-se em construtos como motivação para o trabalho: comprometimento, envolvimento, aprendizagem, socialização, satisfação... que estuda e procura enumerar através de críticas e análises que se faz sobre a forma de planejar e organizar o trabalho, ou seja, as análises sobre como o trabalhador deve fazer as coisas, dividir e distribuir atribuições, poder e tarefa, de forma a executá-las com segurança, atendendo às normas, instruções e procedimentos.

“Embora seja ineliminável da própria condição humana não é objeto natural, mas uma ação essencial para estabelecer a relação entre o homem e a natureza e entre a sociedade e a natureza (Antunes, 1977). Na condição originária, o trabalho deriva das necessidades naturais (fome, sede, etc.), mas realiza-se na interação entre homem ou entre homens e a natureza. Assim, o trabalho – e a forma de pensar sobre ele – seguirá as condições socioeconómicas em que cada pessoa vive. Depende, portanto, do acesso que cada pessoa tem à tecnologia, aos recursos naturais e ao domínio do saber fazer; da posição na estrutura social; das condições em que ele executa suas tarefas; do controle que tem sobre seu trabalho; das ideias e da cultura do tempo; os exemplos de trabalhadores que cada um tem em seu meio, entre outros aspectos”

[1] O mundo do Trabalho Lívia de Oliveira Borges e Oswaldo Hajime Yamamoto - pag. 26/27

Entendo que o trabalho não é só uma necessidade humana; é através dela que também vamos atingir nossas metas; não é uma situação natural de sobrevivência, mas uma condição essencial para o estabelecimento da relação entre o homem e o meio ambiente e entre a sociedade e o meio ambiente. Portanto, o conhecimento do meio ambiente de trabalho, seus perigos e seus riscos, é a peça fundamental para o êxito no processo de trabalho sem a ocorrência de incidentes e acidentes.

Em sínteses está ideologia funda-se numa concepção segundo a qual o trabalho é uma categoria central que os indivíduos devem tomar como prioridade em suas vidas, porque deverá prover a abundância geral e o sucesso individual. Por isso, deve ser exercido de forma planejada, padronizada e disciplinada. Esse trabalho vale tanto mais quanto seja produtivo (e não pelo seu conteúdo). Para atingir estes alvos (valores sociais), é tratado como uma mercadoria, simplificado, exigindo requisitos mínimos de qualificação, mas dedicação máxima. As bases de poder, no espaço de trabalho, sustentam-se na propriedade na concentração do saber fazer e das possibilidades de conceder recompensas e punições nas mãos de uma minoria. [2] O mundo do Trabalho Lívia de Oliveira Borges e Oswaldo Hajime Yamamoto - pag. 31

Sabemos que todas as atividades de trabalho apresentam perigos que vão gerar riscos com potencial para causar a ocorrência de incidentes e acidentes, provocando danos e prejuízos ao trabalhador e empresa. É muito importante discutir e definir entre os trabalhadores, antes da realização de qualquer atividade de trabalho, um bom planejamento através da leitura da Permissão para Trabalho, APR e o desenvolvimento de diálogo diário de segurança (DDS). Assim, a divulgação dos conhecimentos tradicionais antes da realização do trabalho, classificados e tabulados, se forem encarados como normas, instruções e procedimentos, estabelecerá uma condição de equilíbrio e controle para a execução do trabalho de forma segura, obediente e consciente.

Normalmente, o trabalho é planejado pela gerência da empresa, pelo menos, com um dia de antecedência. Cada trabalhador recebe, na sua maioria, instruções escritas completas que, minuciosamente, descrevem uma permissão para o trabalho e também os meios usados para executar de forma produtiva e segura. A busca deste equilíbrio está na utilização de uma fórmula que torna os fatores de perigo e risco sob controle, em que a sua resultante é o fator segurança. Portanto,

a realização de um trabalho de forma segura vai exigir do trabalhador a identificação do perigo, avaliação e o gerenciamento do risco. Neste processo é fundamental que o trabalhador tenha aguçada a sua percepção dos riscos de sua atividade de trabalho e seja convededor das medidas de segurança para tornar a operação produtiva e segura. O principal elemento regulamentador deste processo é a sua vida. Sendo assim, a segurança deve ser encarada como um valor na sua vida. E assim nos tornarmos guardiões fieis da nossa vida que é o nosso maior patrimônio.

Sendo a vida o nosso maior patrimônio, a segurança tem que ser um valor na nossa vida. Portanto, a atividade realizada com segurança, em cumprimento com as normas, instruções e procedimentos, proporciona um trabalho prazeroso e gratificante. Neste contexto de valorização da segurança em detrimento da vida a atividade de trabalho deve ser encarado como meio de vida e não como meio de morte, pois trabalhamos para viver, e viver de bem com a vida.

3.1.1 Construção do trabalho

Um trabalho, quando bem construído e norteado pelos princípios morais, éticos, profissionais e sociais, traz benefício para a nação, o povo e o trabalhador assim constituído. Na música "Construção", de Chico Buarque de Holanda, o compositor, ao fazer poesia do seu sofrimento, mostra a luta diária de um trabalhador da construção civil que passa por uma série de perigos e riscos para exercer a sua atividade em uma vida sem significado, totalmente desvalorizado, desprotegido e que acaba sofrendo um acidente que o leva à morte. Na música a letra tem dois momentos distintos que podemos definir a causa básica do acidente. Seria por falta de percepção de segurança ou outros motivos causais, inclusive o suicídio.

CONSTRUÇÃO - letra

Amou daquela vez como se fosse a última
Beijou sua mulher como se fosse a última
E cada filho seu como se fosse o único
E atravessou a rua com seu passo tímido
Subiu a construção como se fosse máquina
Ergueu no patamar quatro paredes sólidas
Tijolo com tijolo num desenho mágico
Seus olhos embotados de cimento e lágrima
Sentou pra descansar como se fosse sábado
Comeu feijão com arroz como se fosse um príncipe
Bebeu e soluçou como se fosse um naufrago
Dançou e gargalhou como se ouvisse música
E tropeçou no céu como se fosse bêbado
E flutuou no ar como se fosse pássaro
E se acabou no chão feito um pacote flácido
Agonizou no meio do passeio público
Morreu na contra mão atrapalhando o tráfego

Amou daquela vez como se fosse o último
 Beijou sua mulher como se fosse a única
 E cada filho como se fosse o pródigo
 E atravessou a rua com seu passo bêbado
 Subiu a construção como se fosse sólido
 Ergueu no patamar quatro paredes mágicas
 Tijolo com tijolo num desenho lógico
 Seus olhos embotados de cimento e tráfego
 Sentou pra descansar como se fosse um príncipe
 Comeu feijão com arroz como se fosse o máximo
 Bebeu e soluçou como se fosse máquina
 Dançou e gargalhou como se fosse o próximo
 E tropeçou no céu como se ouvisse música
 E flutuou no ar como se fosse sábado
 E se acabou no chão feito um pacote tímido
 Agonizou no meio do passeio naufrago
 Morreu na contra mão atrapalhando o público
 Amou daquela vez como se fosse a máquina
 Beijou sua mulher como se fosse lógico
 Ergueu no patamar quatro paredes flácidas
 Sentou pra descansar como se fosse pássaro
 E flutuou no ar como se fosse um príncipe
 E se acabou no chão feito um pacote bêbado
 Morreu na contra mão atrapalhando o sábado

Por esse pão pra comer, por esse chão pra dormir
 A certidão pra nascer e a concessão pra sorrir
 Por me deixar respirar, por me deixar existir
 Deus lhe pague

Pela cachaça de graça que a gente tem que engolir
 Pela fumaça e a desgraça que a gente tem que tossir
 Pelos andaimes pingentes que a gente tem que cair
 Deus lhe pague

Pela mulher carpideira pra nos louvar e cuspir
 E pelas moscas bicheiras a nos beijar e cobrir
 E pela paz derradeira que enfim vai nos redimir
 Deus lhe pague

A letra da música Construção, de Chico Buarque de Holanda, retrata uma verdade e, se não cuidada pela empresa dentro dos princípios morais, éticos, profissionais e sociais, pode se revelar como uma realidade cruel, exatamente como na música.

O medo pode basear-se no desconhecimento. A falta do conhecimento e domínio emocional gera insegurança. Quando as regras de condutas seguras são conhecidas, o medo de cometer algum erro é substituído pela segurança, e com domínio da situação as chances de sucesso na operação são maiores.

O desenvolvimento do processo de trabalho passando por vários estágios de forma repugnante, como é o caso do assédio e também de forma injusta e insegura no trabalho, traz como consequência o acidente com sequelas irreversíveis ou fatais.

3.1.2 Motivação no trabalho

“Se há algo que estimula a curiosidade humana é saber as razões das diferenças individuais que evidenciam as preferências e os interesses de cada pessoa. Afinal de contas, o que faz com que alguém perca uma noite de sono lendo um livro aparentemente entediante para outro leitor?

Os psicólogos acreditam que grande parte das razões da diversidade das condutas individuais decorra de um processo denominado de motivação.

Poucos colocariam em dúvida a afirmativa de que esse seja um dos mais importantes processos que explicam a conduta humana, especialmente no ambiente de trabalho.”

[3] MOTIVAÇÃO NO TRABALHO- Sonia Maria Guedes Gondi e Narbal Silva -PAG. 145

São várias as teorias de motivação criadas por vários estudiosos para tornar o trabalho prazeroso, mas, na minha vivência com os trabalhadores, sempre procuro mostrar que não basta solicitar que eles deem o seu melhor. Isso não basta e não ajuda em nada a sua autoestima. O seu interesse pela vida tem que ser o foco. Sendo assim, é preciso que as pessoas se valorizem e possam vislumbrar o que elas esperam delas mesmas, e que mesmo havendo tarefas desafiadoras, não lhes falte a determinação de que são facilmente atingíveis por qualquer um. Afinal, é ele o profissional, o especialista e é o trabalhador o maior convededor do perigo e do risco que a sua profissão e atividade oferece e que vai exigir dele atenção e cuidado especial. Portanto, é fundamental que o trabalhador tenha a sensibilidade para sentir e perceber o perigo e o risco de sua atividade de trabalho e assim estabelecer as medidas de controle para tornar a sua atividade segura. Sou partidário da teoria: “Querer é poder” e o conhecimento é transformador. Quanto mais conhecimento adquirido mais condições temos para realizar nossa atividade com segurança.

O ser humano é inteligente e livre pela vontade. É o seu querer que o leva a ser, a ter, e a fazer o que ele bem entende. Segundo Einstein, na essência do ser humano 99% é inspiração e 1% é inspiração. Portanto, sejamos mais humanos e mais profissionais obedientes e conscientes dos nossos deveres e direitos. Recebemos a inteligência e o livre arbítrio de Deus para fazermos o nosso melhor, mas é necessário a vontade, o querer para fazer.

Assim, somos instrumento de Deus para fazer o bem. Portanto, quando executamos uma atividade, qualquer que seja, é necessário ter conhecimento e domínio emocional para realizar a atividade focado em fazer o melhor com qualidade e segurança.

"A Teoria da Auto Regulação (kanfer, 1977, Eccles e Wigfield,2002) segue a mesma linha argumentista da Teoria da aprendizagem Social de Bandura e descreve o fluxo por meio do qual a pessoa obtém informações no ambiente, como as processas e as finaliza em ações controladas . Kanfer (1977) afirma que o processo de autorregulação envolve três componentes: auto-observação (atenção dirigida para a própria pessoa), auto-avaliação (comparação entre os objetivos pretendidos e as condições pessoais para atingi-los) e auto-reação (resposta efetiva à auto-avaliação negativa ou positiva e a crença na capacidade de realização). Em resumo, o processo envolve perceber, comparar e agir,"

[4] MOTIVAÇÃO NO TRABALHO- Sonia Maria Guedes Gondi e Narbal Silva-paq. 158

Apesar de haver outras tantas teorias de motivação, optei por esta por entender que é a que mais se adequa à condição do trabalhador de se auto avaliar sobre a importância da preservação da sua vida como meta principal e para melhorar o seu desempenho no trabalho. Afinal, o nosso maior patrimônio é a nossa vida. Querer preservar a vida é uma necessidade básica para a nossa sobrevivência.

3.1.3 Preservação da vida

O povo brasileiro é essencialmente religioso, cada um sabe como professar a sua fé, com respeito e decência sem ofender as outras religiões. Independentemente do tipo de denominação religiosa que frequentamos, somos criaturas geradas e que precisamos agradecer sempre a Deus por nos ter dado a vida. A oração é o caminho para se chegar a Deus.

Quando vamos trabalhar, às vezes agimos de forma preguiçosa e desatenta, contando muitas vezes com a sorte, e isso não é bom. Se não estivermos focados naquilo que vamos executar com atenção, tudo perde o sentido de amor à vida. Trabalho é meio de vida, e vida é alegria!

Podemos perceber isso quando estamos dançando, festejando, namorando, brindando, abraçando, sorrindo e fazendo graça; estamos homenageando a vida e não a maltratando. Assim deve ser nosso comportamento e atitude na execução do nosso trabalho de forma prazerosa. Que sejam muitos esses momentos de comemoração e alegria compartilhados, pois atraem a melhor das energias que a vida proporciona. Sentir-se alegre não deveria causar desconfiança, o espírito leve só enriquece o ser humano, pois é condição primordial para fazer feliz a quem nos rodeia é também estar feliz. Como sempre, não realizamos nada sozinhos, trabalhamos em equipe.

Uma equipe alegre e feliz deixa o perigo e risco sob controle e a segurança passa ser um valor na nossa vida.

É muito bom ganhar um presente. Quando você ganha um presente, você fica tão agradecido que sente a necessidade de retribuir esta manifestação de carinho com um sorriso, um aperto de mão, um abraço ou até mesmo com um outro presente à pessoa que te presenteou. Todos nós recebemos diariamente presentes de Deus que é a vida. Como podemos agradecer a Deus por este presente? Orando, rezando. O que é orar, rezar? É conversar com Deus. A oração é o caminho para se chegar a Deus. Aprendemos que orar e rezar é conversar com Deus. E quando você canta? Quando você canta você está louvando a Deus. Então, cantar é conversar duas vezes com Deus.

O nosso maior patrimônio é a vida, enquanto tivermos vida, teremos trabalho. O trabalho identifica, dignifica e edifica o ser humano. Então, precisamos preservar a nossa vida para trabalhar e construir o nosso projeto de vida.

A vida é um presente de Deus, abri-lo com cuidado, leveza, inteligência e tolerância é a única forma de agradecer a Deus o dom da vida. Portanto, orar e rezar é conversar com Deus. De uma forma bem alegre e emocionante, vamos conversar com Deus, através desta oração (letra) que fiz, tendo como fundo musical a música Hallelujah de Leonard Cohen.

Somos instrumentos de Deus para fazer o bem.
Não saímos do ritmo, Deus é o Maestro Supremo. Vamos conversar com Deus cantando?

Pai, eu quero...

Pai, saio para trabalhar, não deixo de orar para ti
Para agradecer o dia que recebi
Meu trabalho é importante pra mim
Me dê proteção do início ao fim
E a ti render glória e aleluia
Aleluia, Aleluia, Aleluia, Aleluuuiaaaaaaa

Quando perigo e o risco surgir
Seguro sempre estarei, Senhor
Pois tu és minha luz, oh, Deuuus
Guiai minhas mãos, meu olhar, meu sentir, meu
coração e o meu ouvir
Que a ti cantarei glória e aleluiaaaa
Aleluia, Aleluia, Aleluia, Aleluuuuuiaaaaaaa

Senhor, quero comer o pão com o suor do meu rosto
Ouvir da família que sou vencedor
Não ter vergonha do que sou, oh, Paiiiiiiiii
Toda minha vontade está em ti
Confio no meu Senhor e no meu Deus
Tu és o caminho, a verdade e a vida,
aleluiaaaaaaaaaa
Aleluia, Aleluia, Aleluia, Aleluuuuuuuu
Aleluia, Aleluia, Aleluia, Aleluuuuuaaaaaa

3.1.4 Desempenho no trabalho

O maior investimento de uma empresa deve estar nas pessoas, pois é nelas que está centralizado o trabalho e o poder da decisão em fazer ou não fazer, em fazer tudo ou só uma parte, em fazer correto ou mais ou menos, em fazer agora ou depois, bem feito ou mal feito, certo ou errado...

O ser humano é um animal racional que tem consciência, ou seja, que pensa, raciocina e desenvolve suas atividades de trabalho de forma consciente e obediente com o propósito de estabelecer metas e obter resultados. Seu foco no trabalho é preponderante para o êxito ou fracasso na operação. Uma das armadilhas que colocamos para nós mesmo é o tempo que passamos longe do aqui e agora, pois quem não sente não está presente, não está consciente e quem não está consciente não está obediente não raciocina. No meu entendimento, os fatores principais para se buscar o equilíbrio num processo de trabalho é agir com segurança. Para tanto é necessário ter atitude e comportamento seguro que é fundamental para se ter o controle do medo.

A atitude é o guia interno para o comportamento, refere-se ao indivíduo (valores pessoais, crenças...) é a sua personalidade e o comportamento é o ato observável, ou seja, é o pensamento naquilo que alguém faz (ou não faz). Portanto, atitude e comportamento seguros, alinhados com o comprometimento de fazer sempre o que é certo, conforme determina a norma, instrução e procedimento são a base de tudo. Neste processo, se bem conduzido, levam as pessoas a identificar o perigo, avaliar e gerenciar o risco. "Tudo se resume na disciplina", como diz o maestro Isaac Karabichevsk. Precisamos ter o conhecimento do perigo e o domínio do risco que nada mais é do que ter um comportamento obediente em fazer o que é determinado na norma, instrução e procedimento e adotar uma atitude consciente, conforme a sua sensibilidade com controle operacional.

O controle operacional nada mais é do que adotar uma atitude consciente avaliando e gerenciando o risco com a adoção de medidas de segurança que vão minimizar os riscos, se comportando de forma em fazer o que é certo o tempo todo obediente diante de um perigo identificado.

3.2 IDENTIFICANDO PERIGO AVALIANDO E GERENCIANDO RISCO

A alta Direção da empresa deve estar empenhada em definir e adotar uma política de SST desde a sua organização, planejamento, bem como quanto aos cumprimentos das medidas de segurança e assegurar que, dentro do escopo definido de seu sistema de gestão de SST, a política de segurança e saúde no trabalho seja aplicada de forma didática através de treinamento específico sobre percepção

de segurança de forma dinâmica, interagindo com o trabalhador, simulando uma operação segura.

A empresa deve definir em sua política de SST e em seu sistema de gestão de pessoas, uma diretriz específica para Avaliação e Gerenciamento de Riscos. Esta deve ser a regra básica de uma empresa saudável que busca preservar a vida de seus trabalhadores. Os perigos inerentes às atividades da empresa devem ser identificados, e os riscos avaliados e gerenciados, de modo a evitar a ocorrência de incidentes e acidentes e/ou assegurar a minimização de seus efeitos.

O processo de trabalho seguro consiste na percepção do trabalhador de identificar a natureza do perigo e determinar o nível de gravidade deste risco. Esta observação deve estar presente em todas as fases dos empreendimentos (atividades de trabalho) e produtos de uma empresa (máquinas, acessórios, equipamentos e sistemas), ocorrendo de maneira sistematizada e periódica.

Uma vez identificados os perigos de sua atividade o trabalhador, deve avaliar e gerenciar a frequência e as consequências dos eventos indesejáveis que são os riscos, obtendo o domínio da situação, definindo medidas de segurança (controle) e acompanhamento de sua implantação de forma segura (foco) para atingir o sucesso do processo de trabalho, como ilustra os círculos com as intercessões abaixo:

PROCESSO DE TRABALHO SEGURO



1- CONHECIMENTO TÉCNICO E OPERACIONAL

Nesta fase o trabalhador detentor do saber ele pensa e a sua ação identifica o perigo e administra de forma obediente o seu conhecimento técnico e operacional.

2- DOMÍNIO EMOCIONAL

Nesta fase o trabalhador tem o seu foco direcionado para uma reação proativa em função dos riscos, com domínio emocional da situação, uma personalidade que o leva a executar sua atividade de forma consciente e segura.

3- MEDIDAS DE SEGURANÇA

Nesta fase é o momento de reflexão do trabalhador quanto à execução da atividade com a valorização

da vida e onde são checadas se todas as medidas de segurança foram adotadas.

4- TRABALHO

Nesta fase é o momento em que a atividade é realizada de forma obediente e consciente.

5- COMPORTAMENTO

Nesta fase é o momento de realização da atividade com base no conhecimento e adotando um comportamento seguro.

6- ATITUDE

Nesta fase é o momento quando realiza a atividade com domínio emocional e adotando uma atitude segura.

7- CONCLUSÃO DO TRABALHO

Esta é a fase conclusiva da atividade de forma impecável, com comprometimento por parte do trabalhador de forma segura, com ordem, limpeza e arrumação.

8- RESULTADO DO TRABALHO

Nesta fase é o momento de realização do trabalhador pelo sucesso obtido. É o momento para se fazer redução da imprevisibilidade, onde outro ciclo recomeça com um novo estudo, para uma mesma atividade.

Uma boa política de SST deve estar embasada no treinamento. O treinamento deve ensinar o trabalhador a pensar mais efetivamente, a tomar decisões precisas, a sentir a si mesmo e a realidade, para um conveniente dimensionamento da qualidade de vida. Com esta visão ele se torna mais capacitado a selecionar as experiências mais favoráveis para a construção de sua felicidade pessoal e profissional, decorrente da realização de suas potencialidades e plena utilização de seus talentos e habilidades. O maior investimento de uma empresa deve estar nas pessoas, pois é nelas que está centralizado o trabalho e o poder da decisão em fazer ou não fazer, em fazer tudo ou só uma parte, em fazer correto ou mais ou menos, em fazer agora ou depois, bem feito ou mal feito...

2.2.1 Trabalho complexo continuado coletivo perigoso - CCCP

Toda atividade de trabalho deve ser encarada como: Complexo, Continuado, Coletivo e Perigoso. Toda atividade é complexa e exige continuidade de forma coletiva voltada para o potencial de perigo e o risco que a atividade oferece. Assim entendemos que a segurança deve estar presente desde o início de todos os processos de trabalho até a sua conclusão final e depois repetir o mesmo ciclo de forma continuada. Partindo deste princípio entendemos que: o perigo é constante e o risco pode ser minimizado.

Sabemos que em toda atividade de trabalho estaremos diretamente ligados ao perigo e ao risco. É bom ressaltar que tudo vai depender do tipo de alerta que é passado sobre o processo de trabalho e a atividade a ser realizada. Ou seja, a forma de passar uma informação quanto ao perigo

e o risco é fundamental para que o processo de segurança tenha êxito.

O entendimento e a aceitação quanto a atenção e foco no perigo e o controle do risco que o trabalhador principalmente deve adotar para a sua segurança, estão associados ao seu comportamento e atitude, bem como na forma de que ele é treinado e alertado de forma didática. Vejamos o exemplo abaixo:

Em que parte do corpo as pessoas são mais agredidas num baile funk? No ouvido. No entanto quanto mais aumentar o som, maior é a satisfação do jovem. Assim, quanto mais alto for o som, mais agitados os jovens vão ficar. Correto? Agora procure alertá-los que o som alto pode deixá-los com impotência sexual. O que pode acontecer???

PERIGO RISCO/EFEITO

Funk	Som/Dançar
Funk	Som/Surdez

CONTROLE

umentar o som
abaixar o som

Tem vários casos de pessoas que tiram a poeira do uniforme utilizando o ar comprimido, tem até casos de pessoas que lavam dentaduras utilizando desengraxante para clarear, e outros que cheiram solventes para ficar mais animados ao executar o trabalho de pintura. Teve um caso absurdo e fatal em um jovem onde introduziram mangueira de ar no seu ânus. O adolescente faleceu depois de 11 (onze) dias de internado. O jovem tinha 17 (dezessete) anos e era funcionário de um lava-jato. Será que as pessoas envolvidas não tinham medo ou não conheciam o perigo e o risco deste processo com ar comprimido? Ou então, não são profissionais qualificados, habilitados, capacitados, credenciados ou autorizados para executar tal atividade.

[1] A matéria publicada no Correio Braziliense 16/02/17.

2.2.2 Fazendo faca e facão controlando o medo

O medo é a porta para o fracasso. A pessoa que ama aquilo que faz, faz bem feito, faz com carinho, com atenção, controlando o medo e executando sua atividade com muita segurança e, dessa forma, não existe espaço para o fracasso.

Esta afirmativa eu obtive ao entrevistar o Josenilton que exerce profissão de Auxiliar de Manutenção nas dependências da PETROBRAS e que nas horas vagas em sua casa realiza trabalhos artesanais, confeccionando e comercializando faca e facão. Ele manifestou ter muito talento e habilidade para executar suas peças e sempre com alegria, sentindo orgulho e uma satisfação enorme nesta atividade seguindo em frente com amor ao confeccionar suas peças, controlando o medo e procurando não se distrair usando sempre seus EPIs.

Minha abordagem junto ao entrevistado vem confirmar a afirmativa acima: "O medo é a porta para o fracasso." Quando você não tem domínio e controle sobre o medo, o fracasso é certo e com consequências gravíssimas em caso de acidente. Uma frase interessante do filme do Batman (O cavaleiro das trevas ressurge) é marcante e fala sobre o medo: " Eu não tenho medo, eu tenho raiva."

A entrevista foi conduzida dentro de uma total tranquilidade onde o entrevistado se portou muito bem e soube colocar seus pontos de vistas com muita propriedade e simplicidade.

Vejamos as perguntas e as respostas do entrevistado Josenilton:

1- Como vai Josenilton tudo bem?

Tudo bem, bom dia!

2- Onde você aprendeu a fazer essas peças artesanais?

Bem, eu já gostava disso há muito tempo só não tinha oportunidade de fazer. Agora tive oportunidade de fazer pesquisando e fui aprendendo. Fui pesquisando, pesquisando e fui fazendo e foi dando certo. Estou levando adiante e para mim está sendo muito satisfatório.

3- Você aprendeu sozinho então, e pesquisando na Internet, não é isso?

Isso pesquisando na Internet, vendo como ficava e fui fazendo. Entre erros e acertos até chegar a um ponto satisfatório.

4-Então, por mera curiosidade? Sim.

5- Qual o perigo e o risco em fazer as peças?

Bem, o perigo existe porque a gente trabalha com ferramentas elétricas e ferramentas manuais e a gente tem que controlar esse perigo usando os EPIs corretos e com muita atenção ao exercer este tipo de atividade porque realmente é perigoso já que trabalhamos com ferramentas rotativas e ferramentas cortantes

6- Quer dizer que o perigo e o risco são constantes na sua atividade de trabalho? Sim.

7- O perigo é constante e o risco pode ser controlado. Correto?

Pode ser controlado trabalhando com atenção e usando os EPI corretamente

8- Quando você executa o seu trabalho você sente algum medo ao lidar com as peças?

Sim, o medo existe e é o medo que nos mantêm focados e mantém a gente com bastante atenção em qualquer atividade que vai exercer.

9- E como você controla esse medo?

Me mantendo focado na minha atividade, uso meus EPI correto, e procuro não me distrair.

10- Você ao confeccionar essas as peças, você sente que você tem habilidade e talento para isso?

Sim, tenho bastante talento graças a Deus e consigo executar o meu trabalho com sucesso.

11- Como você controla então esse medo?

Usando EPI, tendo bastante atenção ao trabalho do que estou fazendo e levando adiante, é claro.

12- Criança tem medo?

Tem! Não! Criança não tem medo.

13-Como assim?

A criança ele quer fazer tudo o que vem na cabeça, inclusive a pouco tempo levei meu filho na praia.

14- Quantos anos ele tem e o que aconteceu?

Ele tem (03) três anos. Ele correu para uma onda que vinha em encontro a ele e eu estava até filmando ele e tive de jogar meu telefone fora, na areia, para ir resgatá-lo da agua.

15- Então, na sua atividade você está sempre controlando o medo.

Controlando o medo para conseguir executar o meu trabalho com sucesso.

16-Você havia comentado sobre um trabalho que estava realizando todo equipado, inclusive com macacão?

Isso, e o disco veio a esfarelar e vir partícula de fibras, por que disco de corte contém fibras de vidro e veio a cair partículas em cima de mim e se eu não estivesse com o macacão poderia ter causado irritação na minha pele.

17-Qual a sua sensação quando você faz as suas peças?

Sinto bastante orgulho e motivação para seguir em frente.

18- Qual o seu recado para as pessoas que amam aquilo que faz, ou seja, que gostam de trabalhar?

Se tiver um tempo como eu tenho nas horas vagas, vai em frente que é bom. Vai levantar muito a nossa moral e é legal. É muito satisfatório a gente saber que tem uma pessoa em um outro lugar que adquiriu um produto que você confeccionou.

19- Que foi feito com amor?

Com amor.

20- Então, quem ama faz bem feito?

Faz bem feito, faz com atenção, faz com carinho. E é isso aí.

21- Obrigado Josenilton tudo de bom para você. Sucesso meu irmão!

Ok! Obrigado!



4. RESULTADO

4.1. EXPANDIR O CAMPO DA PERCEPÇÃO DA SEGURANÇA

O mundo atual está em constantes mudanças sociais, econômicas e políticas, de modo especial no mundo do trabalho que têm promovido novos desafios de análise e reflexão. As formas de organização, as relações interpessoais e as condições do trabalho têm apresentado diferentes necessidades e riscos, potenciais causadores de danos psicológicos, sociais e/ou físicos aos trabalhadores.

O mundo do trabalho cada vez mais exige o desempenho de máquinas e os avanços tecnológicos têm exigido um esforço mental do ser humano, muitas vezes até os colocando além de seu limite físico e psicológico. Os riscos psicossociais no trabalho, e assédio moral, como um exemplo, podem comprometer a saúde e a qualidade de vida dos trabalhadores, bem como o desempenho organizacional.

A tecnologia está batendo na porta das empresas oferecendo seus serviços, profissões estão sendo extintas ou substituídas por máquinas. O homem não vai ser extinto, mas já está sendo substituído por máquinas e a vida é o seu maior patrimônio. É fundamental que se pense na formação de uma nova cultura de segurança inovadora e em sintonia com a tecnologia, baseada em treinamento que valoriza a vida, a atitude e o comportamento do ser humano, para ele não perder a sua essência.

A sua alma precisa de alimento, senão morre. O trabalho é o alimento que a alma precisa para se energizar e o corpo se fortalecer.

Segurança é uma característica disposicional do indivíduo, organizada através da sua experiência, que o impulsiona a procurar o equilíbrio em determinadas atividades, compreensões, habilidades, talentos ou objetivos como foco de sua atenção, visando o controle e o domínio da situação. A segurança neste artigo se fundamenta tendo como referência uma balança e não precisa ser de muita precisão: basta apenas ter dois pratos e entender que, para definirmos o peso em quilogramas de um produto, é necessário colocar o produto em um prato da balança e um peso contendo 1kg no outro prato da balança. O equilíbrio dará o peso exato do produto.

Fator segurança são medidas de controle em um processo de trabalho que estabelece o equilíbrio dos fatores perigo e risco, ou seja, operação de trabalho sob controle. Isso quer dizer que o fator segurança está atuando de forma a deixar o processo de trabalho sob controle. E o que é fator segurança? Segurança é a atitude e o comportamento do trabalhador em fazer o que é

certo o tempo todo. E como sei que estou fazendo o certo, então eu tenho conhecimento específico e domínio emocional da situação.

Para um trabalho a dez metros, o que é perigoso é a altura e o risco é a queda. Então, para encontrar o fator segurança (equilíbrio) e fazer o que é certo, é preciso agir com atitude e comportamento seguro, adotando e cumprindo a norma NR 35.

Precisamos tomar atitude, no sentido de que esta é uma disposição interna do indivíduo onde a sua personalidade vai reagir de determinados modos em relação a um dado objeto ou evento. Pode se ter preferência por um evento em relação a outro, ter uma atitude favorável em relação a ambos, mas ainda não ter interesse em nenhum deles. Já no caso do comportamento, trata-se do que é desejável, do que nós gostaríamos que fosse ou que acontecesse, influenciando o curso das decisões que tomamos relativamente às nossas ações do pensamento de fazer ou não fazer.

A atitude nos predispõe para o que queremos fazer conscientes e o comportamento nos aponta para aquilo que nós acreditamos que deveríamos fazer obedientes às normas, instruções e procedimentos.

5. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por quê Percepção de Segurança & Música?

Quais são os órgãos mais importantes e principais do corpo humano? CORAÇÃO E CÉREBRO. Se o coração não bate, ele não bombeia sangue para o cérebro e a gente morre. "Mente sã, corpo são." Lembram-se de quem disse isso? Foi o filósofo e poeta romano Juvenal.

Para exercer sua atividade de trabalho, o profissional tem que ter domínio emocional: seu sentimento utilizando o seu coração e muito conhecimento e seu saber utilizando o seu cérebro.

Segurança é um estado de espírito. A música transforma o coração e a mente das pessoas, deixando-as seguras, alegres e serenas.

O trabalho identifica, edifica e dignifica o homem. Devem ser desenvolvidos pela empresa, programas e metodologias didáticos, pedagógicas e educativas, para formação e capacitação do profissional, fundamentadas no psicológico do trabalhador.

O ser humano tem necessidade de se sentir valorizado e reconhecido. A valorização da vida e do profissional é o fator principal para a sua segurança e sobrevivência. Assim, o contato físico, um abraço, até mesmo os sorrisos estão acabando, devido a era da Informática. Hoje você

estuda sem precisar frequentar uma escola, faculdade... é tudo a distância, na frente de um computador, uma frieza total e com isso estamos formando, treinando e capacitando profissionais doentes e frios.

As pessoas podem comprar um produto sem conhecer o vendedor, sem precisar da sua presença e até mesmo sem a sua influência, apenas pela voz ou uma simples imagem na tela, bastando ter as características, valor e condições de pagamento. Pronto! Já é suficiente para se adquirir um produto, mas falta o calor humano que é a chama que satisfaz seu ego. Precisamos urgentemente repensar a maneira de formar, treinar e capacitar os atuais e futuros profissionais, senão teremos uma legião de robôs com sangue e alma fria.

O trabalho apresentado está focado na necessidade de mudança da cultura de segurança, partindo da relação do perigo e risco no exercício do trabalho, propondo atingir a inteligência emocional do trabalhador. Portanto, a necessidade do estabelecimento de medidas de controle consciente e obediente, com relação a execução do trabalho. É fundamental para que o trabalhador adote comportamento e atitude segura com ações voltadas para a sua formação, capacitação, educação e conscientização através de metodologia de treinamentos diferenciados agregando valores sociais e emocionais para uma conduta segura na execução da sua atividade de trabalho. Com o momento atual que as empresas e o país estão atravessando e com as diversas e rápidas inovações tecnológicas, é necessário ensinar ao trabalhador a pensar de forma diferente.

Ensinar é uma arte. Ensinar não é mais levar o conhecimento para a sala de aula e, sim, enriquecer e valorizar os conhecimentos dos participantes, as referências de vida, tornando o aprendizado mais agradável e contextualizado. Não basta só ensinar, tem que interagir com os trabalhadores, tem que saber fazer saber. Estamos na era digital e tudo que puder ser digitalizado, será digitalizado; é a tecnologia ocupando o espaço do homem moderno. Aquilo que é exclusivo do ser humano será a diferença no futuro próximo. A ética, moral e os bons costumes, como também a criatividade, talento e habilidade são os valores e qualidades que só o ser humano têm. Aquele que carregar esses valores e qualidades consigo terá mais tempo para compreender o outro e o seu desempenho no trabalho será vitorioso. Bem como para aquele que souber trabalhar com outro de forma agregada, em equipe e solidária, compartilhando conhecimentos e emoções. O processo de treinamento e aprendizagem deve ser realizado de forma que consiga chamar a atenção das pessoas para o embate e desenvolvimento do ser, contemplando, além dos conhecimentos profissionais, as questões sociais e emocionais.

Precisamos colocar o homem no centro do processo e não a tecnologia. A tecnologia é meio, não é fim. A tecnologia diz como devemos fazer, mas é o homem quem faz, para ter uma vida mais digna, humana, agradável e gentil. Quando esses valores forem aplicados através de uma metodologia que permita transformar a cultura de segurança do jeito que nós, prevencionistas, queremos, a segurança será vista como meio de vida. Se nos afastarmos deste conceito, vamos sofrer muito no futuro.

Precisamos tornar os cursos, treinamentos, aulas e palestras mais humanas, onde os participantes aprendam brincando os valores humanos. Isso mesmo: brincando e não brigando e se matando, como vemos nas escolas. A forma desumana adotada, onde o sujeito é relegado a segundo plano, onde professor é agredido, crianças são queimadas vivas e jovens são mortos a bel prazer é, definitivamente, inaceitável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Bibliografia

- [1] [2] [3] [4] OHSAS 18001:2007 - Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho
- ABNT NBR ISO 9000:2005 – Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulário
- ABNT NBR ISO 9001:2000 – Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos
- ABNT NBR ISO 14001:2004 – Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso

[1] Minidicionário

Houaiss da língua portuguesa - Antônio Houaiss
Rio de Janeiro Editora Objetiva, 2004.

[1] [2] [3] [4] Livro Psicologia, Organizações e Trabalho no Brasil

Organizado por José Carlos Zanelli, Jairo Eduardo Borges – Andrade e Antônio Virgílio Bittencourt Bastos Porto Alegre: Artmed, 2004 Reimpresso 2011

[1] Matéria jornalística

A matéria publicada no Correio Braziliense
16/02/17.



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

ANÁLISE PARAMÉTRICA DOS COMPONENTES DE RISCO CONFORME A NORMA ABNT NBR 5419-2: 2015 PARA A PROTEÇÃO CONTRA AS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Hélio Eiji Sueta
IEE-USP
sueta@iee.usp.br

Miltom Shigihara
IEE-USP
mshigi@iee.usp.br

Luis Eduardo Caires
IEE-USP
luis@iee.usp.br

RESUMO

Uma das maiores novidades quando da publicação das quatro partes da ABNT NBR 5419 em 2015 [1], norma brasileira sobre proteção contra descargas atmosféricas, foi a parte 2 que se refere ao Gerenciamento de Risco. Esta parte permitiu um avanço na forma de definir as medidas de proteção necessárias para que os riscos em uma edificação fiquem dentro de valores toleráveis para a proteção de pessoas e patrimônio em relação aos efeitos das descargas atmosféricas.

São diversos os parâmetros da edificação a serem analisados e que devem ser modificados de forma que os riscos fiquem abaixo dos valores considerados toleráveis segundo a norma.

Após praticamente 4 anos de publicação da norma, este trabalho apresenta os parâmetros mais relevantes na análise de risco para diferentes tipos e utilização de estruturas e apresenta recomendações para a proteção de pessoas e patrimônios em relação às descargas atmosféricas.

São apresentados casos típicos com a variação de alguns parâmetros importantes para verificação do impacto do valor (“peso”) destes nas medidas de proteção necessárias para que os riscos fiquem com valores toleráveis.

A Planilha TUPAN [2], desenvolvida no IEE/USP, é utilizada para simulação dos casos e análise dos resultados.

Importante ressaltar que a Norma Regulamentadora Nº 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade [3], mostra no parágrafo b) do item 10.2.4 que “estabelecimentos com carga instalada superior a 75 kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas (PIE), contendo, além do disposto no subitem 10.2.3, no mínimo..., a documentação das inspeções e medições do sistema de proteção

contra descargas atmosféricas e aterramentos elétricos”. Pela norma ABNT NBR 5419: 2015, deve ser contemplada nesta documentação, a análise de risco.

1.0 – INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas são fenômenos naturais que podem causar muitos danos às estruturas, aos equipamentos dentro da estrutura e até mesmo ferimentos fatais aos seres vivos dentro e fora destas estruturas. Além disto, elas são responsáveis por muitos desligamentos do sistema elétrico, tanto na transmissão de energia como na distribuição da mesma.

As descargas atmosféricas quando atingem diretamente as estruturas e/ou as linhas que alimentam estas estruturas (linhas de energia, telecomunicações, redes, TV, etc) podem causar danos mecânicos imediatos, tais como fogo, explosão, perfuração de coberturas; fogo e/ou explosões iniciados por centelhamentos devidos a sobretensões resultantes de acoplamentos eletromagnéticos, devido à passagem de um intenso pulso de corrente da descarga atmosférica e à falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido a esses surtos de origem atmosférica (LEMP).

Se a descarga atingir pontos próximos à estrutura, pode causar falha ou mau funcionamento aos sistemas internos e se atingir pontos próximos às linhas, pode causar ferimentos às pessoas devido ao choque elétrico; fogo, explosão, destruição mecânica, liberação de produtos químicos, devido às correntes da descarga e eventuais centelhamentos, além das falhas dos sistemas internos ocasionados pelos surtos.

A norma brasileira, ABNT NBR 5419: 2015 [1], publicada em 4 partes estabelece requisitos para

a proteção de pessoas e estruturas contra as descargas atmosféricas.

A Parte 2 desta norma trata do Gerenciamento de Risco. Nesta parte estuda-se diversos parâmetros da estrutura para se obter quatro tipos de riscos: Risco de perda de vida humana (R1); Risco de perda de serviço ao público (R2); Risco de perda de patrimônio cultural (R3) e Risco de perda de valor econômico (R4).

Este trabalho analisa os parâmetros mais importantes em três tipos de estruturas: uma indústria, um edifício de apartamentos e um shopping center. Para estes três tipos de estruturas, dois parâmetros influenciam bastante na análise de risco: a densidade de descargas atmosféricas para o solo (Ng) e a localização da estrutura. Se a estrutura estudada se localiza próxima a outras mais altas ou de mesma altura ou mais baixas, ou se a estrutura está isolada, portanto, está mais exposta às descargas atmosféricas.

No caso das estruturas industriais, outro parâmetro muito importante é o risco de incêndio e, principalmente, risco de explosão. Neste caso, os riscos aumentam muito e as medidas de proteção necessárias são mais complexas. A quantidade de pessoas e o tempo que estas ficam na estrutura também foram analisados.

Neste trabalho foi analisado o Risco de perda de vida humana (R1) cujo valor tolerável indicado na norma é de 1×10^{-5} .

2.0 – DESENVOLVIMENTOS

Considerando três tipos de estruturas: uma industrial, uma residencial e uma comercial com dimensões típicas foram realizadas diversas análises de risco utilizando a Planilha TUPAN de acordo com a ABNT NBR 5419-2: 2015 com variação dos principais parâmetros para a verificação das influências destes no risco nestas estruturas.

2.1 – ESTRUTURA TIPO INDUSTRIAL

Consideramos inicialmente um galpão industrial de 30 metros de largura, 80 metros de comprimento e 15 metros de altura. Neste galpão trabalham 300 pessoas onde 290 (na maioria das simulações) trabalham internamente ao galpão e 10 circulam nas redondezas (até 3 metros das paredes) do galpão na área externa. Consideramos que uma linha de energia aérea de Baixa Tensão de 300 metros alimenta o galpão e que não existe nenhum tipo de perigo especial em relação a pânico ou dificuldade de evacuação no caso de alguma falha devido às descargas atmosféricas.

Neste tipo de estrutura foram feitas mais de 20 simulações de análise de risco variando o Ng, a

localização da estrutura, o risco de incêndio e / ou explosão e a divisão dos funcionários em zonas de estudos.

Foram calculados os riscos R1 e R2 (R2 geralmente não obrigatório neste caso) e verificadas as medidas de proteção necessárias para que estes fiquem com valores toleráveis pela norma.

2.2 – ESTRUTURA TIPO RESIDENCIAL

Como estrutura tipo residencial consideramos um prédio de apartamentos com 15 andares mais térreo com 4 apartamentos por andar, com 18 x 25 e 45 metros de altura. Considerando uma média de 4 pessoas por apartamento (240 no total) e um tempo de permanência total de 8760 horas por ano.

Neste tipo de estrutura foram feitas mais 10 simulações variando o Ng, a localização e em alguns casos o tipo de linha de energia (aérea ou enterrada). Foram consideradas 10 pessoas em média na parte externa da edificação e as demais (230) na parte interna. Foi considerado um risco de incêndio normal e um nível médio de pânico.

Nestas simulações foram considerados apenas o risco R1.

2.3 – ESTRUTURA TIPO COMERCIAL

Consideramos agora uma estrutura comercial tipo Shopping Center. Neste caso consideramos uma estrutura de 200 x 400 metros e 15 metros de altura. Consideramos que neste shopping tenha um público de 5.000 pessoas por um período de 15 horas diárias, sete dias por semana.

Foram feitas 10 simulações utilizando o TUPAN variando o Ng e a localização. Foram consideradas que as 5000 pessoas estão na parte interna, que o risco de incêndio é normal, que a linha de energia que alimenta o Shopping é subterrânea e que o nível de pânico é alto no caso de algum acidente envolvendo descargas atmosféricas.

Nestas simulações apenas o risco R1 foi analisado.

3.0 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

As análises realizadas para cada tipo de estrutura indicam as medidas de proteção mínimas necessárias para se ter riscos com valores considerados toleráveis. Medidas mais abrangentes podem ser necessárias para a adequação a outras normas (por exemplo a NBR 5410) ou regulamentos específicos (por exemplo, instruções técnicas de Corpo de Bombeiros) ou mesmo medidas indicadas pela boa prática e bom senso.

3.1 – ESTRUTURA TIPO INDUSTRIAL

Considerando uma estrutura tipo industrial, com duas zonas de estudo: uma área externa, onde próxima às paredes externas passam 10 pessoas e internamente 290 pessoas, verificamos inicialmente a influência da densidade de descargas atmosféricas por km² por ano (Ng): 4, 10 ou 15; a influência de outras estruturas próximas e a influência do tempo da presença das pessoas na estrutura: ano inteiro, 24 horas por dia ou 10 horas por dia, 6 dias por semana ou 10 horas por dia, 5 dias por semana.

Nestas primeiras simulações, verificamos a influência do Ng considerando objetos maiores próximos à estrutura estudada e um turno de 24 horas o ano inteiro e sem riscos de incêndio (situação de baixa possibilidade) e perigo especial. Para valores de Ng baixos, da ordem de 4 descargas por km² por ano, o Risco de perda de vida humana (R1) para esta estrutura sem SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) ficaria dentro do tolerável, ou seja, abaixo de 10⁻⁵. No entanto, se esta estrutura estiver instalada em um local com Ng da ordem de 10, o risco já fica fora do limite tolerável (1,62 x 10⁻⁵). Se considerarmos esta estrutura com um turno de 10 horas por dia, 6 dias por semana, o risco já ficaria dentro do tolerável. Este último caso em um local com Ng acima de 15 já ficaria com o risco de perda de vidas acima do tolerável. Seria necessário que se instalasse, pelo menos, um conjunto de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) calculados conforme Nível de Proteção I ou que a indústria tivesse um dia a menos de trabalho, por exemplo, 10 horas por dia, 5 dias por semana.

Considerando agora que a estrutura sob estudo esteja cercada por outras estruturas de mesma altura ou mais baixas, ou seja, um pouco mais exposta, verificamos que, para um Ng de 4 e tempo total, a estrutura ainda tem um risco R1 dentro do tolerável. Se estiver em um local com um Ng de 10, teria que ter um turno de 6 dias por semana para que este risco fique dentro do tolerável e para um Ng de 15, teria que ter um turno de 5 dias por semana. Com turnos superiores a estes, outras medidas de proteção seriam necessárias.

No caso de uma estrutura isolada, Ng de 10, turno de 5 dias, o risco R1 está dentro do tolerável, porém para Ng de 15 já ficaria acima. Como era esperado, quanto maior a quantidade de descargas no local da estrutura, maior é o risco R1. O mesmo acontece em relação à exposição dos trabalhadores, ou seja, quanto maior o tempo das pessoas na estrutura, maior é o risco e também em relação à exposição da estrutura, quanto mais exposta, maior é o risco.

Considerando agora que a estrutura possui um risco de incêndio considerado normal. Mesmo para os Ng mais baixos (4), o R1 é intolerável. Neste

caso, os DPS na energia e nos sistemas de sinais devem ser instalados para um risco tolerável. No caso de um Ng de 10, somente os DPS não bastam, a instalação de um SPDA (NP I) deve ser considerada para risco R1 tolerável.

No caso de estruturas com risco de explosão, com Ng de 4, sem medidas de proteção, o risco R1 é altíssimo (7868 x 10⁻⁵) e com todas as principais medidas de proteção, ainda o R1 fica com valores acima do tolerável (76 x 10⁻⁵). Uma solução para uma indústria com risco de explosão seria confinar ao máximo o setor considerado como área classificada (zona 0 ou 20) e criar uma zona de estudo específica para ela. Neste caso considerar o mínimo de pessoas possível na área classificada e ficando o menor tempo possível também nesta área. No exemplo estudado, consideramos uma terceira área com 10 pessoas ficando 2600 horas por ano nesta área classificada com perigo de explosão. O R1 caiu para 0,8 x 10⁻⁵.

Neste mesmo caso, se a indústria estiver instalada em local com Ng igual a 15, uma solução seria restringir ainda mais a permanência de funcionários na área classificada, por exemplo, 3 horas por dia, 5 dias por semana ou automatizar processos diminuindo o número de pessoas no local. Neste último exemplo, automatiza-se os processos da área classificada e deixam-se, no máximo, 3 funcionários nesta área pelo tempo de 2600 horas anuais.

As Figuras A1, A2, A3 e A4, do Apêndice A, presentes neste trabalho mostram exemplos das telas do TUPAN utilizadas para a análise de risco.

Vimos que o parâmetro “Risco de explosão” é muito crítico em uma indústria. As áreas classificadas devem ser muito bem estudadas e confinadas para que o risco não ultrapasse os limites toleráveis.

3.2 – ESTRUTURA TIPO RESIDENCIAL

Considerando o prédio residencial entre outros maiores em um ambiente urbano, um nível médio de pânico, a variação do Ng mostrou que em 4 a edificação necessitaria de um SPDA Nível de Proteção IV; com Ng igual a 10, o SPDA deve ser Nível III e com Ng igual a 15, o SPDA teria que ser Nível II.

Outro parâmetro que varia no caso de prédios residenciais, é a localização das estruturas. Quanto mais exposto, maior é o risco. Assim, no caso do exemplo do edifício em um Ng igual a 10, se estiver localizado entre prédios de mesma altura ou menores, o SPDA que era Nível III deverá ser Nível II (R1 igual a 0,95 x 10⁻⁵) e se estiver isolado, além de necessitar um SPDA Nível I, terá que ter um conjunto de DPS coordenado a ser calculado conforme Nível de Proteção I ficando com R1 igual a 0,59 x 10⁻⁵.

Neste último caso, se a linha for subterrânea, teria uma boa blindagem eletromagnética e, assim para se ter uma Risco R1 tolerável, não seria necessário o conjunto de DPS na rede elétrica ou, alternativamente, caso já tenha o DPS, o SPDA poderia ser Nível de Proteção II ao invés de I.

Nestas simulações não consideramos pessoas em coberturas expostas. Neste caso, um SPDA deve sempre ser instalado para que eventuais pessoas ou animais permaneçam dentro do volume de proteção e mesmo assim, sempre é prudente que se evitem este tipo de exposição, pois estarão sujeitas a outros tipos de perigo, tais como os campos eletromagnéticos oriundos das descargas. Cartazes indicando os perigos deste tipo de exposição devem ser fixados, proibindo-se o acesso a locais expostos em períodos de tempestades com raios.

3.3 – ESTRUTURA TIPO COMERCIAL

Considerando que o Shopping Center está localizado entre outras estruturas mais altas em um ambiente urbano, um alto nível de pânico, a variação do Ng mostrou que se for 4, a estrutura necessitaria um SPDA com Nível de Proteção (NP) igual a IV; se o Ng for 10, um SPDA com NP igual a II e se o Ng for 15, um SPDA com NP igual a I.

Outro parâmetro que varia no caso de shopping, é a localização das estruturas. Quanto mais exposto, maior é o risco. Assim, no caso do exemplo de uma estrutura em um Ng igual a 4, se estiver localizado entre prédios de mesma altura ou menores, o SPDA que era Nível IV deverá ser Nível III (R1 igual a $0,79 \times 10^{-5}$) e se estiver isolado, irá necessitar um SPDA Nível II. No caso de uma estrutura em um Ng igual a 10, se estiver localizado entre prédios de mesma altura ou menores, o SPDA que era Nível II deverá ser Nível I (R1 igual a $0,67 \times 10^{-5}$) e se estiver isolado, irá necessitar um SPDA Nível I. No caso de uma estrutura em um Ng igual a 15, se estiver localizado entre prédios de mesma altura ou menores, o SPDA que era Nível I poderá ser ainda Nível I, no limite (R1 igual a $1,01 \times 10^{-5}$) e se estiver isolado, além de necessitar um SPDA Nível I, terá que ter um conjunto de DPS coordenado calculado conforme Nível de Proteção I, tanto para energia como para telecomunicação e um sistema de alarme automático para ficar com R1 inferior a 1×10^{-5} .

Destaca-se ainda que muitos Shopping Centers possuem estacionamentos abertos (descobertos) nas coberturas. Adicionalmente, de forma geral, nesse caso as pessoas circulam fora dos automóveis nessas coberturas abertas e, assim, ficam sujeitas aos perigos dos raios.

4.0 – RECOMENDAÇÕES GERAIS

As estruturas para uso industrial geralmente necessitam de SPDA após a análise de risco. A instalação do SPDA deve ser feita rigorosamente conforme as recomendações da norma ABNT NBR 5419-3: 2015. Estas estruturas possuem, na grande maioria, muitos equipamentos eletroeletrônicos internamente e mesmo que a análise de risco não indique alguma MPS (Medida de Proteção contra Surtos), os equipamentos devem ser protegidos contra os surtos advindos das descargas atmosféricas. Uma forma bastante eficaz para isto é a instalação de um sistema coordenado de DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos).

Este sistema coordenado geralmente é composto por DPS classe 1 (DPS ensaiados com corrente de impulso de acordo com a norma NBR IEC 61643-1:2007 [4]) na entrada de energia (no BEP – Barramento de Equipotencialização Principal), DPS classe 2 (DPS ensaiados com corrente nominal de descarga [4] nos quadros de distribuição de energia e também DPS classe 3 na alimentação das máquinas.

Evitar instalar postos de trabalho muito próximos aos elementos de descidas, sejam estas naturais (colunas de concreto armado ou pilares metálicos) ou tradicionais (cabos ou condutores chatos), mesmo que externas à edificação. São medidas para evitar eventuais tensões de toque e de passo.

Indústrias que possuam equipamentos eletroeletrônicos muito sensíveis e/ou laboratórios com aparelhos de medição com muita precisão devem ser minuciosamente estudadas no sentido de evitar os surtos que podem danificar os aparelhos ou interferir nas medições ou funcionamento. Além da instalação dos DPS coordenados, blindagens espaciais, roteamentos de fiação para evitar laços, uso de interfaces isolantes (por exemplo, fibras ópticas), malhas de aterramento específicas e equipotencializações são medidas de proteção contra surtos que atenuam os efeitos indiretos das descargas atmosféricas.

No caso de indústrias com áreas classificadas, estas devem ser analisadas como uma zona de estudo específica, desde que obedeçam às regras para isto (por exemplo, tenham compartimentos à prova de fogo). O número de pessoas e o tempo que estas permanecem nas áreas classificadas com perigo de explosão devem ser bem estudados para a otimização da análise de risco.

No caso das edificações residenciais, a análise de risco deve indicar o Nível de Proteção do SPDA e, em alguns casos, o Nível de Proteção para o qual os DPS foram projetados. Principalmente para as edificações mais expostas recomendamos a instalação do SPDA conforme a análise de risco e também um sistema coordenado de DPS sendo um

conjunto de DPS classe 1 na entrada de energia (Centro de medição) e um conjunto de DPS classe 2 em cada Quadro de Distribuição em cada apartamento. Desta forma, teremos uma proteção mais eficiente dos aparelhos eletrodomésticos no apartamento, tais como televisores, geladeiras, computadores, roteadores, etc.

Para a proteção das pessoas, recomenda-se não ficar nas janelas, varandas e coberturas durante as tempestades, bem como não utilizar equipamentos ligados às tomadas, tais como telefones com fio, celulares com a fonte ligada à tomada, computadores, ferro de passar roupas, etc.

No caso de edificações tipo shopping centers, recomenda-se evitar as áreas abertas e estacionamentos na cobertura durante as tempestades.

No caso de proprietários de lojas, verificar a existência de DPS nos quadros de distribuição de energia e, caso não tenha, providenciar a instalação destes protetores de acordo com [1],[4].

5.0 – APÊNDICE A

Dados Técnicos | Outros Dados | Resultado | Zonas | Avaliação de custo |

Dados da Estrutura

Área de exposição equivalente da estrutura: 10661,725015 [m²] Área de exposição equivalente da estrutura principal: 705,555355 [m²]

Altura: 15 [m] Comprimento: 80 [m] Largura: 30 [m]

Atividade: Calculadora de risco para estrutura principal

Influências ambientais

Localização (cidade): Instrutora Localização da estrutura: Fissura recuada por objetos de menor altura ou/mais baixa

Risco de incêndio ou explosão: Incêndio Normal

Atributos da avaliação

Nome do projeto: Projeto TESTE ESW

Avaliador: Helio Suelo

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por DPS (se alterar faça a avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

Colocar ambientes e deslocar natural

Meso para reduzir as consequências de incêndio

Sistemas fluxos de extintores automáticos ou alarmes automáticos

Última zona carregada na memória: Z2

Ativação de proteção contra tempos de pico e toque e blindagem

Corrente de pico e toque na linha conectada: 0,0000333 [A] Fator de redução pelo tipo de solo ou solo

Fator ambiental (Ca): Ativo

Condição da blind. aterr. e isolamento: Um sistema não blindado. Conex. entr. indefinida

Tensão sup. impulsos do sistema: 1,5kV

DPS de acordo com nível de proteção: Blindado ou instalado em elétr. metálicos

Faixa interna (kA): 1

Faixa externa (kA): 1

Última zona carregada na memória: Z2

Figura A.1: Exemplo de tela do TUPAN: Dados técnicos

Dados Técnicos | Outros Dados | Resultado | Zonas | Avaliação de custo |

Medidas de proteção contra tempos de pico e toque e blindagem

Corrente de pico e toque na linha conectada: 0,0000333 [A] Fator de redução pelo tipo de solo ou solo

Corrente de pico e toque na linha conectada: 0,0000333 [A] Fator de redução pelo tipo de solo ou solo

Largura da blindagem ou deslocamento: Wm1: 0,0000333 [m] Wm2: 0,0000333 [m]

Vidas humanas (perda L1)

Número de pessoas na zona: 267 Número total de pessoas: 300

Tempo de exposição na zona (em horas por ano): 3640

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistema: 1 (nível médio) Falhas de sistemas internos não causam perda de vida humana

Valor de perda de vida humana: 1

Valor de perda de serviço ao público: 100

Valor de perda de patrimônio cultural: 10

Valor de perda de valor econômico: 100

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistema: 1 (nível médio) Falhas de sistemas internos não causam perda de vida humana

Valor de perda de vida humana: 1

Valor de perda de serviço ao público: 100

Valor de perda de patrimônio cultural: 10

Valor de perda de valor econômico: 100

Instalação de serviço público (perda L2)

Tipo de serviço: TV, linhas de telecomunicações

Última zona carregada na memória: Z2

Figura A.2: Exemplo de tela do TUPAN: Outros Dados

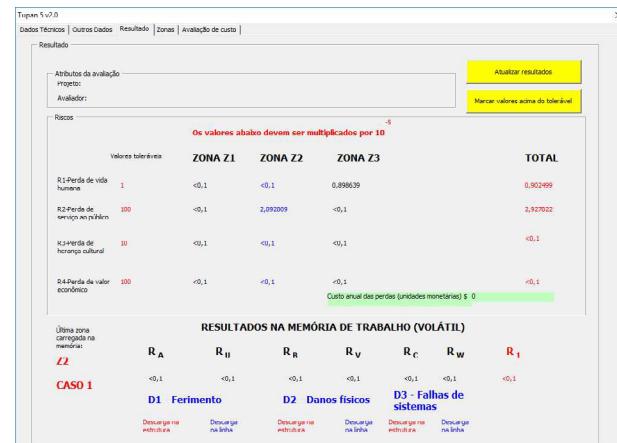


Figura A.3: Exemplo de tela do TUPAN: Resultados

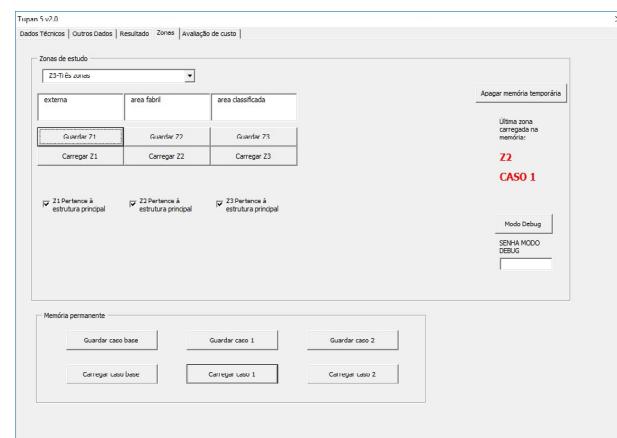


Figura A.4: Exemplo de tela do TUPAN: Zonas

6.0 – CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta os resultados de diversas simulações de análise de risco para três tipos de estruturas: industrial, residencial e comercial. Nestas são verificados os parâmetros que mais afetam os riscos para cada estrutura. Para cada tipo de estrutura, os resultados foram analisados e foram indicadas as medidas de proteção mínimas para que os riscos fiquem com valores toleráveis.

Foram feitas recomendações para a proteção do patrimônio, pessoas e equipamentos.

7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT NBR 5419: 2015: *Proteção contra descargas atmosféricas*. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

[2] Sueta, Hélio E.; Caires, Luis E.; Burani, Geraldo F.; Mamprin, Guilherme L. S.; Mierzwa, Guilherme; Cagnin, Gabriel. "Developing a worksheet for Risk Analysis according to ABNT NBR 5419-2". *Anais do XIII SIPDA – 2015 International Symposium on Lightning Protection*, Balneário Camboriú, Brazil, 28th Sept – 2nd Oct. 2015, pg. 511 – 516.

[3] NR-10: Norma Regulamentadora Nº 10 – Segurança em Instalações e serviços em electricidade – Portaria nº 598, de 07/12/2004 (D.O.U

de 08/12/2004 – Seção 1); Ementas: Portaria nº 126, de 03/06/2005 (D.O.U de 06/06/2005 – Seção 1).

[4] ABNT NBR IEC 61643-1: 2007: *Dispositivos de proteção contra surtos em baixa tensão - Parte 1: Dispositivos de proteção conectados a sistemas de distribuição de energia de baixa tensão - Requisitos de desempenho e métodos de ensaio*. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

]

ERGONOMIA COGNITIVA E ASPECTOS COMPORTAMENTAIS INTRÍNSECOS AS ATIVIDADES DO SETOR ELÉTRICO

Maria de Fátima Antunes Alves Costa

Graphos Assessoria & Treinamento

fatimaantunes@graphosassessoria.com.br

RESUMO

Na perspectiva de estimular práticas de treinamento comportamental, programas de estimulação cognitiva e de autogerenciamento do estresse, com vias à eliminação de incidentes fatais ou com ferimentos no setor elétrico, pretendemos apontar processos cognitivos e comportamentais intrínsecos a diferentes áreas do setor. Fatores Humanos requerem avaliação, observação, auditoria e treinamento constantes como forma de consolidar ações que promovam maior controle de processos cognitivos e comportamentais em atividades de risco. Aspectos Psicológicos, quase sempre relegados a “segundo plano” nos processos de controle de acidentes no setor elétrico, apesar de possuírem um grande significado na atuação profissional, interferem no modo de perceber, sentir, compreender, agir das pessoas em suas atividades laborais. Conforme estabelece Canñas e Waerns (2001)[1] vamos apresentar aspectos que relacionam processos cognitivos e comportamentais com a utilização de equipamentos, apresentando ainda caso e resultado de sucesso com base no treinamento comportamental.

1.0 – INTRODUÇÃO

Qualquer atividade profissional envolve processamento de informações, que se define por como as pessoas percebem, interpretam e pensam

o mundo a sua volta. Como a cognição humana, estudada pela psicologia cognitiva, pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias que venham minimizar incidentes fatais ou com ferimentos no setor elétrico? Este é um questionamento que vem sendo estudado em diferentes áreas do conhecimento, de forma interdisciplinar especialmente no sentido de entender e desenvolver ações voltadas a inteligência artificial, a comunicação através da linguagem, e ampliar as possibilidades de registro dos conhecimentos dos seres humanos. (NEVES, 2006).[2]

Apesar da relevância de se falar sobre processos cognitivos nos trabalhos do setor elétrico, o fator humano não tem merecido a devida atenção em eventos associados a segurança em eletricidade. E ainda, treinamentos obrigatórios como os instituídos pela NR10, aponta ainda de forma muito superficial as questões relacionadas aos aspectos comportamentais.

A presunção de saúde mental desconsidera questões relacionadas a emoções, sensibilidade, sentimentos, processos cognitivos alterados em função de fatores externos que não se limitam a luz, ruído, odores ou temperatura, mas clima organizacional, questões financeiras, sociais e de relacionamento, que interferem de modo significativo na razão. Tavares (2014) [3] aponta que o paradigma tradicional, que fundamentou o desenvolvimento de normas e procedimentos técnicos, não condiz com a atualidade, inserida em uma amplitude de estímulos e condições que

alteram aspectos comportamentais e psicológicos do indivíduo no trabalho.

2.0 – FATORES HUMANOS

A mente humana não está ligada em uma tomada que podemos desligar e simplesmente cortar a energia. Muito embora o indivíduo tenha a possibilidade de controlar todos os pensamentos e habilidades, na maior parte do tempo ele não consegue ter a disciplina necessária para tal e assim, muitas vezes a sua autonomia é controlada pela ansiedade e por pensamentos que por vezes levam-no à ações involuntárias.

Não pretendo aprofundar os conhecimentos sobre psicologia cognitiva, mas mostrar como a dimensão humana em um trabalho de risco, é um diferencial nos resultados das empresas. Modernos métodos de avaliação e treinamento humano estão à disposição para que se contrate e mantenha em seus quadros pessoas com maior equilíbrio emocional e que saibam autogerenciar o estresse, assim como seus comportamentos, entretanto quase nunca tais recursos são utilizados.

Na tentativa de humanizar os processos e maquinários, a ergonomia surgiu como uma disciplina científica para favorecer as interações entre pessoas, máquinas e processo produtivo e vem contribuindo significativamente no planejamento, projeto e avaliação de tarefas, postos de trabalho, bem estar humano e no desempenho, entretanto ainda requer ampliação dos estudos quando se trata de levar a ergonomia cognitiva para as empresas. (ABRAHÃO; SZNELWAR; et. all, 2009). [4]

Pouco se avalia os processos mentais quando se faz uma análise de risco ergonômico, informações precisas sobre fadiga, memória, raciocínio lógico, atenção, nível de estresse, habilidade no controle emocional, na tomada de decisão e na percepção requerem entrevista, testes e observação. Talvez isso responda porque os índices de acidentes continuam elevados? A preparação do indivíduo para a execução da tarefa não é eficiente.

O século XXI emplaca questões diversificadas acerca de valores, comportamento humano e organizacional, que demonstram pouca evolução em questões éticas e associadas à violência. A competitividade e a sobrevivência segundo critérios pessoais prevalecem sobre interesses coletivos e devido a uma enorme

quantidade de estímulos e informações, muitas pessoas tem interesses e pensamentos diversos e nem sempre se concentrar em uma só informação.

Cada indivíduo interage com as tarefas de uma maneira, a experiência e os conhecimentos pessoais, assim como às competências constroem processos distintos a cada pessoa, isso significa que o mesmo estímulo pode ter representações diferenciadas de acordo com a experiência pessoal. Por exemplo: temos uma flor, uma rosa vermelha, para alguns a rosa terá uma representação mais afetiva, para outros o cheiro será mais significativo, outros pensarão no espinho. Como vemos, as representações individuais são muito relevantes nos processos cognitivos

Deste modo, a causa de um acidente com base no fator humano pode ter múltiplas razões, uma vez que processos cognitivos, comportamento, potencialidades e características de personalidade podem ser fatores que influenciam no resultado final da empresa.

O conhecimento sobre o trabalho e a habilidade de manipular instrumentos, não é suficiente para que se evite acidentes ou mesmo de baixa produtividade, é necessário a preparação psicológica concomitantemente ao treinamento técnico. No escopo de todo trabalho segundo a teoria DEMANDA – CONTROLE – SUPORTE de Robert Karasek há demandas físicas, psicológicas, controle e decisão sobre o trabalho que se refere a autonomia do trabalho e o quanto as pessoas a sua volta dentro ou fora da organização, contribuem para o equilíbrio emocional e o melhor desempenho.

Deste modo, a cognição no trabalho, é um fator de extrema relevância no desempenho, apesar não ser considerada relevante nos processos que qualificação e treinamento dos profissionais que trabalham em atividades de risco.

3.0 – ERGONOMIA COGNITIVA

No Brasil, a ergonomia surge como uma área de Engenharia de Produção, aplicando conhecimentos sobre medidas humanas e normas padrão de modos operatórios em máquinas e equipamentos. Identifica ainda aspectos comportamentais que estão vinculados diretamente a Ergonomia Cognitiva.

De maneira geral, a avaliação de risco ergonômico da pouca ou nenhuma ênfase ao processo cognitivo e exatamente por isso, muitas

vezes esses aspectos não são considerados em treinamentos, que apenas de considerarem a dimensão heurística das tarefas, nem sempre integram os resultados com a dimensão individual.

A dimensão individual diz respeito a particularidade dos conhecimentos do indivíduo e a coletiva, a base comum de informações sobre as tarefas, no conhecimento e na linguagem profissional compartilhada. Mas é possível favorecer para que a dimensão individual venha a ter menos implicação nos acidentes de trabalho, através de ações de avaliação e treinamento planejadas e organizadas, abordando não apenas aspectos associados a performance, mas também ao desenvolvimento de habilidades como memória, atenção, autogerenciamento do estresse, desenvolvimento cognitivo e controle emocional, fatores intrínsecos as atividades do setor elétrico, especificamente no que diz respeito as atividades que envolvem maior risco. (CANÑAS E WAERNS, 2001)

Tendo como base a Psicologia Cognitiva, é possível encontrar suporte para que esses aspectos sejam desenvolvidos continuamente nos funcionários, quando se trabalha as estratégias operatórias de cada atividade, articulados por meio da ergonomia.

O aparelhamento para o desenvolvimento de avaliação e treinamento em ergonomia cognitiva articula-se de várias bases, entretanto é a psicologia que poderá contribuir para uma melhor análise de comportamento e a avaliação de processos cognitivos uma vez que a finalidade de uma análise ergonômica é sempre melhorar as condições de trabalho, dentro de limites considerados aceitáveis para a produção.

As falhas humanas nos serviços com eletricidade, são crescentes e uma pesquisa feita por Guedes (2017), aponta que até mesmo em situações de blecaute, erros humanos como ajustes incorretos de sistema, falha na operação de sistema, erro de manobra e até o fato de o indivíduo subestimar riscos de acidentes, podem quase nunca ser identificados antecipadamente quando se pensa em ergonomia cognitiva.

É indispensável uma maior atenção do sistema elétrico brasileiro sobre o tema com certa profundidade, como forma de aumentar a confiabilidade e mitigação de acidentes.

4.0 – PROCESSOS DE TREINAMENTO

Para aumentar a confiabilidade e mitigação de acidentes está previsto na NR10 “*medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade*”. Análise de probabilidade, treinamentos técnicos e motivacionais, vem sendo aplicados com relativo sucesso.

Quando se pensa em um indivíduo que irá desenvolver várias tarefas simultâneas e de elevado grau de responsabilidade e complexidade, devemos entender que a cognição humana possui grande facilidade de adaptação. Na atualidade, as metodologias de aprendizagem, pretendem um aprendizado reflexivo e vivencial, amparado por teóricos como Piaget e Vigotsky. (TAVARES, 2014) Numa incessante preocupação com o desenvolvimento cognitivo em conjunto com a assimilação de informações.

O indivíduo já não é mais um elemento passivo da aprendizagem, participa de uma interação através da solução de problemas ou estudos de caso. Nos processos de treinamento comportamental os paradigmas educacionais já não estão alinhados com os novos modelos de pensar, agir e aprender dos sujeitos, hoje, mais do que conscientizar para a mudança de comportamento, é preciso sensibilizar, criar empatia, o que significa valorizar o pensar e o sentir sobre as ações de treinamento.

5.0 – CONCLUSÃO

A relevância do tema para o setor elétrico é inquestionável, falar sobre processos cognitivos, características pessoais, comportamento seguro, aspectos de personalidade, raciocínio lógico, atenção, memória e inteligência, ainda não está entre as prioridades quando se trata de segurança e saúde do trabalhador. Dados estatísticos nem sempre aparecem de forma clara, especialmente quando se trata de erro humano. Mas isso não quer dizer que elas não aconteçam, apenas que não conseguem ser mensurados. Não é comum fazer autópsia psicológica em acidentes de trabalho, mas de certo isso poderia favorecer o desenvolvimento de programas de treinamento comportamental mais eficazes.

O desenvolvimento de estruturas de avaliação e treinamento humano, assim como diferentes tecnologias se desenvolveram de forma significativa nos últimos anos, as pessoas também

mudaram sua forma de perceber e interpretar o mundo, entretanto os paradigmas relacionados ao comportamento e percepção sobre o ser humano não acompanhou a capacidade do homem se reinventar em diferentes contextos. Atualmente apenas os treinamentos obrigatórios são escalonados para serem realizados nas empresas do setor elétrico, são poucas as que disponibilizam a possibilidade de treinamento comportamental em um modelo de solução de problemas, que incentiva o aprendiz de forma integral, junto com um processo de autoavaliação.

Os novos modelos de educação, pressupõe uma atividade vivencial associada ao aprendizado e este modelo de educação transdisciplinar, desenvolvida por MORIM, (1995) [5] vem favorecendo resultados ao final do treinamento e na atividade prática diária.

6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CANÑAS, J; WAERNS,Y. **Ergonomía Cognitiva. Aspectos psicológicos de la interacción de las personas con la tecnología de la información.** Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2001.
- [2] NEVES, D. A. **Ciência da informação e cognição humana: uma abordagem do processamento da informação.** Brasília: Ci, Inf. Brasilia, v. 35, n. 1, p. 39-44, jan./abr. 2006
- [3] TAVARES, M. R. **A relação entre as emoções e os processos cognitivos na aprendizagem à luz do pensamento complexo.** the ESPecialist, vol. 35, no 1 (28-41) 2014 2014
- [4] ABRAHÃO, J.; SZNELWAR; L.; SILVINO, A.; SARMET, M.; PINHO, D. **Introdução à ergonomia da prática a teoria.** São Paulo: Blucher, 2009
- [5] MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo.** Lisboa: Instituto Piaget, 1995.



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

Desenvolvimento de calorímetro baseado em sensor óptico para determinação do ATPV

Fernanda C. Salvador Soares
Instituto de Energia e Ambiente
da USP
fcsalvad@iee.usp.br

Marcio Bottaro
Instituto de Energia e Ambiente
da USP
marcio@iee.usp.br

Josemir Coelho Santos
Escola Politécnica da USP
josemir@pea.usp.br

RESUMO

A calorimetria em ensaios de caracterização de materiais ignífugos constitui a etapa principal na determinação de parâmetros de resistência ao arco elétrico que serão posteriormente empregados em Equipamentos de Proteção Individual. Originalmente o calorímetro empregado nos ensaios é formado por um disco de cobre com um termopar inserido em seu corpo em posição centro-axial. Apesar da metodologia de calorimetria com sensor termopar estar em uso há mais de 30 anos, questiona-se até hoje sua eficácia e imunidade ao ruído em procedimentos envolvendo circuitos de altas correntes, como é o caso de medição de calor proveniente de arcos elétricos. No presente trabalho um sensor de temperatura óptico, foi acoplado a um sistema calorimétrico com dimensões normalizadas, onde originalmente já está inserido um sensor termopar. Foram realizadas medições de energia incidente para arcos elétricos de 10 a 30 ciclos de rede, com correntes de 4 kA e 8 kA, utilizando a estrutura do Laboratório de Ensaios de Vestimentas do IEE/USP. Os resultados das medições com os sensores de temperatura óptico e termopar puderam ser comparados, sendo que o ruído eletromagnético não foi observado no sensor à fibra óptica desenvolvido, o que permitiu a determinação exata do início da elevação de temperatura. Além disso, a taxa de resposta do calorímetro com sensor à fibra óptica foi superior à do calorímetro com termopar, influenciando a curva de elevação de temperatura e, consequentemente a curva de energia incidente e transmitida. Estes resultados, ainda preliminares, são muito importantes, uma vez que a medição da energia incidente influencia diretamente a determinação do ATPV e, consequentemente, a classificação da

vestimenta de proteção que o trabalhador está utilizando.

1.0 – INTRODUÇÃO

Um dos principais riscos a que o trabalhador do setor elétrico está exposto é o arco elétrico, que tem como consequências queimaduras passíveis de lesões muito graves e, em alguns casos, a morte. As medidas de proteção a serem seguidas obedecem a uma ordem de hierarquia, de maneira que devem-se adotar, prioritariamente, medidas de proteção coletivas, adicionalmente medidas administrativas e, se estas não forem suficientes, outras barreiras devem ser empregadas para evitar a exposição do trabalhador a situações de risco. Esta última medida de proteção é, em geral, obtida por meio do uso de Equipamento de Proteção Individual – EPI que são fabricados com tecidos especiais (naturais e sintéticos) associados a distintas tecnologias que lhes conferem a propriedade ignífuga. Tais materiais são classificados de acordo com o seu desempenho quando expostos a um arco elétrico, expresso em kJ/m^2 , ou mais usualmente em cal/cm^2 , denominado Resistência ao Arco Elétrico, normalmente declarada em unidades de ATPV (*Arc Thermal Performance Value*) ou ainda de EBT₅₀ (*Breakopen Threshold Energy*). De acordo com a ASTM F1959 [1], o ATPV é a energia incidente em um material ou um sistema de materiais multcamadas que resulta na probabilidade de 50% de que o calor transferido através do material sob ensaio é suficiente para causar queimadura de segundo grau baseado na curva de Stoll, kJ/m^2 [cal/cm^2].

A metodologia para determinação do ATPV é estabelecida em normas ASTM F1959 e ABNT NBR IEC 61482-1-1 [2], que determinam a resposta do calor transportado através do material

ou tecido quando exposto à energia térmica de um arco elétrico. Durante o ensaio, produz-se um arco elétrico entre dois eletrodos separados por uma distância de 305 mm, com corrente alternada de $8 \text{ kA} \pm 1 \text{ kA}$ com duração que variam de 0,05 a 1,5 segundos. A energia térmica incidente e o calor transportado através da amostra são medidos em calorímetros de cobre, onde monitora-se a mudança de temperatura em função do tempo e, utilizando-se as propriedades termofísicas conhecidas do cobre, determinam-se as energias incidentes e transmitidas no material sob ensaio.

Além das dimensões dos painéis e circuito (denominado nas normas técnicas como gaiola de ensaio) onde será produzido o arco elétrico, as normas especificam a características de montagem dos calorímetros. O calorímetro, um disco com 18 g de massa, 40 mm de diâmetro e 1,6 mm de espessura, é construído com cobre de grau elétrico com um fio termopar tipo K (NiCr – NiAl) ou tipo J (Fe – CuNi) inserido em um orifício na face traseira no centro do disco de cobre com profundidade de 1,3 mm.

Embora os termopares sejam dispositivos de baixa impedância, eles estão sujeitos a interferências eletromagnéticas [3]. Assim, devido à elevada corrente utilizada no ensaio para determinação da Resistência ao Arco Elétrico, os termopares utilizados nos calorímetros estão sujeitos a interferência eletromagnética, gerando um grande ruído na medição durante a aplicação do arco elétrico impossibilitando a determinação do instante exato em que a temperatura começa a se elevar no calorímetro, como pode ser observado na Figura 1.

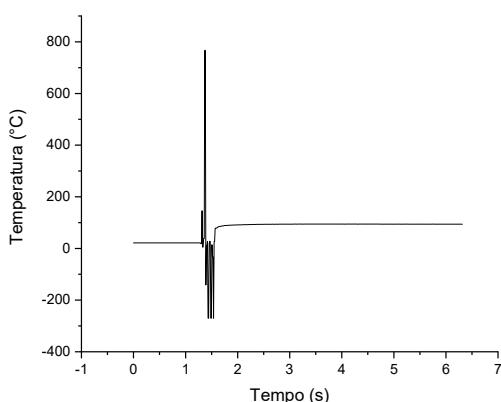


Figura 1 - Medição de temperatura utilizando calorímetro com sensor termopar durante o ensaio para determinação do ATPV para um arco elétrico de 8kA com duração de 9,5 ciclos de rede

Zhang e Lee [4] apresentaram um estudo demonstrando que o uso de um sistema de amplificador diferencial de sinais isolado e da topologia de canal por canal aterrado previne a interferência de sinais e garante a exatidão dos resultados medidos. No Laboratório de Ensaios em

Vestimentas do IEE/USP (LEVE IEE/USP), o uso de um sistema de aquisição de canais isolados possibilitou diminuir o ruído proveniente da interferência eletromagnética, porém o sinal ainda precisa ser tratado com filtros matemáticos para que o instante inicial do sinal (instante zero) possa ser determinado.

De acordo com a ASTM F1959, calorímetros alternativos são permitidos desde que sejam calibrados e tenham uma resposta similar ao calorímetro construído com um disco de cobre e termopar. Uma alternativa é o uso de sensores de temperatura baseados em fibra óptica. Este tipo de sensor possui características que permitem relacionar o comprimento de onda central (CWL) com a temperatura a qual o sensor está submetido. Além de possuir características como monitoramento a longas distâncias, possibilidade de multiplexação de sinal e dimensões e massa pequenos, eles possuem imunidade à interferência eletromagnética.

O uso de sensores à fibra óptica nos ensaios para determinação do ATPV pode ser uma alternativa, dispensando o tratamento do sinal por meio do uso de filtros e possibilitando a determinação do instante zero. Ademais, dependendo da configuração, o tempo de resposta deste tipo de sensor pode ser superior ao dos termopares.

Assim, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um calorímetro baseado em sensor óptico para se estudar o comportamento deste tipo de sensor diante das condições de ensaios para determinação da Resistência ao Arco Elétrico especificadas na norma de referência ABNT NBR IEC 61482-1-1.

2.0 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para a construção do calorímetro com sensor à fibra óptica, foi utilizado um disco de cobre de dimensões e massa especificados na norma de referência, ou seja, massa de $18 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$, diâmetro de 40 mm, espessura de 1,6 mm, com um orifício central de 1,2 mm de diâmetro, no qual foi inserido um termopar tipo K de 0,256 mm de diâmetro.

Um sensor à fibra óptica da marca Proximion foi embebido no disco de cobre e para isso, foi utilizada a técnica descrita por Yulong Li e Colaboradores [5], em que inicialmente uma metalização química é feita na fibra óptica e na sequência é feito uma eletrodeposição. A fibra óptica já metalizada foi soldada no disco de cobre também por processo de eletrodeposição.

O sensor à fibra óptica foi conectado a um interrogador óptico SM230 da Micron Optics e o termopar foi conectado a um módulo para entrada de termopares da National Instruments NI 9213. A

montagem do calorímetro está apresentada na Figura 2.

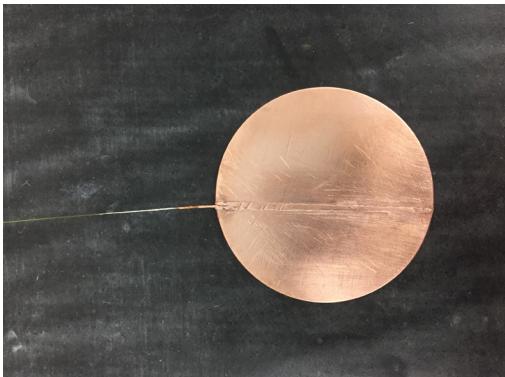


Figura 2 – Calorímetro para determinação do ATPV com sensor à fibra óptica embebido

Após a construção do calorímetro, foi feita uma calibração para que a relação temperatura X comprimento de onda pudesse ser encontrada. Para temperaturas abaixo de 25°C a 90°C, foi utilizado um banho-maria microcontrolado e para temperaturas de 90°C a 150°C, foi utilizada uma estufa.

Finalmente, o disco de cobre foi montado em um suporte de Marinite® e o conjunto foi pintado com uma tinta preta com emissividade superior a 0,9, apresentado na Figura 3. O conjunto foi alinhado na posição de ensaios do Painel 1 (posição 1 dentro da gaiola de ensaios para vestimentas do LEVE IEE-USP) a uma distância de 340 mm dos eletrodos, enquanto que os demais calorímetros do laboratório estavam a 305 mm dos eletrodos, Figura 4. As medições de temperatura feita pelos demais calorímetros com termopar do setup de ensaios do LeVe IEE-USP também foram registradas, porém só foram consideradas para o cálculo de energia incidente média do arco elétrico.

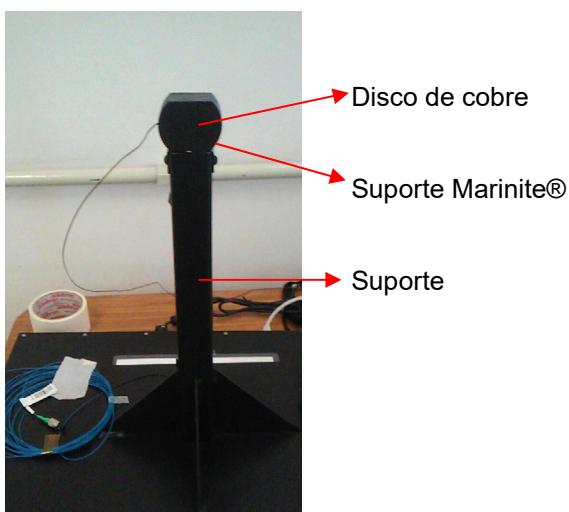


Figura 3 – Montagem do setup de medição: o disco de cobre foi no suporte de Marinite ® e depois fixado em um outro suporte metálico

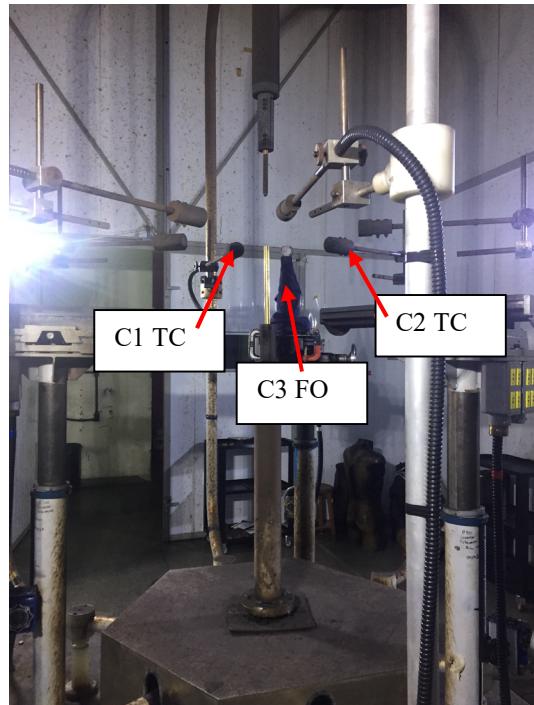


Figura 4 – Alinhamento do calorímetro sob estudo com os demais calorímetros da gaiola de ensaios.

Após a montagem, para se verificar o comportamento do sensor sob estudo, inicialmente foram feitas medições da temperatura para arcos elétricos variando de 10, 20 e 30 ciclos de rede em 60 Hz para uma corrente de 4 kA. Também foi feita uma medição seguindo-se as condições de tensão, corrente e distâncias entre eletrodos estabelecidas na norma de referência, para um arco de 15,5 ciclos de rede.

De acordo com a norma de referência, os dados de temperatura devem ser adquiridos com uma taxa de amostragem mínima de 20 amostras por segundo (20 S/s) por calorímetro. As taxas de aquisição do sensor de temperatura à fibra óptica e do sensor termopar montados no calorímetro sob estudo foram ajustadas para 100 S/s e 25 S/s, respectivamente. A taxa de aquisição dos sensores termopar dos calorímetros do LEVe é ajustada para 100 S/s.

3.0 – RESULTADOS

Os resultados da calibração do sensor de temperatura à fibra óptica, ou seja, a relação de resposta em comprimento de onda central (CWL, em nm) para diferentes temperaturas está apresentada na Figura 5.

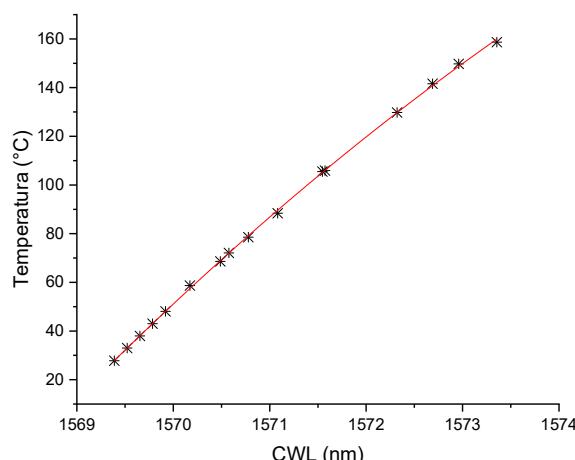


Figura 5 – Calibração do sensor à fibra óptica e o ajuste polinomial de segunda ordem efetuado

Conforme estudo apresentado por Zhang e Li [6] que indicava que o melhor ajuste para sensores à fibra óptica fosse do tipo não linear, no presente trabalho utilizou-se um ajuste polinomial de segunda ordem no programa Origin®, com os coeficientes de ajuste mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Coeficientes do ajuste polinomial para calibração do sensor à fibra óptica
($T = A + B1*CWL + B2^2*CWL$)

Parâmetro	Valor	Erro Padrão
A	-3,50E+06	338779
B1	4426,846	431,2108
B2	-1,398	0,13722

Assim os valores medidos em comprimento de onda puderem ser convertidos em valores de temperatura e então comparados com as medições registradas pelos termopares dos calorímetros do LEVe.

Por meio das Figuras 6 a 9 é possível verificar que a medição de temperatura nos calorímetros com termopar (C1 TC e C2 TC) apresenta um ruído durante a elevação da temperatura, impossibilitando a determinação do tempo zero. Já o sensor à fibra óptica, denominado C3 FO, não apresenta ruído devido à interferência eletromagnética. Em algumas aquisições, Figura 6 por exemplo, percebe-se uma pequena flutuação do sinal de temperatura no C3 FO. Isto pode ter ocorrido devido à movimentação mecânica no setup devido à onda acústica provocada pelo arco elétrico. Para os calorímetros C1 TC e C2 TC, a determinação do tempo zero só é possível após a aplicação de um filtro matemático validado utilizado na rotina do laboratório, conforme pode ser observado nas Figuras 10 a 13.

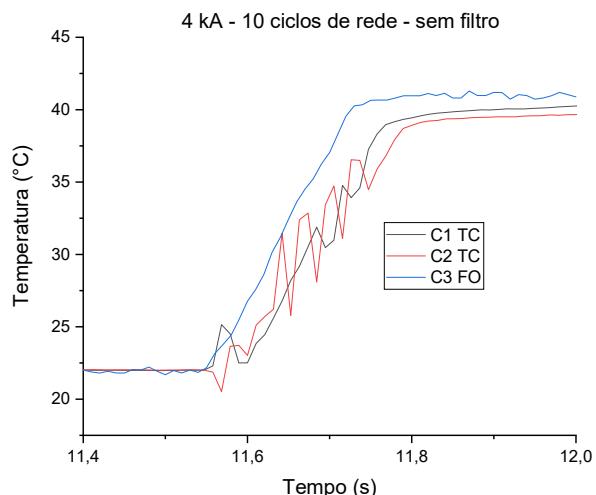


Figura 6 - Temperatura registrada nos calorímetros para um arco elétrico de 4 kA com duração de 10 ciclos de rede, antes da aplicação do filtro matemático

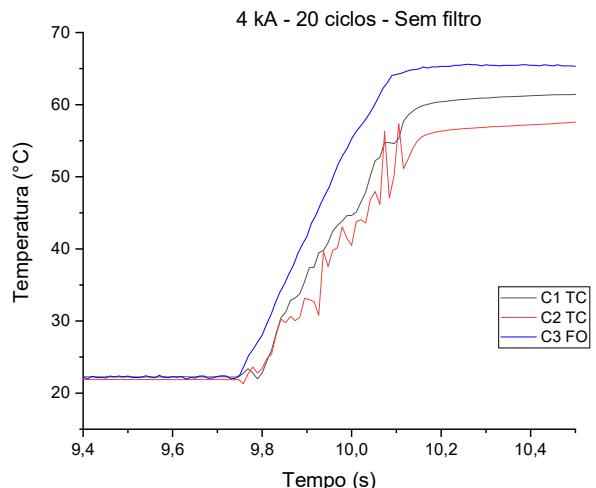


Figura 7 - Temperatura registrada nos calorímetros para um arco elétrico de 4 kA com duração de 20 ciclos de rede, antes da aplicação do filtro matemático

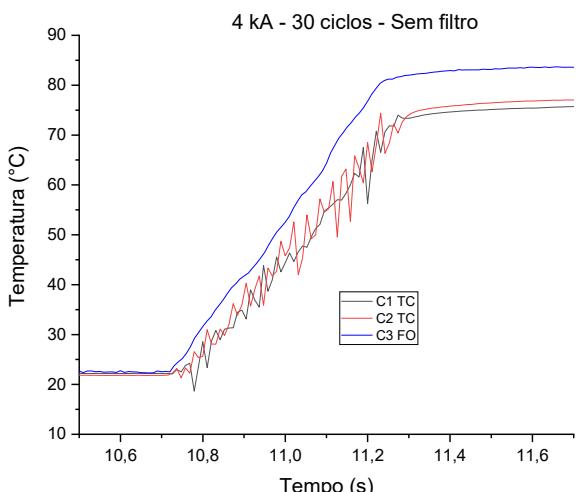


Figura 8 - Temperatura registrada nos calorímetros para um arco elétrico de 4 kA com duração de 30 ciclos de rede, antes da aplicação do filtro matemático

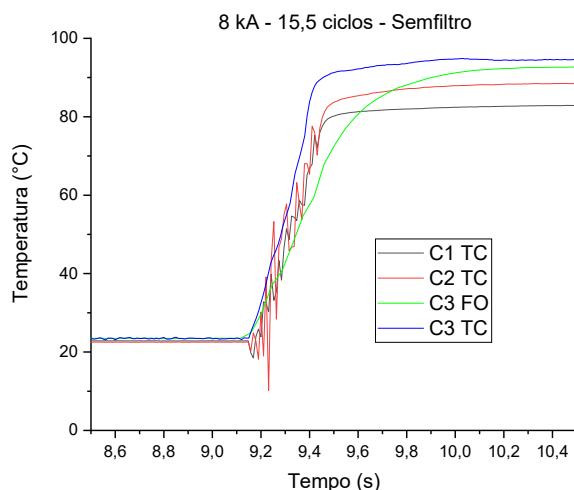


Figura 9 - Temperatura registrada nos calorímetros para um arco elétrico de 8 kA com duração de 15,5 ciclos de rede, antes da aplicação do filtro matemático

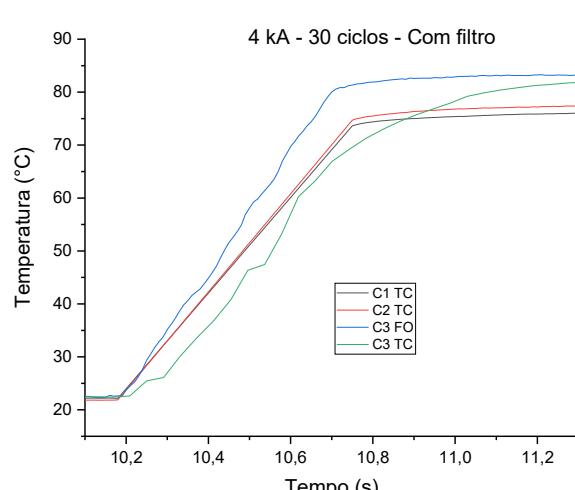


Figura 12 - Temperatura registrada nos calorímetros para um arco elétrico de 4 kA com duração de 30 ciclos de rede, após a aplicação do filtro matemático

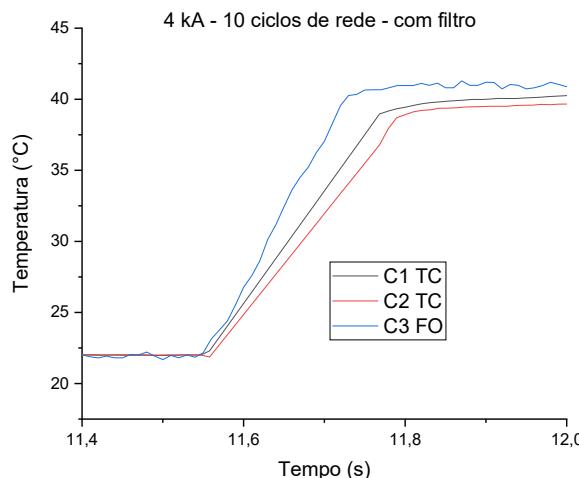


Figura 10 - Temperatura registrada nos calorímetros para um arco elétrico de 4 kA com duração de 10 ciclos de rede, após a aplicação do filtro matemático

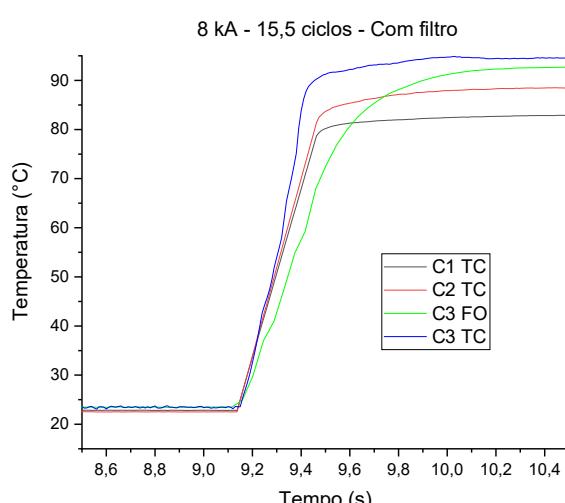


Figura 13 - Temperatura registrada nos calorímetros para um arco elétrico de 8 kA com duração de 15,5 ciclos de rede, após a aplicação do filtro matemático

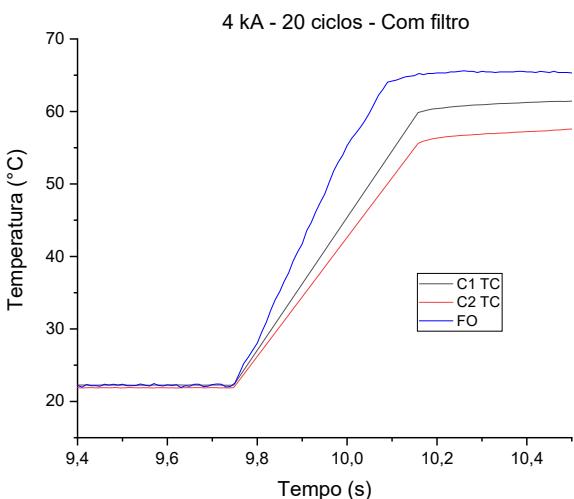


Figura 11 - Temperatura registrada nos calorímetros para um arco elétrico de 4 kA com duração de 20 ciclos de rede, após a aplicação do filtro matemático

Na Figura 12 é possível observar que o sinal de temperatura registrado pelo calorímetro C3 TC, termopar inserido no mesmo disco de cobre em que a fibra óptica está inserida, apresenta um ruído pequeno quando comparado ao sinal da temperatura para a configuração do arco elétrico de 4 kA e 30 ciclos de duração. É provável que esta diferença se deva ao fato de que o módulo de leitura utilizado estava totalmente isolado do restante do sistema e possuía apenas um canal em uso.

A taxa de resposta, em °C/s foi calculada para os três calorímetros. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 2. O calorímetro C3 FO apresentou valores maiores que os demais

calorímetros, chegando a uma diferença de até 33% maior.

Tabela 2 – Taxa de resposta, em °C/s, dos calorímetros

Configuração do Arco	Taxa de Resposta (°C/s)		
	C1 TC	C2 TC	C3 FO
4 kA – 10 ciclos	83,32	74,67	102,65
4 kA – 20 ciclos	91,61	82,11	120,52
4 kA – 30 ciclos	85,79	88,04	107,32
8 kA – 15 ciclos	171,21	180,38	256,34

A curva de elevação de temperatura é um fator importante na determinação do ATPV por exemplo, pois a partir dela são calculadas as energias incidentes e transmitidas. Como os dados da energia transmitida são comparados com a curva de Stoll para estabelecer o início de uma queimadura de segundo grau, esse aumento da taxa de resposta para o sensor à fibra óptica, pode influenciar a inclinação da curva da energia transmitida e modificar o critério queima ou não queima.

A energia incidente, em cal/cm², foi calculada como o valor médio entre todos os calorímetros com sensor termopar do LEVE IEE-USP, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Energia incidente média nos calorímetros com sensor termopar e a energia incidente no calorímetro com fibra óptica (em cal/cm²)

Configuração do Arco	Energia incidente (cal/cm ²) Ei média TC	C3 FO
4 kA – 10 ciclos	2,629	3,066
4 kA – 20 ciclos	5,118	6,889
4 kA – 30 ciclos	7,356	9,801
8 kA – 15,5 ciclos	10,342	11,349

A diferença de energia incidente no calorímetro com sensor de temperatura à fibra óptica e o valor médio das energias incidentes dos calorímetros com termopar foi de 0,43 cal/cm², para a configuração de menor tempo de duração, até 2,45 cal/cm² para a configuração do arco de 4 kA com duração de 30 ciclos de rede. Conforme dito anteriormente, devido à limitação no setup de ensaio referente à distância do calorímetro C3 FO aos eletrodos, os valores de energia no calorímetro C3 FO foram corrigidos pelo inverso do quadrado da distância. Uma revisão do setup de ensaio poderá trazer melhorias nas próximas etapas deste desenvolvimento, pois além de evitar as correções pela distância, um suporte mais robusto pode diminuir as flutuações devido ao impacto mecânico.

6.0 – CONCLUSÕES

O calorímetro com sensor à fibra óptica apresentou melhorias significativas com relação à eliminação do ruído proveniente da interferência eletromagnética. A eliminação do ruído permitiu que o início do arco pudesse ser determinado sem o uso de filtros matemáticos.

A flutuação de temperatura registrada pelo sensor à fibra óptica após a elevação da temperatura deve ser melhor investigada e se preciso, o suporte do calorímetro C3 FO deverá ser modificado para a continuidade do estudo.

Foi possível também observar uma diferença no tempo de resposta do sensor à fibra óptica, a qual pode impactar na curva de energia transmitida e alterar a avaliação que verifica se esta está acima ou abaixo da curva de Stoll. Assim, na próxima etapa do estudo pretende-se, utilizando o calorímetro desenvolvido, avaliar as energias transmitidas por diferentes tipos de tecidos e materiais retardantes à chama.

Para as próximas etapas do desenvolvimento será importante uma revisão no suporte do calorímetro à fibra óptica de maneira a evitar correções dos valores medidos, aumentando a confiabilidade dos resultados.

O presente trabalho mostrou-se promissor e estimula a sua continuidade, uma vez que a medição das energias incidente e transmitida influenciam diretamente a determinação da Resistência ao Arco Elétrico e, consequentemente, a classificação da vestimenta de proteção que o trabalhador está utilizando.

5.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASTM F1959 / F1959M-14e1, *Standard Test Method for Determining the Arc Rating of Materials for Clothing*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR IEC 61482-1-1: Trabalhos em tensão — Vestimenta de proteção contra riscos térmicos de um arco elétrico Parte 1-1: Métodos de ensaio — Método 1: Determinação da resistência ao arco elétrico (ATPV ou EBT50) de materiais resistentes à chama para vestimenta. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2017. 38 p.

[3] NICHOLAS, J. V.; WHITE, D. R.. *Traceable Temperatures: An Introduction to Temperature Measurement and Calibration*. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2001. 415 p. Measurement Standards Laboratory of New Zealand.

[4] ZHANG, Zhenyuan; LEE, Wei-jen; DINI, David A.. Grounding and Isolation of Sensitive Measurement Equipment for Arc Flash Testing at High-Power Laboratory. *IEEE Transactions On Industry Applications*, [s.l.], v. 51, n. 6, p.5281-5287, nov. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
<http://dx.doi.org/10.1109/tia.2015.2411654>.

[5] LI, 李玉龙 Yulong et al. A plating method for metal coating of fiber Bragg grating. *Chinese Optics Letters*, [s.l.], v. 7, n. 2, p.115-117, 2009. Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics.
<http://dx.doi.org/10.3788/col20090702.0115>.

[6] ZHANG, Jing; LI, Yongqian. Calibration method for fiber bragg grating temperature sensor. 2009 9th International Conference On Electronic Measurement & Instruments, [s.l.], p.822-825, ago. 2009. IEEE.
<http://dx.doi.org/10.1109/icemi.2009.5274437>.



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

Modelagem e simulação do Arranjo de Ensaio de Arco Elétrico utilizando elementos finitos

Márcio Bottaro

Instituto de Energia e Ambiente
da USP
marcio@iee.usp.br

Paulo Futoshi Obase

Instituto de Energia e Ambiente
da USP
pfobase@iee.usp.br

Hélio Tatizawa

Instituto de Energia e Ambiente
da USP
hedio@iee.usp.br

RESUMO

Um modelo inédito de simulação numérica do arranjo de ensaio de Arco Elétrico Aberto, utilizado atualmente nos ensaios de caracterização e avaliação de tecidos e outros materiais empregados na fabricação de equipamentos de proteção individual é apresentado neste trabalho. O objetivo principal desta simulação foi compreender melhor os fenômenos térmicos oriundos do arranjo de ensaio e comparar modelos teóricos e empíricos disponíveis na literatura, bem como softwares utilizados no mercado. O modelo mecânico e elétrico adotado nas simulações foi baseado nas normas ASTM F1959 e IEC 61482-1-1 com variações de corrente e tempo de arco elétrico, utilizando-se os módulos de Corrente Elétrica e Transferência Térmica do software COMSOL Multiphysics™. Aproximações com os modelos teóricos da literatura foram observadas, abrindo o questionamento sobre modelos empíricos e atuais métodos de medição de energia incidente dos arcos elétricos.

1.0 – INTRODUÇÃO

A transmissão de calor através do plasma no ar é uma questão extremamente relevante na determinação dos perigos provocados pelo arco elétrico [1]. O escopo de segurança elétrica abordado por normas técnicas internacionais leva em conta estes perigos que são originados de acidentes com arco elétrico [2:5].

Para estimativa do calor irradiado pelo arco elétrico muitos modelos de cálculo são adotados na prática utilizando-se os parâmetros do circuito elétrico para obter-se a energia incidente ou fluxo de calor, que podem ser utilizados para orientar medidas de segurança como projetos de proteção,

treinamentos e programas de conscientização, e por fim dimensionamento de Equipamentos de Proteção Individual (EPI).

A maior parte dos modelos de cálculos disponibilizados na normativa internacional [2,3] é aplicável a circuitos trifásicos com uma variedade de entradas de parâmetros como: Tensão do circuito; Corrente do circuito; Tempo de atuação da proteção; Distância entre barramentos, entre outros parâmetros relacionados ao circuito envolvido.

Como ferramentas complementares, alguns softwares também são utilizados para o cálculo e estimativa do calor irradiado pelos arcos elétricos, como o ARCPRO e o DUKE (*Heat Flux Calculator*) [6]. Uma avaliação comparativa presente na literatura [6], entre modelos analíticos normalizados e softwares comerciais e de livre distribuição, mostra uma relativa dispersão dos resultados e uma tendência mais conservadora dos modelos teóricos de Ralph Lee [1], que quando aplicado para tensões acima de 600 V tende a apresentar resultados superestimados de energia incidente.

As vestimentas de proteção contra o arco elétrico devem ser caracterizadas em conformidade com normas de requisitos e ensaios [4,5]. As normas de ensaio possuem toda referência de arranjos, circuitos, cálculos e análises. Apesar do arranjo de ensaio de caracterização das normas IEC e ASTM ser de conhecimento geral, ele não possui equivalência com nenhum dos métodos de estimativa de energia incidente das normas de caracterização de circuitos, como IEEE 1584 e outras, o que gera uma separação entre cálculos e simulações para prevenção de acidentes e cálculos e simulações para avaliação de EPI.

Como exemplos de distinção dos modelos entre as normas de Ensaio e de Caracterização dos perigos provocados pelo arco elétrico, temos os circuitos elétricos, que para ensaios são monofásicos em corrente alternada (aterrados) e para caracterização são trifásicos, havendo um

único modelo monofásico, porém em corrente contínua; a combinação da corrente e distância entre eletrodos no circuito de ensaio não é compreendida nas distâncias de barramentos nas normas de caracterização. A alternativa no momento, utilizada pelos quatro laboratórios normalizados existentes no mundo, é a estimativa pelo modelo teórico de Ralph Lee [1], ou por softwares com modelos monofásicos, como o ARCPRO [6].

Todos os métodos de cálculo disponíveis são empíricos com exceção única do modelo teórico analítico apresentado por Ralph Lee. Os modelos empíricos são baseados, como propriamente ditos, em medições com calorímetros constituídos de discos de cobre com termopares de diferentes especificações diretamente a eles acoplados. Termopares possuem características de tempo de resposta e imunidade ao ruído ruins para este propósito, mas pouco se discute sobre a forma como esses dados experimentais foram obtidos. O modelo de Ralph Lee, mesmo considerado conservador, traz a vantagem de indicar a temperatura nos pontos de interesse (posição do receptor de calor), e torna-se uma ferramenta importante nos estudos de transmissão de calor gerado no arco elétrico.

No presente trabalho é apresentado um modelo numérico para simulação do arranjo de ensaio de arco elétrico vertical aberto, tendo como base as normas IEC e ASTM pertinentes, utilizando correntes de $8 \text{ kA} \pm 1 \text{ kA}$, distâncias de eletrodos de 30,5 cm (12"), em tempos e distâncias variadas dos pontos de interesse, aplicando os coeficientes de propagação de calor em plasma no ar disponíveis na literatura [7,8]. Para validação dos resultados obtidos nas simulações foram realizadas comparações com o modelo teórico de Ralph Lee, e com os softwares ARCPRO e DUKE que comportam modelos monofásicos próximos as normas de ensaio, revelando uma nova ferramenta para estimativa da energia incidente de arcos elétricos e abrindo uma nova discussão sobre os métodos de medição em ensaios empregados na atualidade.

2.0 – O CÁLCULO DA ENERGIA INCIDENTE

O processo de cálculo de calor (Q em joules) por unidade de área (A em m^2) em um ponto de interesse (receptor), com a finalidade de caracterização para proteção contra os perigos do arco elétrico é abordado por diversas normas internacionais. A norma NFPA 70E traz um compêndio destas normas e processos de cálculo de uma forma bastante conveniente em seu anexo D. Resumidamente o anexo D2 contém o modelo teórico de Ralph Lee [1], o anexo D3 o modelo empírico apresentado em 2001 por Dought, Neil e Floid [9], o anexo D4 traz um sumário da IEEE 1584 [3] e o anexo D5 introduz o modelo de Doan

[10] para circuito monofásico aterrado em corrente contínua.

2.1 – O MODELO TEÓRICO

O modelo teórico abordado nas normativas internacionais é baseado nos cálculos apresentados por Ralph Lee, e é utilizado para estimar os limites de segurança relativos a distância do arco elétrico. Estes cálculos são bem conhecidos na literatura e considerados muito conservadores para circuitos trifásicos com tensões superiores a 600 V. A equação principal derivada do método de Ralph Lee é apresentada na NFPA 70E e considera a determinação de uma distância em relação ao ponto de geração do arco elétrico chamada "curável" D_c , onde as temperaturas não ultrapassam 80°C , ou mesmo sofrem variações inferiores a 46°C , dependendo da temperatura ambiente, que permitem a cura de eventuais queimaduras na pele.

$$D_c = (2.65 \cdot MVA_{bf} \cdot t)^{1/2} \quad (1)$$

Na equação 1, MVA_{bf} é a potência do circuito em condição de falha por curto-circuito em um ponto de referência, em MVA, e t é o tempo de exposição ao arco Elétrico em segundos, que irá depender do tempo de atuação da proteção.

Uma informação interessante no trabalho de Ralph Lee é a temperatura em uma dada posição de referência relativa ao ponto central do arco elétrico, que pode ser muito útil em cálculos teóricos ou mesmo simulações numéricas. Esta temperatura é considerada para uma esfera de calor proveniente do arco elétrico, isotrópica e com um diâmetro proporcional a potência envolvida, calculada para um tempo de 0,1 segundos. O gráfico da figura 1 mostra esta relação.

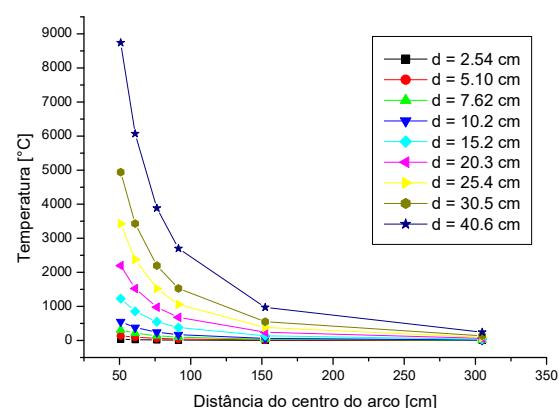


Figura 1: Relação da elevação da Temperatura na pele em 0,1 s, com diferentes distâncias D relativas ao centro da esfera do arco elétrico para diferentes Diâmetros de Esfera d . As linhas são somente para guiar os olhos.

2.2 – OS MODELOS EMPÍRICOS

O primeiro modelo empírico apresentado na NFPA 70E para o arco elétrico aberto é o de Doutgh, Neil e Floid [9], baseado em medições num arco trifásico para sistemas com tensões de até 600 V, com correntes de curto-círcuito entre 16 kA e 50 kA, e distâncias relativas ao centro do arco elétrico de 45,7 cm (18") ou maiores. A equação 2 representa o modelo empírico de Doutgh, Neil e Floid.

$$E_{MA} = 5271 \cdot D_A^{-1.9593} \cdot t_A (0.0016F^2 - 0.0076F + 0.8938) \quad (2)$$

Nesta equação E_{MA} é a máxima energia incidente do arco elétrico em cal/m², D_A é a distância entre eletrodos, t_A é o tempo de duração do arco elétrico em segundos e F é a corrente de curto-círcuito em kiloampéres.

Estes pesquisadores também introduziram em seu trabalho em 2001, os ensaios com arco confinado, denominados *Box Test*, também adotados pela normativa internacional da IEC mas que não são foco da presente pesquisa.

Também é apresentado na NFPA 70E o segundo modelo empírico baseado na norma IEEE 1584, uma das normas mais utilizadas como referência em cálculos de energia incidente de circuitos elétricos para caracterização dos perigos provocados pelo arco elétrico.

Ela engloba em seus modelos de cálculo, uma vasta lista de parâmetros para equipamentos confinados e também circuitos abertos. Os modelos aplicam-se a circuitos trifásicos com tensões entre 208 V e 15 kV, frequências de 50 e 60 Hz, correntes de falha de 700 A à 106 kA, e distâncias entre barramentos de 13 mm à 152 mm. Condições de circuitos aterrados e não aterrados também são compreendidas em seus modelos.

A energia incidente em J/cm² é calculada com base na equação 3.

$$E = 4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \quad (3)$$

onde E_n é a energia normalizada obtida das características de corrente e distância de barramentos do circuito, C_f é um fator de cálculo com valor 1,0 para tensões acima de 1 kV e valor 1,5 para tensões de até 1 kV, t é o tempo de duração do arco elétrico, D é a distância de trabalho em relação ao ponto central do arco elétrico, e x é uma distância derivada de cada tipo e tensão de trabalho dos equipamentos no sistema elétrico, obtida de uma tabela normalizada pela IEEE 1584.

Vale ressaltar que esta norma também faz menção a modelos derivados do modelo teórico de Ralph Lee, para tensões excedendo 15 kV e para distâncias de barramentos fora da faixa do modelo empírico geral, e também são considerados mais

conservadores que outros modelos normalizados. A equação 4 apresenta este modelo.

$$E = 2.142 \cdot 10^6 \cdot V \cdot I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right) \quad (4)$$

onde I_{bf} é a corrente de falha trifásica do sistema.

Os modelos em corrente contínua apresentados pela NFPA 70E, em circuitos monofásicos aterrados [10] não são de interesse no presente estudo.

2.3 – SOFTWARES PARA CÁLCULO DE ENERGIA INCIDENTE

Existem dois softwares principais disponíveis para cálculo da energia incidente provenientes de um arco elétrico que foram considerados no presente trabalho: O ARCPRO; e o DUKE.

É importante ressaltar que esses dois softwares foram concebidos para cálculo de energia incidente em um ponto de interesse, relativo ao centro de uma coluna de arco elétrico, o que difere relativamente ao modelo de esfera teórica apresentado por Ralph Lee.

O primeiro, ARCPRO, foi desenvolvido pela Kinetrics (Toronto, Ontario, Canadá), é um software baseado em fenômenos térmicos capaz de calcular o fluxo de calor associado aos seguintes parâmetros: Corrente de arco elétrico de 3,5 kA até 21,5 kA; distância entre eletrodos de 2,54 cm a 30,48 cm, e uma faixa de tempos de duração do arco elétrico de até 30 ciclos de rede (em 60 Hz) e distâncias em relação ao centro do arco elétrico de até 60,96 cm. ARCPRO possui algoritmos para modelos de arco aberto no ar monofásico e pode ser estendido para arco confinado e também trifásico utilizando para isso, fatores de correção empíricos [6]; O segundo software, *Heat Flux Calculator* foi desenvolvido pela Duke Power Company e é um programa de distribuição gratuita baseado na teoria da transferência de calor por radiação. Este software também foi projetado para arco aberto no ar monofásico

3.0 – SIMULAÇÕES POR ELEMENTOS FINITOS

Todos os métodos analíticos, teóricos e empíricos, considerados até aqui, são aplicados extensivamente para quantificar a energia térmica e prever seus efeitos e proteções que devem ser considerados nas exposições ao arco elétrico.

Para os modelos empíricos, as limitações estão relacionadas aos procedimentos práticos aplicados para obter a base de dados para os modelos. Como as transferências térmicas foram, em princípio, obtidas com calorímetros de cobre com termopares embutidos, os resultados estão sujeitos a incertezas e limitações quanto à resposta

temporal do termopar, à imersão e à imunidade eletromagnética [11]. Essa correlação mútua dá origem a erros que não podem ser resolvidos sem o uso de outros métodos calorimétricos, não disponíveis até o momento desta pesquisa, onde temos a ocorrência de eventos com comportamentos de transições rápidas e de alta temperatura.

Desta forma, o uso de softwares baseados no comportamento físico dos eventos térmicos, como ARCPRO ou DUKE, pode ser uma alternativa razoável para melhorar as estimativas da energia incidente ou fluxo de calor incidente, bem como o modelo teórico de Ralph Lee que também pode informar o comportamento da temperatura no sistema.

Atualmente com o avanço da modelagem matemática em fenômenos físicos, os elementos finitos tornaram-se uma ferramenta muito interessante em física e engenharia avançada, fornecendo um recurso muito confiável nas ciências exatas [12]. Da mesma forma, à medida que os computadores aumentam sua capacidade de processar grandes quantidades de dados em processos interativos, correlações dentro de muitas áreas físicas também podem ser consideradas em um processo multifísico, onde, por exemplo, efeitos elétricos, térmicos e mecânicos podem ser organizados e mutuamente avaliados em um mesmo arranjo de simulação, criando uma grande oportunidade para estudar e entender melhor os efeitos multifísicos em processos complexos, como por exemplo, os efeitos térmicos do arco elétrico.

3.1 – O MODELO TEÓRICO

Para o desenvolvimento da simulação com elementos finitos foi utilizada a plataforma COMSOL Multiphysics™, com os módulos de Correntes Elétricas (*Electric Currents*) e Transferência de Calor (*Heat transfer*) – Fluxo não isotérmico (*Non-isothermal flow*). O modelo do arco elétrico foi simulado considerando fluxo, transferência de energia e fenômenos eletromagnéticos, utilizando como base o modelo de Bauchire *et al* [ref], onde um arco em plasma de argônio foi simulado em condições de potência bem distintas para modelagem de solda TIG.

As equações que governam o fluxo não isotérmico com dependência temporal no modelo de transferência de calor no ar são descritas abaixo (equações de Navier-Stokes):

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \left[\mu (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T) - \frac{2}{3} \mu (\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} \right] + \mathbf{F} \quad (5)$$

Resolvidas em conjunto com a equação de continuidade:

$$\rho \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot \rho(\mathbf{u}) = 0 \quad (6)$$

onde ρ denota a densidade (kg/m^3), \mathbf{u} as velocidades do fluido (m/s), p a pressão (Pa), \mathbf{I} os componentes escalares das coordenadas espaciais e \mathbf{F} as forças (N) aplicadas ao fluido.

Para o modelo estático temos:

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot \left[\mu (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T) - \frac{2}{3} \mu (\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} \right] + \mathbf{F} \quad (7)$$

E a equação de continuidade:

$$\nabla \cdot \rho(\mathbf{u}) = 0 \quad (8)$$

A transferência de calor convectiva e condutiva no fluido (ar) é descrita pela equação 9 com dependência temporal, e pela equação 10 para o modelo estático.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \quad (9)$$

$$\rho C_p \mathbf{u} \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \quad (10)$$

onde C_p denota a capacidade calorífica ($\text{J}/(\text{kg K})$), k é a condutividade térmica ($\text{W}/(\text{m K})$), e Q se refere a densidade de potência (W/m^3).

No modelo de multifísica o módulo de Correntes Elétricas utiliza as seguintes equações que abrangem a conservação de corrente contribuindo com os efeitos térmicos:

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = Q_i \quad (11)$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \mathbf{J}_e \text{ (estático)}$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \frac{\partial D}{\partial t} + \mathbf{J}_e \text{ (temporal)} \quad (12)$$

$$\mathbf{E} = -\nabla V \quad (13)$$

onde \mathbf{J} são as densidades de correntes (A/m^2), Q_i é a fonte de corrente (A/m^3), σ é a condutividade elétrica (S/m), \mathbf{E} os campos elétricos, D a permissividade relativa, \mathbf{J}_e são as densidades de correntes externas (A/m^2) e V o potencial elétrico, que no modelo apresentado neste trabalho obedece uma forma de onda senoidal em 60 Hz.

3.2 – O MODELO DE ELEMENTOS FINITOS PARA O ARCO ELÉTRICO

A geometria aplicada foi a plataforma 2D com eixo simétrico (*2D Axisymmetric*). Para a região de interesse da simulação, onde não foram considerados os campos elétricos externos, promovidos pelas barras de sustentação do arranjo de ensaio conforme a norma IEC 61482-1-1 [5], representada na figura 2 (gaiola de ensaio), foi definida a região central dos suportes de eletrodos como zona de interesse, limitando uma área de interesse no ar livre para transmissão de calor.

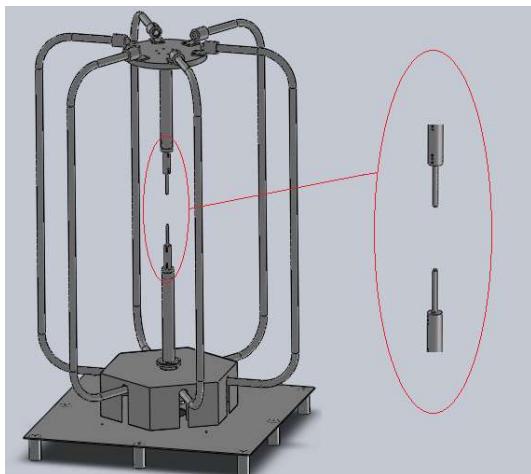


Figura 2: Gaiola de ensaio (IEC 61482-1-1) e região de interesse da simulação destacada em vermelho.

A área de interesse modelada em estruturas limítrofes é ilustrada na figura 3, onde o eletrodo superior é quem recebe o potencial elétrico e o eletrodo inferior é aterrado.

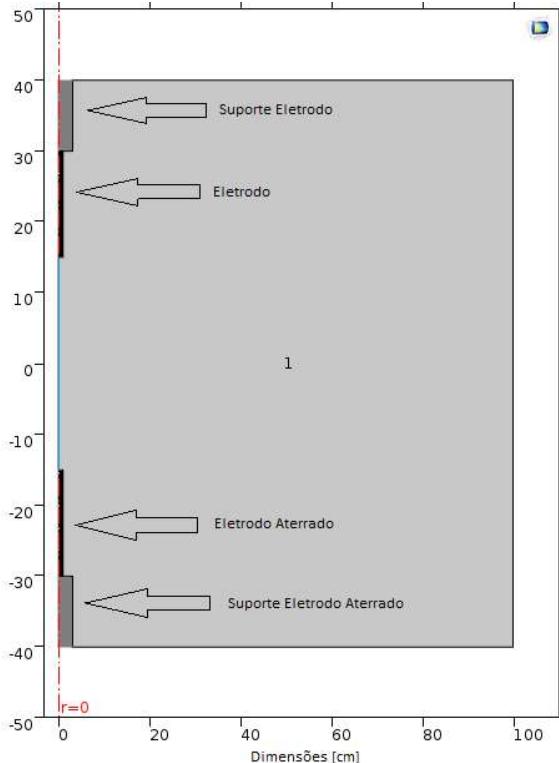


Figura 3: Desenho do modelo de elementos finitos para o arco aberto (dimensões em cm).

As regiões condutoras não tem atribuição de material específico, que na prática são alumínio para o suporte e aço inoxidável para os eletrodos, mas são designadas apenas como linhas condutoras elétricas formando um Terminal ao Potencial e Terminal Aterrado. A linha central azul representa a linha de condução de corrente do Arco Elétrico a ser simulado, e é paralela a linha de simetria do modelo (linha pontilhada vermelha). As regiões são detalhadas na figura 4.

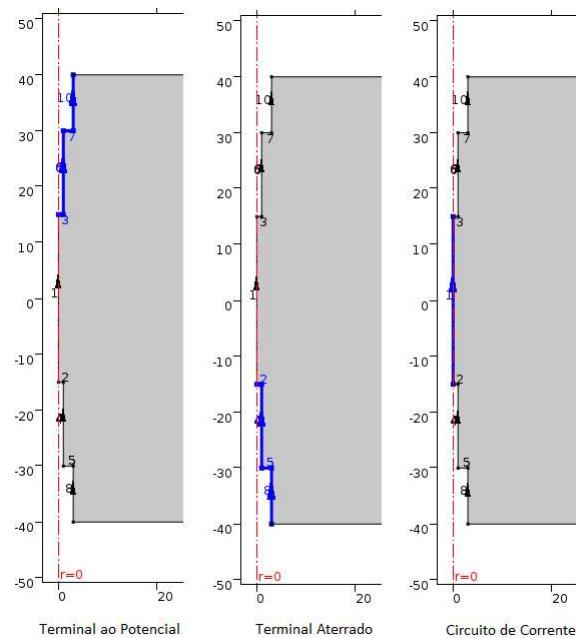


Figura 4: Representação do modelo de elementos finitos para o arco aberto (dimensões em cm), com as linhas eletricamente condutoras que encerram o volume de ar (setas azuis).

As demais linhas de contorno do volume de ar “1” são consideradas eletricamente isolantes no modelo de Correntes Elétricas e são apresentadas na figura 5.

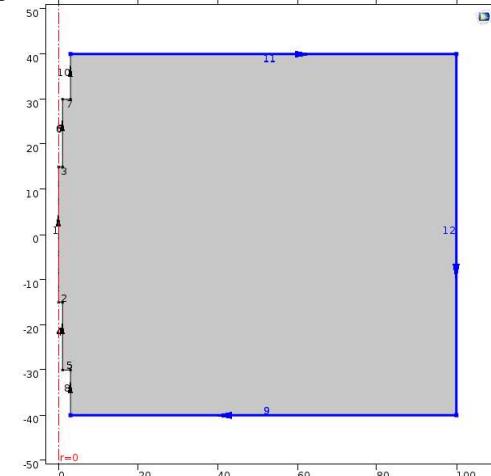


Figura 4: Representação do modelo de elementos finitos para o arco aberto (dimensões em cm), com as linhas eletricamente isolantes que encerram o volume de ar (setas azuis).

O volume “1” apresentado na figura 3 é composto de ar, onde são aplicados os coeficientes de Murphy [7,8] para os seguintes parâmetros que contemplam a termodinâmica e o transporte de calor no plasma: Condutividade Térmica, Capacidade Calorífica, Densidade, Viscosidade Dinâmica e Condutividade Elétrica. O coeficiente de emissão radiativa de calor apresentado por Murphy (1995; 2012) foi obtido pela soma ponderada dos coeficientes do nitrogênio, oxigênio, argônio e carbono. Os dados são válidos para 1

(uma) atmosfera e para um comprimento de absorção de 1 mm, assumindo-se a proporcionalidade dos coeficientes com a pressão.

Os parâmetros de entrada para o modelo teórico são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de entrada para simulação numérica.

Parâmetro	Valor	Unidade
Distância entre eletrodos	30,5	cm
Correntes de arco elétrico	7000	A
	8000	
	9000	
Tensão inicial da fonte	2000	V
Frequência da fonte	60	Hz
Temperatura inicial do sistema	293,15	K
Temperatura inicial dos eletrodos	3000	K
Impedância entre eletrodos	0,050	Ω

A temperatura inicial dos eletrodos (temperatura de catodo em eletrodos da plasma) foi baseada na intensidade do campo elétrico envolvido no arco elétrico de ensaio [13].

4.0 – RESULTADOS OBTIDOS

As simulações realizadas com o modelo numérico em COMSOL Multiphysics™ foram realizadas em duas configurações para avaliação dos resultados: Estacionária e Dependente do Tempo. Os objetivos em cada simulação são diferentes em cada processo.

Na condição de simulação estacionária, deseja-se observar o resultado do processo em condição de estabilidade, podendo-se deduzir valores de energias incidentes ou de fluxo de calor teoricamente contínuos, comparáveis aos softwares de simulação analítica disponíveis. Obviamente esta condição é hipotética, pois em condições reais o dispêndio de energia para manutenção deste processo de arco elétrico seria inviável.

Na condição de Dependência Temporal (*time dependent*) é possível avaliar a temperatura no ponto de interesse em relação à duração do arco elétrico e compará-la aos processos estacionários.

Como os modelos de cálculo apresentados pelas normas internacionais empregadas na caracterização para proteção contra os perigos do arco elétrico não abrangem o modelo representado pelo ensaio de arco elétrico, os resultados foram comparados essencialmente com o modelo teórico de Ralph Lee e com as saídas de softwares de simulação analítica ARCPRO e DUKE.

4.1 – COMPARAÇÃO COM RESULTADOS TEÓRICOS – MODELO DE RALPH LEE

A comparação com o Modelo de Ralph Lee [1] tem algumas limitações relacionadas a configuração do circuito elétrico, já que seus estudos foram baseados em sistemas trifásicos, e as simulações consideram um sistema monofásico aterrado, e também com relação as distâncias que foram utilizadas em seus cálculos teóricos com o arco elétrico, que iniciam-se em 50,8 cm (20"), já que o ensaio é baseado em distâncias de 20 cm até 60 cm.

Para uma aproximação com relação ao circuito de ensaio foi considerada uma corrente de falha no modelo de Lee de 8 kA, em um sistema de baixa tensão (480 V), levando em conta que a tensão do arco durante os ensaios é de aproximadamente 450 V. A potência estimada para o arco é de 3,32 MW de acordo com o modelo de Lee. A relação entre a potência do arco e o diâmetro da esfera no modelo de Lee é linear, e a relação entre a esfera de arco e a temperatura na pele em 0,1 segundos é quadrática. Há ainda uma atenuação pelo inverso do quadrado da distância, já que se atribui a maior parcela da energia incidente ao calor irradiado. O calor gerado pela fonte, por unidade de energia h é então deduzido da temperatura T no centro do arco por:

$$h = 0,571 \cdot T^4 \cdot 10^{11} (W/cm^2) \quad (14)$$

Com esta aproximação podemos interpolar os valores de Ralph Lee para nosso modelo de arco elétrico conforme o gráfico da figura 5.

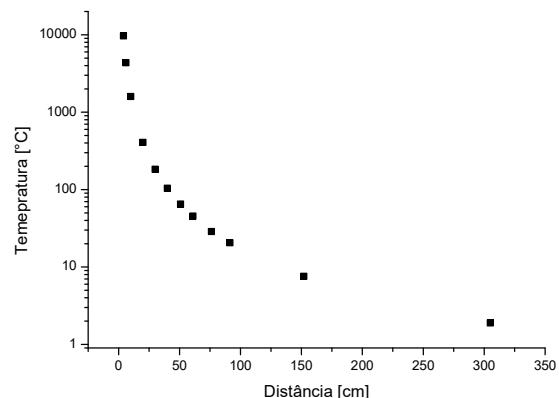


Figura 5. Temperatura extrapolada pelo modelo de Ralph Lee para uma corrente de falha de 8 kA, com potência de 3,32 MW, em um tempo de exposição de 0,1 segundos para diferentes distâncias em relação ao centro do arco elétrico.

O resultado para a simulação de temperatura com o COMSOL é apresentado na figura 6.

O resultado de temperatura superficial no modelo 2D de eixo simétrico representado em uma projeção de volume 3D, para um tempo de arco elétrico de 0,1 segundos é apresentado na figura 7.

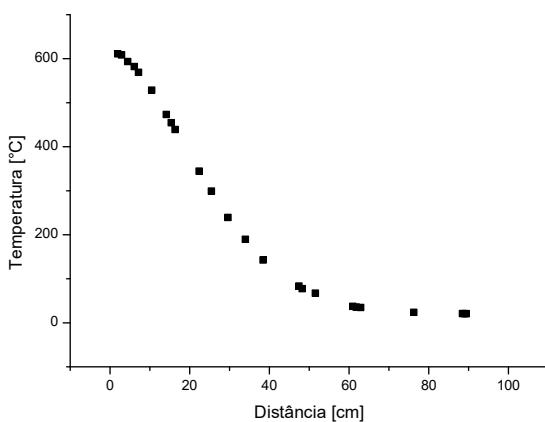


Figura 6. Temperatura em relação a distância do centro do arco para o modelo COMSOL do arco elétrico utilizado nos ensaios.

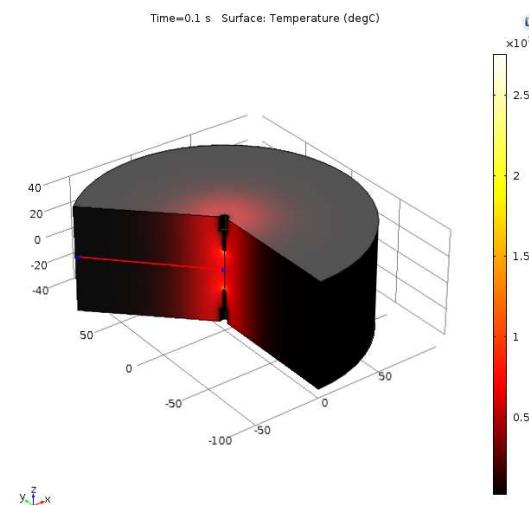


Figura 7. Projeção 3D do modelo 2D simétrico modelado em COMSOL Multiphysics™ para o arco elétrico de ensaio com 8 kA e tempo de 0,1 segundos. O segmento de linha em vermelho no volume representa os dados apresentados na figura 6.

Comparando-se os resultados da simulação com os resultados extrapolados do modelo teórico, temos a figura 8.

Os modelos divergem principalmente nas regiões mais próximas ao centro do arco, apresentando diferenças relativas de até 98%. Um fator que chama atenção é que nessa região as temperaturas simuladas caem consideravelmente em relação ao modelo teórico, que considera exclusivamente a propagação de calor por irradiação, o que é proeminente em distâncias maiores em relação ao arco, onde há melhor convergência entre os modelos. A condução térmica no plasma no ar empregada no modelo do COMSOL, entretanto, apresenta alguns problemas de convergência dos resultados nas regiões mais próximas ao arco, requerendo uma resolução mais baixa na saída de dados (*Extremely coarse mesh*),

o que revela uma necessidade de maior aprofundamento nos estudos do modelo proposto.

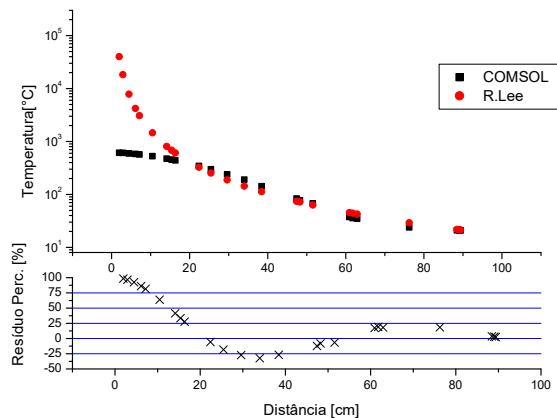


Figura 8. Resultado comparativo entre o modelo teórico de Ralph Lee extrapolado para distâncias inferiores a 50,8 cm e o modelo simulado em COMSOL Multiphysics™ relativo ao centro do arco elétrico.

A região de interesse de ensaios, especialmente entre 20 cm e 60 cm apresenta variações máximas de 32% em relação ao modelo de Ralph Lee. Como o modelo teórico tem relação com a emissão a partir de um ponto hipotético de ignição no centro de uma esfera e o modelo de elementos finitos possui uma projeção tridimensional, outros pontos de referência podem ser explorados. Quando extraímos a projeção a partir dos eletrodos, ponto de ignição na simulação, até a extremidade, o efeito de elevação é mais próximo aos resultados teóricos. A figura 9 mostra a representação geométrica da área de interesse por seção de linha (vermelha) na projeção 3D. Dados de temperatura extraídos a partir do eletrodo conforme indicado na figura 9 são apresentados na figura 10.

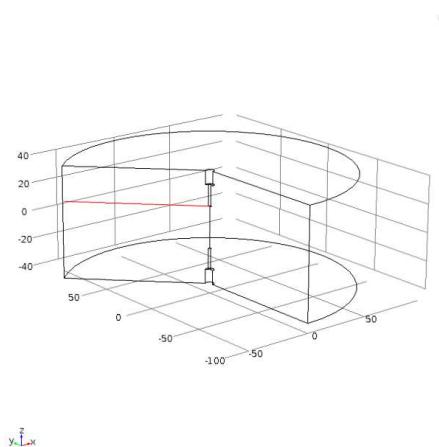


Figura 9. Projeção 3D do modelo 2D simétrico modelado em COMSOL Multiphysics™ com segmento de linha em vermelho no volume representando o vetor com os dados de interesse.

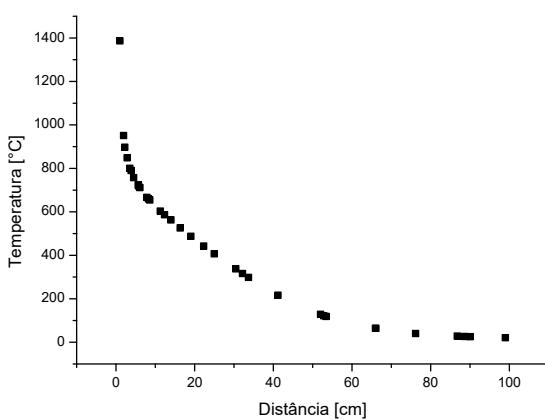


Figura 10. Temperatura em relação à distância do eletrodo superior do arco para o modelo COMSOL do arco elétrico utilizado nos ensaios.

O resultado comparativo com o modelo teórico extrapolado é apresentado na figura 11 onde se observa uma melhor convergência da simulação numérica. A região de interesse de ensaios, entre 30 cm e 60 cm mantém variações máximas de 32%. Nas regiões mais próximas ao arco elétrico o modelo diverge do teórico em até 97%, o que representa pouca diferença em relação a tomada de dados relativas ao centro do arco.

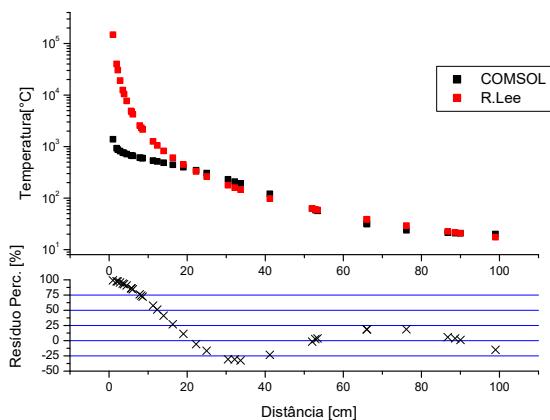


Figura 11. Resultado comparativo entre o modelo teórico de Ralph Lee extrapolado para distâncias inferiores a 50,8 cm e o modelo simulado em COMSOL Multiphysics™ relativo ao eletrodo superior do arco elétrico.

4.2 – COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DE OUTROS SOFTWARES

Complementando os resultados foram obtidos das simulações numéricas os fluxos de calor provenientes do arco elétrico. A unidade utilizada para comparação dos resultados foi cal/s/cm^2 , por conveniência de utilização dos softwares, em especial o DUKE HEAT FLUX que não apresenta ajuste de unidades SI.

A comparação entre os softwares analíticos ARCPRO, DUKE (HEAT FLUX) e a simulação numérica em COMSOL Multiphysics é apresentada na figura 12 para uma corrente de arco elétrico de 8 kA.

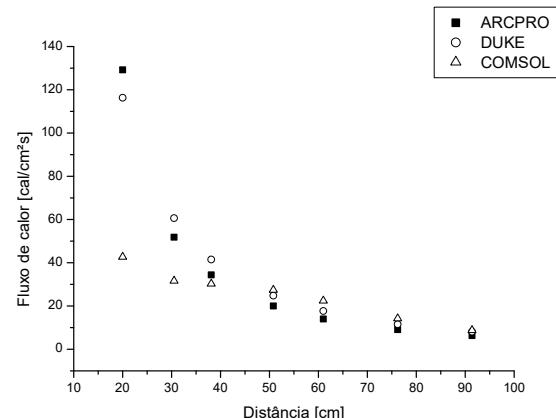


Figura 12. Resultado comparativo do fluxo de calor em cal/s/cm^2 em função da distância entre os Softwares analíticos ARCPRO, DUKE HEAT FLUX e o modelo numérico em COMSOL Multiphysics™ para uma corrente de arco elétrico de 8 kA.

Observa-se nos resultados apresentados na figura 12 que o modelo de elementos finitos novamente diverge em fluxo de calor nas regiões mais próximas ao centro do arco elétrico, como quando comparado com o modelo teórico de Ralph Lee, na grandeza temperatura. Aqui no entanto, as divergências são bem menores, cerca de 35% até 40 cm de distância.

Para avaliar a variabilidade do processo, uma vez que não existe a saída de erros ou incertezas contidas nos processos de cálculo, foram realizadas mais duas simulações nos extremos de correntes de ensaio prescritos pela norma IEC 61482-1-1, nos valores de 7 kA e 9 kA. Os valores são comparados novamente no gráfico da figura 13, onde é possível avaliar a concordância de valores até 40 cm de distância e o início do desvio dentro da margem de erros, a partir de 30 cm.

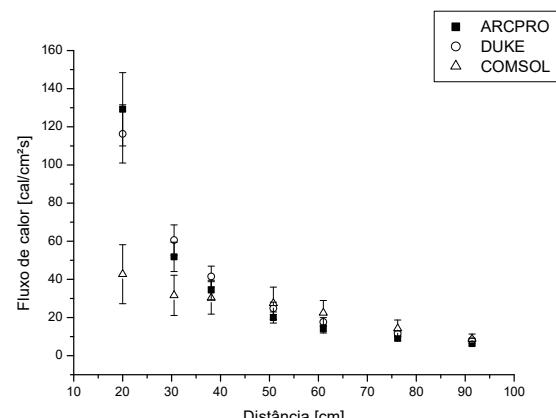


Figura 13. Resultado comparativo do fluxo de calor em cal/s/cm² em função da distância entre os Softwares analíticos ARCPRO, DUKE HEAT FLUX e o modelo numérico em COMSOL Multiphysics™ para uma corrente de arco elétrico de 8 kA com variações de ± 1 kA representadas pelas barras de erro.

4.3 – COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DE LABORATÓRIO

Como última comparação de resultados foram avaliados resultados de medição em laboratório, utilizando-se dados do Laboratório de Ensaios de Vestimentas (LEVe) do IEE-USP, único laboratório com ensaios normalizados no hemisfério sul.

Para avaliação dos resultados das simulações e cálculos foram utilizados dados de 78 medições em sensores de calorimetria extraídas de arcos de calibração em arranjos de painel, luvas, proteção facial e vestimenta pronta, que correspondem a arcos abertos sem a interposição de amostras de ensaios, conforme estabelecido nas normas IEC 61482-1-1 [5] e ASTM F 1959 [4], e adicionalmente nas normas ASTM F 2675 [14] e ASTM F 2178 [15], onde as correntes de ensaio foram mantidas entre $8\text{ kA} \pm 0,5\text{ kA}$, em um tempo de $167\text{ ms} \pm 2\text{ ms}$ (10 ciclos de rede em 60 Hz), em uma distância de referência de 300 mm. Os valores de medição foram extrapolados para a faixa de distâncias de ensaio que variam de 20 cm a 60 cm.

Dados semelhantes, em valores absolutos de 8 kA e 167 ms, para diversas distâncias na faixa de 20 cm a 60 cm foram simulados no COMSOL Multiphysics™, extrapolados no modelo de Ralph Lee e nos softwares ARCPRO e Heat Flux Calculator (DUKE).

A comparação dos resultados de temperatura são apresentadas na figura 14, onde ocorre uma variação do método de Ralph Lee em relação aos dados experimentais entre 73 e 75 %, e entre a simulação em COMSOL Multyphiscs™ e os dados experimentais entre 70 e 80 %.

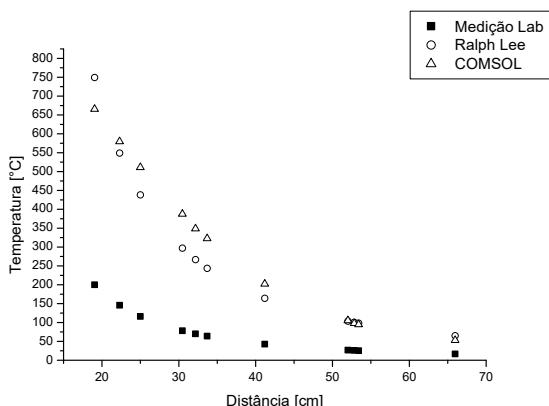


Figura 14. Resultado comparativo entre dados experimentais de Laboratório, o modelo teórico de Ralph Lee extrapolado para um tempo de

exposição de 167 ms, e o modelo simulado em COMSOL Multiphysics™.

Para a comparação da simulação com os softwares ARCPRO e DUKE foram integrados os valores de fluxo de calor em um intervalo de 167 ms obtendo-se energias incidentes em cal/cm². Os valores são apresentados na figura 15, onde ocorre uma variação entre a simulação em COMSOL Multyphiscs™ e os dados experimentais entre 12 e 115 %. No cálculo com o programa DUKE as diferenças ficam entre 20 e 69% e com o software ARCPRO as diferenças em relação aos dados experimentais ficaram entre 1 e 10 %.

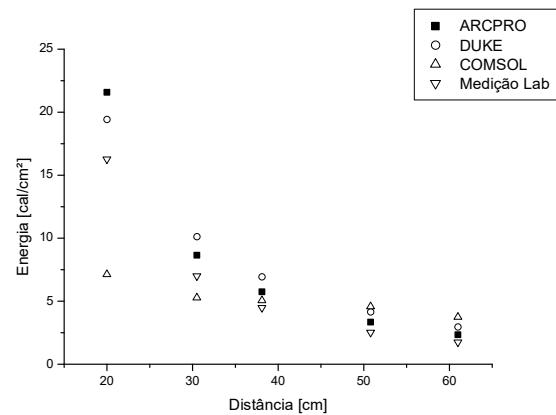


Figura 15. Resultado comparativo de energia incidente em cal/cm² em função da distância entre os Softwares analíticos ARCPRO, DUKE HEAT FLUX, o modelo numérico em COMSOL Multiphysics™ e os dados experimentais.

5.0 – CONCLUSÕES

O presente trabalho introduziu um modelo inédito de simulação numérica por elementos finitos do arco elétrico aberto utilizado para ensaios em equipamentos de proteção contra arco elétrico.

Os resultados desta primeira série de simulações apresentou uma concordância com resultados teóricos de temperatura transferida pelo arco elétrico, no entanto divergiu no parâmetro fluxo de calor em relação aos softwares atualmente empregados nos processos de cálculos para estudo da proteção do trabalhador. Para os dados experimentais ocorrem divergências tanto da simulação como do método de Ralph Lee em relação as temperaturas medidas, e os resultados de energia incidente do software ARCPRO são os mais contundentes.

Estes estudos apresentam uma nova ferramenta de análise de resultados que permite uma imensa interação com partes do processo, desde geometria, materiais e outras grandezas de influência, que podem ser exploradas para compreender melhor os fenômenos de transporte

de calor no plasma no ar em arcos elétricos abertos.

As maiores diferenças encontradas em relação aos métodos atuais está nas regiões mais próximas ao centro do arco elétrico, onde fenômenos como convecção e condução de calor nem sempre são considerados nos processos de cálculo. Valores de temperatura coincidentes com o modelo mais conservador de Ralph Lee, encontrados na simulação, abrem o questionamento sobre os métodos atuais de medição de temperatura e calorimetria no arco elétrico utilizado nos ensaios.

O método de simulação por elementos finitos, praticamente ilimitado em seu campo de aplicação em multifísica, abre novas possibilidades para um maior aprofundamento técnico e validações práticas, para o emprego em futuras avaliações de materiais ignífugos por simulação numérica, possuindo a grande vantagem de modelagem de praticamente qualquer material disponível na indústria.

6.0 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Dr. Anthony Bruce Murphy (*The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*, Sidney - Austrália) por gentilmente ceder suas bases de dados de coeficientes de termodinâmica e transporte de calor no plasma no ar, utilizados neste trabalho.

7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Lee, R. H., Life Fellow, IEEE. *The other Electrical Hazard: Electric Arc Blast Burns*. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-18, No. 3, May 1982.

[2] NFPA 70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2015

[3] IEEE 1584:2002. *IEEE Guide for performing Arc-Flash hazard calculations*. IEEE Industry and Applications Society. New York, NY, USA.

[4] ASTM F 1959: 2014, *Standard Test Method for Determining the Arc Rating of Materials for Clothing*. New York, NY, USA.

[5] IEC 61482-1-1: 2009, *Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc – Part 1-1: Test methods – Method 1: Determination of the arc rating (ATPV or EBT50) of flame resistant materials for clothing*. New York, NY, USA.

[6] R. F. Ammerman, T. Gammon, P.K. Sen, J. P. Nelson: *Comparative Study of Arc Modeling and Arc Flash Incident Energy Exposures*. IEEE/IAS 55th Annual Petroleum and Chemical Industry Technical Conference. Cincinnati, Ohio, September 2008.

[7] Murphy, Anthony B. "Transport coefficients of air, argon-air, nitrogen-air, and oxygen-air plasmas", *Plasma Chem. Plasma Process*. Vol 15, no. 2, 279 - 307 (1995).

[8] Murphy, Anthony B. "Transport coefficients of plasmas in mixtures of nitrogen and hydrogen", *Chem. Phys.* Vol 398, no. 1, 64–72 (2012).

[9] R.L. Doughty, T. E. Neal and L. Floyd. *Predicting Incident Energy to Better Manage the Electric Arc Hazard on 600-V Power Distribution Systems*. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 36, No. 1, Feb 2000.

[10] Doan, D. R. *Arc Flash Calculations for Exposures to DC Systems*. IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol 46, No. 6, 2010.

[11] J.V. Nicholas, D.R. White. *Traceable Temperatures*. Second Edition, John Wiley & Sons Ltd. 2001

[12] Bauchire, J-M., Bertrand E. L., Izarra, C. "Numerical Modelling of a Free-Burning Arc in Argon. A Tool for Understanding the Optical Mirage Effect in a TIG Welding Device". *Proceedings of the COMSOL Conference*. Milão, 2009.

[13] V. Singh. *Examination of Electric Arc Behavior in Open Air*. Tese de Doutorado. AALTO University – Helsinki, 2012.

[14] ASTM F 2675: 2019, *Standard Test Method for Determining Arc Ratings of Hand Protective Products Developed and Used for Electrical Arc Flash Protection*. New York, NY, USA.

[15] ASTM F 2178: 2017, *Standard Test Method for Determining the Arc Rating Of Face Protective Products*. New York, NY, USA.



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

A Importância da Norma Regulamentadora nº10 (NR-10) em Canteiro de Obras

João Macário de Omena Netto

Construtora ENGEMAT – Engenharia de Materiais Ltda.

jmacario@engenhariademateriaisltda.com.br

RESUMO

Este artigo serve para orientar a formatação do seu trabalho para o IEEE ESW Brasil. Use-o como padrão para editar o seu artigo.

1.0 – INTRODUÇÃO

No ranking de acidentes em **canteiros de obras**, aqueles decorrentes das **instalações elétricas provisórias** ocupam a terceira posição, superados apenas pelos casos de queda de altura e soterramento. E não é por falta de normatização, de manuais e de empenho por parte das entidades setoriais. As melhores práticas para execução e manutenção do sistema são objeto de um capítulo detalhado da Norma Regulamentadora (NR) 18, que prega a exclusividade de **mão de obra qualificada** para esse tipo de trabalho. A norma complementa a NR 10, que é mais abrangente, tratando da segurança em instalações e serviços de eletricidade. Ambas são publicadas e fiscalizadas pelo Ministério do Trabalho.

O profissional qualificado sabe, por exemplo, que, para executar qualquer serviço, as instalações não podem estar energizadas. Ou seja, é preciso desligar as chaves do circuito elétrico e isolar a área em questão, além de evitar emendas nos fios. A NR 18 vai além e diz que, na impossibilidade de desligar o circuito elétrico, “o serviço somente poderá ser executado após terem sido adotadas as medidas de proteção complementares, sendo obrigatório o uso de ferramentas apropriadas e equipamentos de proteção individual”.

PROJETO DE INSTALAÇÕES TEMPORÁRIAS

A construção do quadro elétrico provisório segue algumas regras. Ele pode ser um quadro principal de distribuição, intermediário ou terminal fixo e/ou móvel. Deve ser construído com materiais incombustíveis e resistentes à corrosão, e de maneira a proteger os componentes elétricos de elementos externos, como poeira e umidade. Uma regra importante é a exibição, no quadro, do diagrama do circuito elétrico. Sinalizado e de fácil acesso, o elemento não deve ficar no trajeto dos trabalhadores e de materiais e equipamentos.

ACIDENTES

De queimaduras à morte, os choques elétricos ocorrem em situações inesperadas e em outras bem conhecidas pelas equipes de canteiro. Entre as mais recorrentes, e a do fio de 220 volts desencapado que entra em contato com a armação no momento da concretagem da laje e a do trabalhador que esbarra no condutor exposto em dia de chuva. Uma medida recomendada para evitar esse tipo de acidente é a instalação dos condutores energizados em altura ou distância afastadas do trabalhador, das máquinas e dos equipamentos.

Um dos procedimentos básicos de segurança é a instalação de chave geral blindada no quadro, de acordo com as especificações da concessionária de energia da região da obra. Segundo a NR 18, “as chaves blindadas devem ser convenientemente protegidas de intempéries e instaladas em posição que impeça o fechamento acidental do circuito”.

MEDIDAS DE SEGURANÇA DIVULGADAS

O acesso à informação sobre as exigências normativas, os cuidados e os riscos das instalações elétricas provisórias foi ampliado, nos últimos anos, com a divulgação de publicações

A Importância da Norma Regulamentadora nº10 (NR-10) em Canteiro de Obras

e vídeos. A Fundacentro, órgão do Ministério do Trabalho, por exemplo, criou em 2007 um documento intitulado Recomendação Técnica de Procedimentos (RTP05). Disponível para download, o dossiê de 47 páginas é uma verdadeira aula sobre circuitos. Começa expondo o conceito de choque elétrico e seus efeitos, passa por capítulos que abordam tipos de proteção e localização dos riscos até o detalhamento dos equipamentos de proteção individual (EPIs) e coletivos, fechando com as ferramentas manuais de isolamento elétrico e de prevenção e combate a incêndio.

Entenda como manter a sustentabilidade da rede elétrica de um canteiro de obras fazendo uso de métodos seguros e que atendam às principais normas técnicas

Se por um lado os chamados Equipamentos de Proteção Individual garantem o conforto e a segurança dos operários na prática construtiva diária, tanto eles quanto cuidados específicos com a malha **elétrica** dos canteiros de obra são vitais para evitar instalações impróprias e inseguras. Mas de que forma projetar e executar redes mais protegidas e sustentáveis? Quais técnicas podem ser usadas na busca por uma eletricidade bem planejada e livre de riscos? Critérios específicos de *engenharia elétrica* têm as respostas para tais questionamentos.

Em primeiro lugar, deve-se pensar não só na implantação, mas na manutenção e fiscalização de condições seguras aos usuários do canteiro. “Uma instalação elétrica eficaz e confiável começa com uma mudança de cultura e com o envolvimento de arquitetos, técnicos e engenheiros no esclarecimento e denúncia de possíveis irregularidades”.

Atenção às normas regulamentadoras

As empresas de construção, é igualmente importante atentar-se à contratação de entidades ou profissionais que trabalhem em conformidade com as **normas NR-10 e NR-18**, além de seguirem as definições previstas pela ABNT NBR 5410, que trata de instalações elétricas de baixa tensão, e pela NBR 5419, sobre a proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Ao empregar tais diretrizes as construtoras não só mantêm ou reduzem seus custos, como asseguram sustentabilidade em todos os processos.

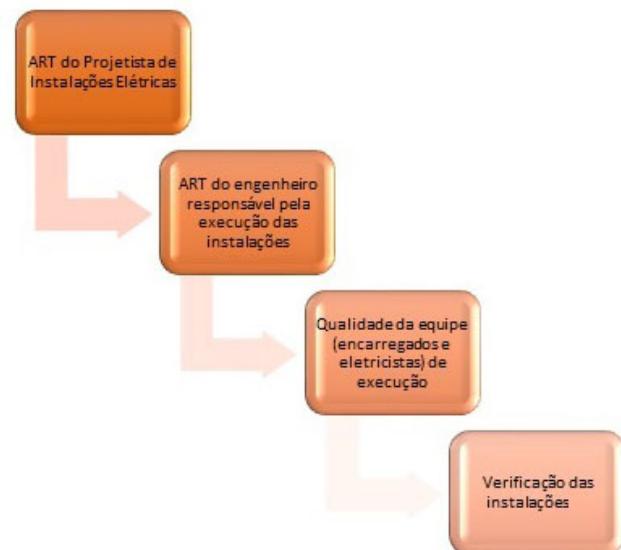


FIGURA 1: Sequência de Procedimentos

Um dos pontos mais significativos da NR-10 é a determinação de que qualquer instalação elétrica faça uso de um Prontuário de Instalações Elétricas (PIE), exigido pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). “Essa norma estabelece que a rede instalada em um canteiro de obras apresente uma documentação com as inspeções e mensurações do sistema de proteção contra aterramentos elétricos e descargas atmosféricas.

Já a NR-18 – item 18.21, voltado a instalações elétricas – dispõe sobre a obrigação de um **aterramento elétrico** devidamente protegido. Alojamentos móveis, andaimes motorizados, gruas e chuveiros elétricos, por exemplo, devem ser eletricamente aterrados conforme instruções da norma, que também exige a elaboração semestral de um **atestado de aterramento elétrico** produzido por um profissional legalmente habilitado. Além disso, a NR-18 menciona outras importantes normas como soluções técnicas eficazes à segurança.

A Importância da Norma Regulamentadora nº10 (NR-10) em Canteiro de Obras

Demais estratégias de instalação elétrica em canteiros



FIGURA 2: Eletricista realizando uma intervenção em um quadro elétrico

Na busca por mais garantias à obra e aos trabalhadores presentes em uma estrutura temporária, a parte elétrica não só deve seguir os preceitos das normas atualmente em vigor, como também contar com métodos funcionais e precisos. Assegurar a eletricidade do canteiro de forma a ser elaborada para haver risco zero ainda é um desafio, mas que certas práticas facilitam o objetivo e tornam a instalação elétrica correta ainda mais próxima da rotina das construções.

Evitar a troca de disjuntores por outros com capacidades maiores, sem a devida averiguação de **resistência do cabeamento**, é uma delas, além de remover o condutor de aterramento de proteção (PE) de forma adequada. A criação de uma “cultura de certificação voluntária” também é peça-chave na conquista de um projeto que dependa menos da qualidade da instalação e da mão-de-obra responsável pela execução.

Outra dica é o *Programa 100% Seguro*, criado pelo SESI (Serviço Social da Indústria), que fornece informações técnicas e profissionais valiosas aos agentes do setor que visam criar um projeto de energia elétrica seguro, sustentável e eficiente aos seus canteiros.

Construções civis que passem a adotar os padrões aqui abordados em sua rede elétrica estarão mais próximas de conquistaram uma possível certificação ambiental, afinal, segurança também é sustentabilidade. Conscientize-se e alerte a sua empresa sobre a causa! Além de mudar a triste realidade de que choques elétricos são a segunda maior causa de acidentes nos canteiros, todos entenderão, na prática, que eletricidade MATA, mesmo que instalada por pouco tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] *Proteção contra choques elétricos em canteiros de obras*, Maurício José Viana e Swylmar dos Santos Ferreira, São Paulo: Fundacentro, 2018.

[2] Tópicos de instalações elétricas em canteiro de obras: Comentários da NR-18, João Gilberto Cunha, São José dos Campos, 2018.

[3] NR 10 – SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE, Texto dado pela Portaria GM n.º 598, de 07 de dezembro de 2004.

[4] NR 18 – NR 18 - CONDIÇÕES E MEIO AMBIENTE DE TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, Portaria MTb n.º 261, de 18 de abril de 2018.

[5] Ayrão, Vinicius. Aterramento em canteiro de obras: Instruções Básicas, Acessado em 10/07/2019,
<https://viniciusayrao.com.br/aterramento-em-canteiro-de-obras-instrucoes-basicas/>



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

SISTEMA PARA ENSAIO DE INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE ACORDO COM A NORMA IEC 62109-2

Henrique Bizzi Morari
Universidade Federal de Santa
Maria
henriquemorari@gmail.com

Lucas Vizzotto Bellinaso
Universidade Federal de Santa
Maria
lucas@gepoc.ufsm.br

Leandro Michels
Universidade Federal de Santa
Maria
michels@gepoc.ufsm.br

RESUMO

A segurança do usuário é uma das principais preocupações ligadas a sistemas fotovoltaicos conectados à rede sem transformador. Para garantir a proteção contra incêndio e choque elétrico, a norma IEC 62109-2 requer a avaliação através de ensaios de resistência de isolamento e da corrente residual dos inversores fotovoltaicos. Para tanto, os testes empregam uma carga RC variável conectada ao lado c.c. do inversor. Embora essas cargas sejam fundamentais para os ensaios de segurança de sistemas fotovoltaicos, não foram encontrados estudos relacionados às topologias dessa carga RC, estudos de caso apresentando resultados experimentais, bem como estudos de parâmetros que podem impactar na repetibilidade dos resultados. Este artigo propõe o uso de uma carga RC chaveada eletronicamente, e estuda a possibilidade de parâmetros de ensaio influenciarem na medida de corrente residual. A carga RC proposta foi validada experimentalmente e se mostraram adequados para a realização dos ensaios de segurança. Além disso, um inversor fotovoltaico monofásico sem transformador foi ensaiado para verificar a sensibilidade do ensaio de corrente residual a características de formas de onda de tensão c.a. Resultados de tempo de atuação do inversor mostraram-se sensíveis à fase da tensão c.a. no qual a falha ocorre, parâmetro de ensaio que não é abordado na IEC 62109-2. Portanto, dependendo das características do inversor sendo ensaiado, a definição dos parâmetros de ensaio é importante para garantir a repetibilidade dos resultados.

1.0 – INTRODUÇÃO

Inversores fotovoltaicos sem transformador têm sido amplamente adotados para aumentar a eficiência e reduzir os custos de sistema fotovoltaico. Grande parte das topologias de inversores sem transformador caracterizam-se por elevada corrente de fuga de modo comum [1]. Essa corrente de fuga dificulta a detecção de choques elétricos no lado c.c. e pode aumentar o risco de incêndio.

Para minimizar os problemas de segurança, a norma IEC 62109-2 [2] define requisitos e procedimentos de teste para inversores fotovoltaicos conectados à rede. Os procedimentos de teste de corrente de fuga definidos pela IEC 62109-2 requerem uma carga RC variável. A literatura científica apresenta poucos trabalhos sobre sistemas de teste de corrente de fuga de inversores fotovoltaicos. As patentes [3]-[7] empregam diferentes métodos de variação de carga para realizar este teste, como reostatos eletromecânicos, semicondutores operando na região linear e comutação mecânica entre cargas fixas. Em [8], o autor propõe uma carga resistiva variável usando resistências ponderadas para realizar testes dinâmicos de fontes de energia. Em [9], uma carga resistiva com resistências ponderadas foi usada para controlar a freqüência de um micro-gerador hidráulico. Nenhum estudo foi encontrado com resultados experimentais de um sistema de teste de segurança com inversores fotovoltaicos.

Este artigo aborda dois grupos de testes exigidos pela IEC 62109-2: testes de resistência de isolamento e testes de corrente de fuga. Uma carga RC comutada de estado sólido foi desenvolvida para realizar todos esses testes. A solução proposta é composta de resistências ponderadas e capacitâncias, similares às cargas de [8] e [9], usando dispositivos de comutação com

semicondutores. Este método de controle de carga é diferente daqueles reivindicados nas patentes registradas [3]-[7], e tem a vantagem de controlar a resistência e a capacidade através de software supervisório. Resultados experimentais foram obtidos para validar a carga RC proposta. Além disso, um inversor fotovoltaico comercial monofásico sem transformador foi testado com os procedimentos da norma IEC 62109-2 [2]. A sensibilidade dos tempos de atuação da proteção contra choque elétrico do inversor ao ângulo da tensão da rede durante o qual ocorre falta também foi avaliada.

As principais contribuições deste estudo são: i) propor uma nova topologia de carga RC a ser aplicada nos testes de resistência de isolamento e corrente de fuga da IEC 62109-2; ii) analisar os parâmetros de teste, como tensão c.c., tensão c.a. e ângulo de fase c.a. em que a falha ocorre e sua influência nos resultados de teste de um inversor fotovoltaico monofásico sem transformador. Este estudo é importante para a indústria de inversores fotovoltaicos, laboratórios de teste e comitês de normas técnicas.

2.0 – NORMA IEC 62109-2

A norma IEC 62109-2 trata de requisitos de segurança e procedimentos de ensaio para inversores fotovoltaicos autônomos (*off-grid*) e conectados à rede (*grid-tie*).

2.1 – RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO

Para inversores não isolados, a norma determina que antes de o inversor iniciar sua operação e conectar-se à rede, o mesmo deve medir a resistência entre a entrada do módulo fotovoltaico e a terra. Se o valor da resistência de isolamento medido for inferior a $(V_{PV,max} / 30 \text{ mA}) \Omega$, onde $V_{PV,max}$ é a tensão de entrada máxima do inversor, o inversor deve indicar a ocorrência de uma falta e não se conectar à rede. Dessa maneira, evita-se a conexão do inversor com a rede na ocorrência de diversos problemas como aterrramento indevido do lado c.c., falha de isolamento, contato humano com terminal do sistema fotovoltaico, entre outros. Caso a resistência mude para um valor superior ao limite permitido, é permitida a conexão com a rede.

O ensaio para verificar se o inversor cumpre os requisitos de proteção contra resistência de isolamento consiste na inserção de uma resistência conectada entre os terminais do sistema fotovoltaico e a terra. O inversor é aprovado no requisito caso indique a falha na isolamento e não se conecte quando a resistência inserida é inferior à permitida.

2.2 – CORRENTE RESIDUAL

Inversores não isolados devem monitorar constantemente o valor eficaz (rms) da corrente de fuga sempre que estiverem conectados à rede.

Para inversores com potência de até 30 kW, se a corrente de fuga medida apresentar um valor eficaz constante superior a 300 mA, o mesmo deve desconectar-se da rede. Inversores de potência superior a 30 kW devem desconectar-se ao medir uma corrente de fuga constante superior a 10 mA por kW de potência. A desconexão com a rede deve ocorrer em no máximo 0,30 s e a falha deve ser indicada pelo inversor. O inversor pode reconectar-se à rede se medir uma resistência de isolamento superior ao limite.

Conforme definido em [2], o inversor deve desconectar-se da rede caso detecte uma elevação súbita no valor rms da corrente de fuga. A Tabela 1 apresenta os valores e de variação e os respectivos tempo máximo de desconexão.

TABELA 1. TEMPO DE DESCONEXÃO, DEFINIDO PELA NORMA, DEVIDO À AUMENTOS RÁPIDOS NA CORRENTE RESIDUAL

Magnitude da variação súbita da corrente de fuga	Tempo máximo para desconexão
30 mA	0,3 s
60 mA	0,15 s
150 mA	0,04 s

A Fig. 1 apresenta o circuito elétrico indicado pela norma IEC 62109-2 a ser empregado nos ensaios. O procedimento para ensaiar a proteção contra corrente de fuga constante excessiva, indicado pela norma, segue os seguintes passos:

- Uma resistência ajustável é conectada entre a terra e um dos terminais de entrada do inversor;
- A resistência é reduzida lentamente até que a corrente de fuga do inversor exceda o limite máximo e o inversor desconecte-se da rede;
- A resistência é ajustada para conduzir uma corrente de fuga de aproximadamente 10 mA inferior à corrente em que a proteção atuou;
- Outra resistência é conectada em paralelo, ajustada para conduzir uma corrente de fuga de aproximadamente 20 mA.

No passo “b” é obtido o valor da corrente de fuga em que a proteção do inversor atua, que deve ser inferior àquela definida na norma. No passo “c” é obtido o tempo de atuação da proteção do inversor. O tempo de atuação deve ser medido a partir do momento em que a segunda resistência é inserida até o momento em que a corrente chega a zero.

Para ensaiar a proteção contra variações bruscas na corrente de fuga, o procedimento é o seguinte:

- Um capacitor variável é conectado entre um dos terminais de entrada do inversor e a terra;
- O valor da capacitância é aumentado até que o inversor desconecte da rede devido à corrente de fuga constante excessiva;
- A capacitância é, então, reduzida de forma que a corrente de fuga seja aproximadamente 150% do valor da variação de corrente sendo testada (45 mA para o teste de variação de 30 mA, 90 mA para o teste de 60 mA e 225 mA para o teste de 150 mA) inferior à corrente em que a proteção atuou;
- Uma resistência variável, ajustada para conduzir 30 mA, 60 mA ou 150 mA é conectada em paralelo com o capacitor.

O tempo de atuação da proteção do inversor deve ser medido a partir do momento em que a resistência é conectada até o momento em que a corrente vai a zero. O ensaio deve ser realizado para os três valores de corrente definidos na Tabela 1 (30 mA, 60 mA e 150 mA).

Por fim, destaca-se que caso ocorra a desconexão do inversor pelos motivos expostos nessa seção, o mesmo pode reconectar-se à rede quando identificar que identifique que a resistência de isolamento é superior ao limite mínimo estabelecido em [3]. Para tanto, é necessário realizar um procedimento de medição da resistência de isolamento.

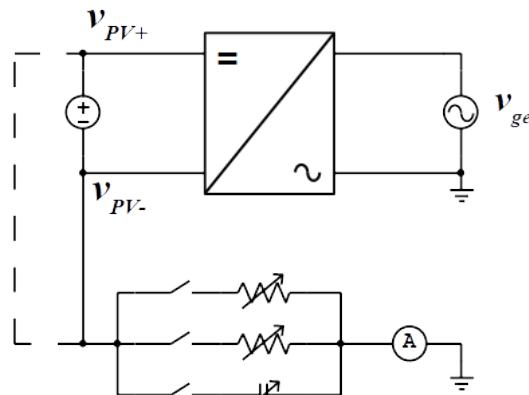


Fig. 1 - Carga RC variável conectada no lado CC do inversor fotovoltaico, de acordo com IEC 62109-2.

3.0 – SISTEMA DE ENSAIO

O sistema de ensaio desenvolvido neste trabalho é composto por uma carga RC variável controlada eletronicamente e um sistema supervisório, como mostrado na Fig. 2. O hardware desenvolvido permite a verificação dos requisitos apresentados nas Seções 2.1 e 2.2.

3.1 – CARGA RC VARIÁVEL

Em [8], é proposta uma carga resistiva variável controlada eletronicamente, utilizando 8 resistores em série, com valores de resistência em escala binária, ou seja, se a primeira resistência for de R , as outras serão de $2 \cdot R$, $4 \cdot R$, $8 \cdot R$, e assim por diante. Com 10 resistores, é possível obter 1024 diferentes combinações de resistências.

Neste trabalho, as resistências e capacitâncias também são utilizadas em escala binária, porém os elementos são conectados em paralelo. São empregadas 10 resistências acionadas por chave semicondutora bidirecional, totalizando 1024 combinações. Na carga capacitativa, são empregadas 8 capacitâncias acionadas por triac, totalizando 256 combinações.

Os valores das resistências R_n do circuito da Fig. 3(a) são definidos por (6), e as capacitâncias C_n do circuito da Fig. 3(b) por (7). R e C são a resistência e a capacitância bases para a definição dos resistores e capacitores utilizados no circuito. $d_{R,n}$ e $d_{C,n}$ representam o estado de cada chave do circuito, e pode assumir os valores 0 (chave aberta) e 1 (chave fechada). As correntes de fuga através das cargas resistiva e capacitativa são calculadas pelas expressões (8) e (9), respectivamente. A corrente de fuga total é a soma das correntes nas duas cargas, como em (10).

$$R_n = R / 2^n \quad (6)$$

$$C_n = C \cdot 2^n \quad (7)$$

$$i_{cm,rms,R} = \sum_{n=0}^7 [v_{cm,rms} \cdot d_{R,n} \cdot \frac{2^n}{R}] \quad (8)$$

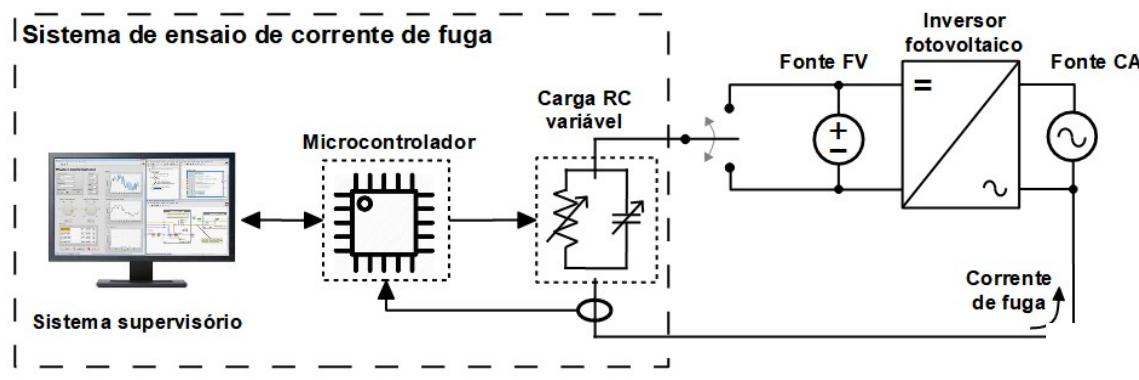


Fig. 2 - Sistema de ensaio.

$$i_{cm,rms,C} = \sum_{n=0}^7 [v_{ge,rms} \cdot \pi \cdot f \cdot d_{C,n} \cdot C \cdot 2^n] \quad (9)$$

$$i_{cm,rms,C} = i_{cm,rms,C} + i_{cm,rms,C} \quad (10)$$

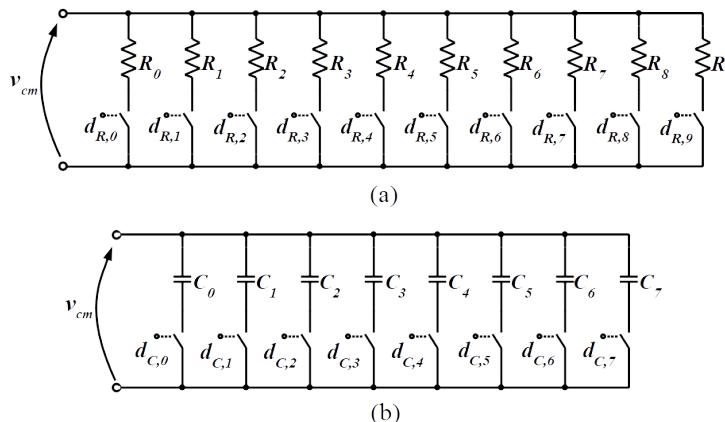


Fig. 3 - Carga RC projetada: (a) carga resistiva; (b) carga capacitiva.

Dessa forma, as cargas resistiva e capacitativa podem apresentar 256 valores diferentes de resistência e capacitância equivalentes, que podem, teoricamente, ser variadas de forma linear, dependendo do estado das chaves semicondutoras que controlam a condução de cada elemento.

4.2 – SISTEMA SUPERVISÓRIO

A carga RC é controlada através do Kit de desenvolvimento FRDM KL25z, da fabricante NXP, e de um software supervisório desenvolvido em Labview. O microcontrolador KL25z possui as seguintes funções:

- Amostrar a corrente de fuga medida em um sensor de efeito hall de 300 ma.
- Calcular o valor médio e RMS da corrente de fuga através de janela móvel.
- Obter o ângulo instantâneo da tensão da rede.
- Comunicar-se com o software supervisório através de comunicação serial.
- Enviar comando às chaves semicondutoras para acionar as combinações de resistência e capacitância;

O sistema supervisório Labview possui as seguintes funções:

- Receber do KL25z o valor RMS e valor médio da corrente de fuga.
- Aplicar os procedimentos dos ensaios da norma IEC 62109-2.
- Enviar a resistência e capacitância desejada para o microcontrolador KL25z.

4.0 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados experimentais foram realizados para: i) validar a carga RC desenvolvida, testando a resolução e o alcance da corrente através da carga; ii) obter os possíveis valores de resistência da carga, para a realização de ensaios de resistência de isolamento; iii) aplicar os ensaios da IEC 62109-2 em um inversor FV monofásico sem transformador comercial, estudando também a influência de parâmetros de teste nos resultados.

4.1 – RESULTADOS PARA A CARGA RC

A fim de validar o funcionamento da carga RC desenvolvida, foi aplicada uma tensão CA 60 Hz nos terminais da carga. A corrente na carga resistiva e na carga capacitiva foi variada continuamente de zero até o valor máximo, com o objetivo de avaliar a faixa de operação da carga.

A carga resistiva foi testada aplicando-se uma tensão de 150 V_{rms}. Na Fig. 4 é mostrada a variação contínua do valor rms da corrente na carga resistiva. Observa-se que a corrente é variada de 0 a 366,14 mA. Os degraus de corrente são de 360 µA, devido à resolução de 10 bits. Essa faixa de operação permite o ensaio de inversores de até 35 kW de potência.

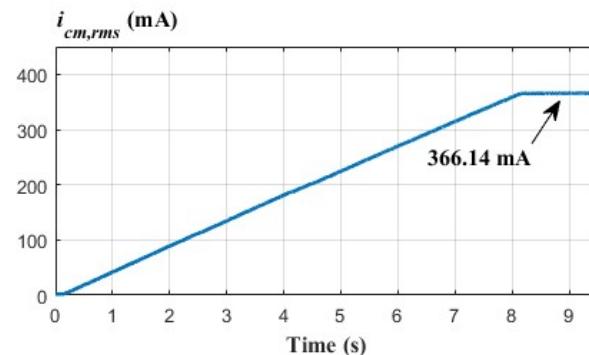


Fig. 4 - Faixa de operação da resistência, para tensão aplicada de 150 V_{rms}.

A carga capacitativa foi testada com uma tensão de 110 V_{rms}, que é a tensão alternada aplicada na carga capacitativa para ensaio de inversores monofásicos de topologia ponte completa com saída CA em 220 V_{rms} [11]. Na Fig. 5 é mostrada a variação contínua do valor rms da corrente na carga capacitativa. Observa-se que a corrente é variada, de 0 a 413,18 mA. Os degraus de corrente são de 1,63 mA, devido à resolução de 8 bits.

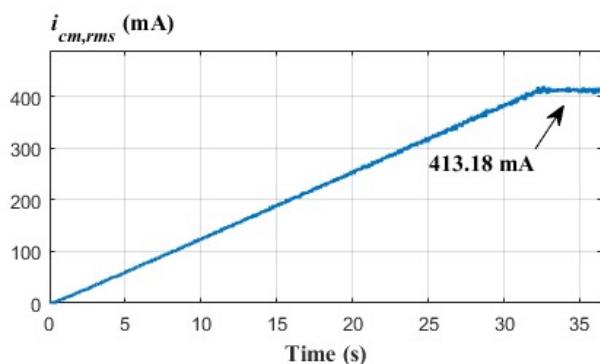


Fig. 5 - Faixa de operação da resistência, para tensão aplicada de 110 V_{rms}.

4.2 – RESULTADOS DE ENSAIO DE INVERSOR

O sistema desenvolvido foi utilizado no ensaio de um inversor fotovoltaico monofásico sem transformador. Os dados de placa do inversor são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. DADOS DE PLACA DO INVERSOR.

Parâmetro	Valor
Potência nominal	1,5 kW
Tensão c.a. nominal	220 V (rms) / 60 Hz
Faixa de tensão MPPT	125 V – 400 V
Tensão MPP nominal	360 V
Tensão c.c. máxima	450 V

Para a realização do ensaio, os terminais da carga RC foram conectados entre o pólo positivo da entrada do inversor e o terminal de neutro da saída. Para o inversor apresentado foram realizados os ensaios de corrente de fuga constante e de variação rápida de corrente de fuga. Foram avaliados o nível de corrente em que o inversor se desconecta, e os seus tempos de atuação para cada ensaio.

4.2.1 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO

Os procedimentos do ensaio de resistência de isolamento foram aplicados ao inversor. De acordo com o procedimento, a carga resistiva foi setada para o valor de 15 kΩ, aplicando-se a máxima tensão de entrada CC (450 V) com o inversor desligado. O inversor não se conectou à rede elétrica e acusou falha de isolamento na entrada CC. Assim, o equipamento foi aprovado no ensaio.

4.2.2 – ENSAIO DE CORRENTE DE FUGA CONSTANTE

Para o ensaio de corrente de fuga constante, foram obtidos os valores do *trip level* (nível de corrente de fuga constante em que o inversor desconectou) e do *trip time* (tempo em que a proteção do inversor atua após a corrente atingir o *trip level*). A Fig. 6 mostra o valor da corrente de fuga do inversor durante a primeira etapa do ensaio, em que a corrente é variada continuamente, através da carga resistiva, até que se desconecte, e a corrente vá a zero. O valor obtido para o *trip level* foi de 127 mA, inferior aos 300 mA que a IEC 62109-2 define como limite.

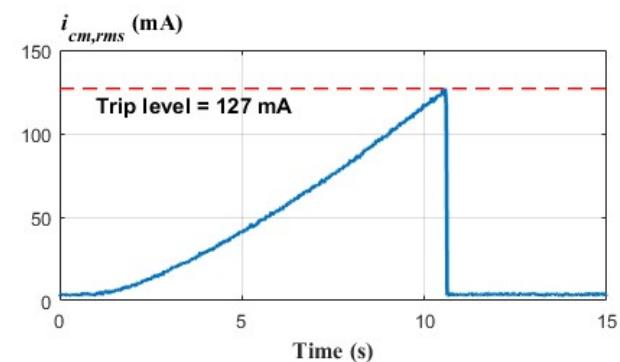


Fig. 6 - Valor rms da corrente de fuga durante o ensaio de corrente de fuga constante.

Na segunda etapa do ensaio, a corrente foi mantida próxima ao *trip level*, com o inversor conectado, e, então, a resistência foi reduzida de modo que a corrente ultrapassasse o *trip level*. O *trip time* é contado a partir do momento da redução da resistência, até o momento em que a corrente vai a zero. A Fig. 7 mostra a forma de onda da corrente, e o seu valor rms, no instante da desconexão. O tempo obtido foi de 42,34 ms, inferior ao limite de 300 ms da norma.

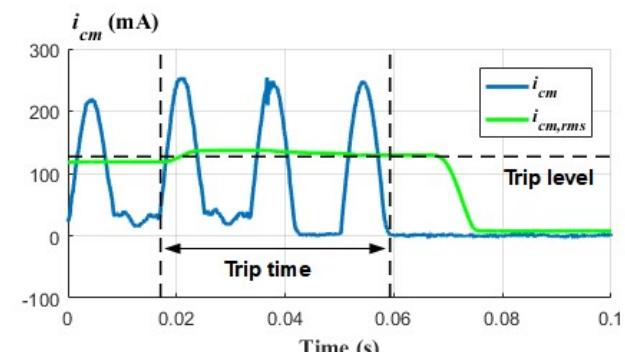


Fig. 7 - Forma de onda da corrente durante o teste de *trip time* para corrente de fuga constante.

4.2.3 – ENSAIO DE VARIAÇÃO RÁPIDA DE CORRENTE

O ensaio de variação rápida de corrente de fuga foi realizado de acordo com o procedimento da norma, para a obtenção os tempos de atuação da proteção inversor para aumentos rápidos de 30 mA e 60 mA na corrente de fuga.

Com a carga capacitiva conduzindo uma corrente de 82 mA, foi provocada bruscamente a condução de 30 mA através da carga resistiva. O *trip time* obtido foi de 207,43 ms, inferior ao limite de 300 ms da norma. A Fig. 8 mostra a forma de onda da corrente de fuga do inversor no momento da desconexão.

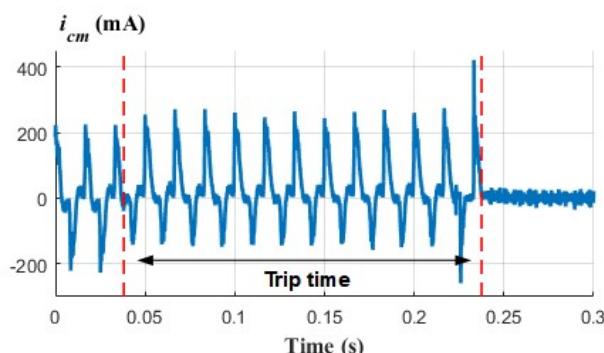


Fig. 8 - Forma de onda da corrente para o ensaio de variação rápida de 30 mA.

Com a carga capacitiva conduzindo uma corrente de 37 mA, foi provocada bruscamente a condução de 60 mA através da carga resistiva. O *trip time* obtido foi de 90,14 ms, inferior ao limite de 300 ms da norma. A Fig. 9 mostra a forma de onda da corrente de fuga do inversor no momento da desconexão.

Não foi possível realizar o ensaio de variação rápida de 150 mA, pois no ensaio de corrente constante da seção 4.2.1, verificou-se o inversor desconecta com 127 mA, inferior a 150 mA. Assim, considera-se que o inversor está automaticamente aprovado no ensaio de variação rápida de 150 mA.

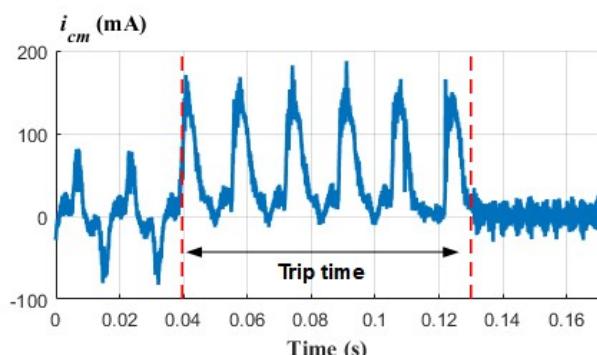


Fig. 9 - Forma de onda da corrente para o ensaio de variação rápida de 60 mA.

4.2.3 – SENSIBILIDADE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS AO ÂNGULO DA TENSÃO DA REDE

De acordo com a norma IEC 62109-2, os ensaios mostrados anteriormente devem ser repetidos cinco vezes, e o inversor deve ser aprovado todas as vezes. Porém, a norma não especifica o instante que deve ser realizada a comutação da resistência nos ensaios de *trip time*. O instante de comutação está relacionado ao ângulo da tensão da rede elétrica em que ocorre a comutação da resistência no lado CC. Assim, o inversor fotovoltaico foi ensaiado cinco vezes para cada um dos seguintes ângulos da tensão da rede: 0°, 90°, 180° e 270°. Os resultados são apresentados na Fig. 10. Os resultados de *trip time* foram analisados através da análise estatística da variância (ANOVA), empregando um nível de significância de 5% [12]. Os seguintes resultados foram obtidos para os ensaios:

- Ensaio de corrente constante:** o *trip time* foi estatisticamente sensível ao ângulo da tensão da rede em que ocorre a falta. O maior *trip time* (50-60 mA) ocorre para o ângulo de 90°, e o menor *trip time* (42 mA) para o ângulo de 0°. Assim, considera-se que o pior caso ocorre para o ângulo de 90°.

- Ensaios de variação de corrente de 30 mA e 60 mA:** em ambos os ensaios, não houve diferença estatística nos resultados de *trip time* em função do ângulo da tensão da rede em que ocorre a comutação da resistência. Assim, não existe um ângulo que possa ser considerado como pior caso.

A partir dos resultados da análise estatística do inversor monofásico ensaiado, verifica-se que os resultados de ensaios da IEC 62109-2 podem efetivamente depender do ângulo da tensão da rede em que ocorre a comutação da resistência no lado CC. Assim, é necessário, para cada inversor analisado, encontrar os piores casos de pontos de operação a fim de garantir maior repetibilidade dos ensaios.

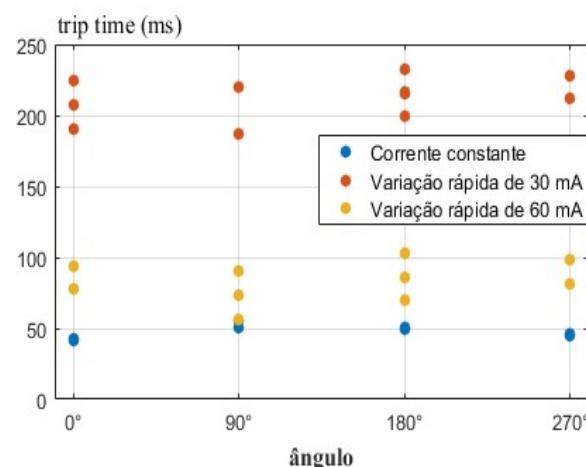


Fig. 10 - Resultados de trip time em função do ângulo instantâneo da tensão da rede em que ocorre a comutação da resistência.

6.0 – CONCLUSÕES

A corrente de fuga é um grande problema de segurança em inversores fotovoltaicos. Esse trabalho apresentou as causas do problema e os requisitos da norma IEC 62109 referentes à proteção contra a corrente de fuga em inversores fotovoltaicos, bem como os procedimentos para a realização de ensaios a fim de certificar a adequação dos inversores aos requisitos de segurança.

Nesse trabalho foi apresentado um sistema para ensaio de inversores fotovoltaicos de acordo com os procedimentos descritos na IEC 62109. Para isso foram desenvolvidos uma carga RC variável, e um sistema supervisório.

Através de resultados experimentais, a solução de sistema de ensaio desenvolvida se mostrou adequada. Com a carga RC desenvolvida para é possível realizar ensaios de corrente de fuga de inversores de até 35 kW.

Foram apresentados resultados de ensaios de corrente de fuga em um inversor fotovoltaico comercial, utilizando o sistema desenvolvido, o qual foi aprovado nos testes. Além disso, foi analisado o comportamento do inversor frente a diferenças no ângulo de fase da tensão da rede em determinadas etapas dos ensaios. Dessa forma é possível determinar o ponto de operação do inversor em que o seu comportamento é menos satisfatório, e, assim, garantir a repetibilidade dos resultados.

7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. S. Figueredo, K. C. M. de Carvalho, N. R. N. Ama, and L. Matakas, "Leakage current minimization techniques for single-phase transformerless grid-connected PV inverters — An overview," in *2013 Brazilian Power Electronics Conference*, 2013, pp. 517–524.
- [2] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Safety of power converters for use in photovoltaic power systems. Part 2 - Particular requirements for inverters. IEC 62109-2, 2011.
- [3] SHANGHAI ELECTRICAL APPARATUS RES INST GROUP CO LTD. GUO XINXIN; LI XINQIANG; ZHENG LUHAI; WANG AIGUO; JU DINGLI.Tester for detecting residual current of photovoltaic grid-connected inverter. CN203929851, 05 nov. 2013.
- [4] GLARUN POWER CO LTD. HU XU; PEI LE.Test platform for small photovoltaic grid-connected inverter. CN202870278, 10 abr. 2013.
- [5] GUANGDONG EAST POWER CO LTD. CHEN SHUSHENG.Photovoltaic inverter leakage current protection action test device. CN105223519, 06 jan. 2016.
- [6] ZHONGNENG YIDIAN NEW ENERGY TECH CO LTD. CHEN SHUSHENG.Photovoltaic inverter leakage current protection motion automatic testing device. CN105445590, 30 mar. 2016.
- [7] GUANGZHOU SANJING ELECTRIC CO. SANFU MO.Residual current and insulation test system of grid-connected inverter. CN202362435U, 01 ago. 2012.
- [8] Oliveira, R. G., Ferreira, L. H. C., & Ribeiro, E. R. (2017). Modeling and simulation of controllable AC series resistive load. In *2017 Brazilian Power Electronics Conference (COBEP)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/COBEP.2017.8257311>
- [9] Castillo, G., Ortega, L., Pozo, M., & Dominguez, X. (2016). Control of an island Micro-hydropower Plant with Self-excited AVR and combined ballast load frequency regulator. In *2016 IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ETCM.2016.7750868>
- [10] Vazquez, N., Rosas, M., Hernandez, C., Vazquez, E., & Perez-Pinal, F. J. (2015). A New Common-Mode Transformerless Photovoltaic Inverter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(10), 6381–6391. <https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2426146>
- [11] Morari, H. B., Bellinaso, L. V., Frohlich, R., (2018). Leakage current testing system applied to photovoltaic inverters – design and simulation. In *2018 11th Seminar on power electronics and control (SEPOC)*.
- [12] Sawyer, S. F. Analysis of Variance: The Fundamental Concepts. *The Journal of Manual & Manipulative Therapy Vol. 17 No. 2 (2009), E27-E38*.



IX IEEE ESW-Brasil 2019

A Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho

16 a 18 de julho de 2019 – Salto, SP

NR-10 PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICO

Edson Martinho
Lambda Consultoria Ltda /
Abracopel
edson@lambdaconsultoria.com.br

RESUMO

Este artigo traz uma preocupação que o autor tem com relação à segurança nos serviços de instalação de sistemas fotovoltaicos e os profissionais que atuam nesta área, pois observou-se que há um desconhecimento muito grande dos riscos que estão sujeito como a exposição ao arco elétrico, choques elétricos e principalmente a ausência quase que total de procedimentos de trabalho. A proliferação de “instaladores”, formado em diversos meios, com a preocupação de informar sobre os métodos de instalação não levando em conta os riscos é muito grande. Da mesma forma o uso de profissionais que vem do mercado de instalações elétricas prediais, com conhecimentos diferentes, pode trazer vários problemas culminando com acidentes de origem elétrica. A proposta é apresentar um modelo básico de “complemento” aos cursos básicos previstos na NR-10 – Norma regulamentadora para serviços em eletricidade.

1.0 – INTRODUÇÃO

Com a preocupação no crescimento econômico na década de 1970, com indústrias e obras de infraestrutura crescendo vertiginosamente, surgiu uma preocupação grande com relação aos acidentes de trabalho. Há relatos de que no início dos anos 1970 cerca de 1 a cada 7 empregados se acidentavam, ou seja, quase 15% dos trabalhadores sofriam algum tipo de acidente e muitos eram fatais, foi então que o governo, através do Ministério do Trabalho e Emprego, decidiu criar regulamentos em formato de norma regulamentadora que tem como objetivo padronizar, fiscalizar e fornecer orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados à segurança e à medicina do trabalho. Em oito de

julho de 1978, foram então publicadas 28 normas regulamentadoras (NR's). Dados estatísticos e relatos de profissionais do mercado de saúde e segurança do trabalho SST, mostram que os acidentes de trabalho reduziram desde a publicação destas normas, provando que esta prática foi acertada. Com o passar dos anos houve a necessidade de adequar as normas à realidade das empresas e dos empregados, então iniciou-se, em meados do final dos anos 1990 e início dos anos 2000, a revisão de algumas normas. Estas revisões ainda estão sendo elaboradas, seguindo um cronograma que tem como prioridade as demandas da sociedade. Dentro destas normas regulamentadoras, temos uma delas, que está ligada diretamente à área de eletricidade. Trata-se da norma regulamentadora de número 10 – NR-10 que define os procedimentos de segurança para quem trabalhe com ou nas proximidades da eletricidade, bem como quem se utiliza dela, ou seja, a NR-10 é o documento de garantia de segurança com a eletricidade. O texto original da NR-10 publicado em 1978, sofreu alterações em 2004, se transformando em um documento com características de gestão da segurança com a eletricidade, ditando regras de “o que se deve fazer para garantir a segurança com a eletricidade”, deixando o formato de “o como fazer” para as normas técnicas. Este modelo acabou indiretamente colaborando para que as normas técnicas da ABNT fossem mais valorizadas e reforçasse o caráter obrigatório, assim como o código de defesa do consumidor já havia feito.

A publicação do texto renovado da NR-10 no diário oficial em 8/12/2004 pela portaria do TEM nº 598, de 07 de dezembro de 2004, inaugurou um novo marco em relação à segurança com eletricidade. Poucos dias depois desta publicação, ou seja, no dia 02/02/2005 nascia a Abracopel – Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade. Justamente para criar ações com o objetivo de minimizar os acidentes

cuja origem é a eletricidade. Começamos difundindo o texto da NR-10, então, recém publicado, e a interpretação dele, ajudando na compreensão do texto e a implantação de medidas de segurança, principalmente nos ambientes industriais. Entretanto a Abracopel se preocupa também com todos os outros ambientes que possam ter riscos elétricos, incluindo os ambientes comerciais e residenciais. Foi então que passamos a orientar sobre os riscos para profissionais autônomos. Ao longo destes 14 anos, participamos de vários grupos de discussões que criaram métodos de trabalho, também realizamos mais de 200 seminários para informar sobre os riscos e como mitigá-los. Com o tempo e a experiência, observamos que alguns itens da NR-10 ganharam mais destaque e preocupação do que outros, principalmente dentro das empresas, como por exemplo, documentos de profissionais, ou seja, a comprovação da realização do curso básico e quando exigido, do curso complementar sobre segurança com eletricidade exigido em 10.8.8 - *Os trabalhadores autorizados a intervir em instalações elétricas devem possuir treinamento específico sobre os riscos decorrentes do emprego da energia elétrica e as principais medidas de prevenção de acidentes em instalações elétricas, de acordo com o estabelecido no Anexo III desta NR.* Estes cursos, que nasceram para serem ministrados de forma específica, ou seja, para informar os trabalhadores sobre os riscos elétricos que estariam expostos em determinada atividade, passaram a ser ministrados de forma genérica, ou seja, não específico para onde o profissional iria trabalhar, gerando, algumas vezes uma incompatibilidade com a função enorme. Por exemplo, um profissional que irá atuar em manutenção de motores e bombas em indústrias químicas, não podem ter o mesmo treinamento do profissional que irá trabalhar em uma empresa de sistema de informação. É fato que os riscos com eletricidade podem ser tratados como gerais, mas ainda assim é necessário ter uma adequação e direcionamento para que o profissional tenha o conhecimento e consiga visualizá-lo de imediato.

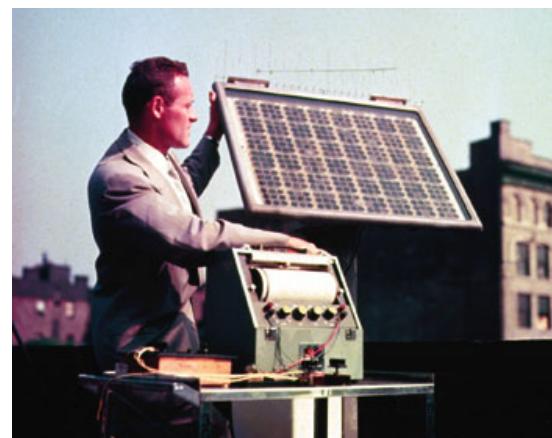
Pois bem, apesar deste tema ser polêmico, ou seja, algumas pessoas acharem que a NR-10 se aplica a todos os ambientes e que os cursos, mesmo sendo genéricos podem atender as necessidades de todas as indústrias, a tecnologia mudou e a partir dai outras demandas surgiram.

Este é o objetivo deste artigo, A demanda crescente por energias alternativas, principalmente às baseadas em sistemas de geração fotovoltaica, vem trazendo uma nova realidade no mercado e criando profissionais que atuam com energia elétrica com componentes em CC – Corrente contínua. Esta preocupação vem justamente pelo motivo dos riscos existentes neste tipo de energia elétrica não estarem contemplados no texto atual da NR-10. Este artigo busca iniciar e não esgotar a discussão da necessidade de se atualizar o texto

atual da NR-10, incluindo as situações de risco de sistemas em Corrente Contínua, bem como as formas de controlá-los. Neste artigo iremos tratar somente do assunto “instalações de sistemas fotovoltaicos”, mas o tema poderá ser estendido para as demais fontes de energia que tenham esta mesma característica.

2.0 – NR-10 PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de geração de eletricidade por captação do sol através de células fotovoltaicas, teve sua primeira aparição de forma comercial em 25 de abril de 1954 apresentada pela Bell Labs e batizada de Bell Solar Battery¹ garantindo que esta célula pudesse energizar um rádio transmissor de voz e música.

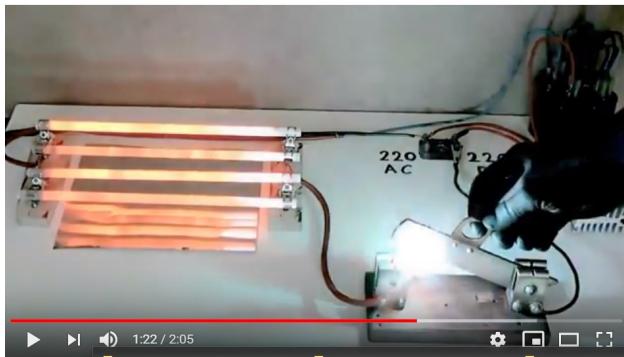


Célula Fotovoltaica (1954) – Fonte Bell Labs

Mas este sistema só começou a ganhar força nos anos 2000 e no Brasil nos anos 2010 com as crises energéticas e necessidade de redução de emissões de carbono no mundo e as regulamentações para interligações destes sistemas ao sistema de distribuição integrada de energia.

Nos últimos anos, temos visto um “boom” de instalações de sistemas de geração elétrica por células fotovoltaicas, e com isto vem a necessidade de mão de obra qualificada. Pois bem, não podemos afirmar que os profissionais não são capacitados para instalação destes sistemas, e assim como “tudo”, há bons profissionais, que se preocupam sempre em se capacitar, mas também há profissionais “aventureiros” que aprendem o básico e começam sua “aventura”. No mercado de instalações de sistemas fotovoltaicos não é diferente. Entretanto, um ponto comum tem sido lamentado por profissionais que atuam na Abracopel e a mim que me preocupo com a segurança com a eletricidade, praticamente todos os profissionais IGNORAM os riscos que estão correndo quando o sistema é em CC, ou seja, nos sistemas de geração por fotovoltaico, o trecho que sai do módulo e chega no inversor conduz corrente contínua que possui características diferentes da alternada, principalmente do ponto de vista

“abertura de contato” gerando um arco elétrico muito grande.



Simulação de arco elétrico na abertura de carga CC –
Fonte – Youtube 2

Estes profissionais também ignoram que estão trabalhando com tensões altas e na maioria das vezes em condições desfavoráveis de instalação (veja imagem abaixo).



Profissionais carregando e instalando módulos Fotovoltaico – Acervo próprio

Pois bem, diante do exposto, nossa proposta é a revisão do atual texto da NR-10 para que conte com os riscos com eletricidade em serviços que contenham energia em corrente contínua como seguem abaixo:

Atual:

10.1.2 Esta NR se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis.

Proposto:

10.1.2 Esta NR se aplica às fases de geração tanto em C.A como em C.C., transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas

pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis.

Atual

10.2.8.1 Em todos os serviços executados em instalações elétricas devem ser previstas e adotadas, prioritariamente, medidas de proteção coletiva aplicáveis, mediante procedimentos, às atividades a serem desenvolvidas, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores.

10.2.8.2 As medidas de proteção coletiva compreendem, prioritariamente, a **desenergização elétrica** conforme estabelece esta NR e, na sua impossibilidade, o emprego de tensão de segurança. {grifo meu}

10.2.8.2.1 Na impossibilidade de implementação do estabelecido no subitem 10.2.8.2., devem ser utilizadas outras medidas de proteção coletiva, tais como: isolamento das partes vivas, obstáculos, barreiras, sinalização, sistema de seccionamento automático de alimentação, bloqueio do religamento automático, e no caso de sistemas de fornecimento de energia por módulos fotovoltaicos, os cuidados com o isolamento elétrico dos condutores e a não desconexão dos cabos inadvertidamente.

Proposto

10.2.8.2.1 Em sistemas com corrente contínua e geração fotovoltaica, é obrigatório a remoção da carga através do interruptor seccionador que esteja junto ao inversor e deve ser conformado esta ausência de carga

Incluir em 10.2.9 MEDIDAS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL.

10.2.9.4 – Para trabalho em instalações de sistemas fotovoltaicos deve ser considerado as tensões CC para os equipamentos individuais de proteção

Incluir em 10.3 – SEGURANÇA EM PROJETOS

10.3.3.2 – Os circuitos de corrente contínua proveniente dos módulos e arranjo fotovoltaico, devem ser instalados separadamente e identificados corretamente.

Incluir nota em 10.5 – SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES DESENERGIZADAS

Nota: Vale lembrar que não é possível trabalhar com sistemas desenergizados nos arranjos fotovoltaicos

Atual

10.7.7 A intervenção em instalações elétricas energizadas em AT dentro dos limites estabelecidos como zona de risco, conforme Anexo II desta NR, somente pode ser realizada mediante a desativação, também conhecida como bloqueio, dos conjuntos e dispositivos de religamento automático do circuito, sistema ou equipamento

10.7.7.1 Os equipamentos e dispositivos desativados devem ser sinalizados com identificação da condição de desativação, conforme procedimento de trabalho específico padronizado.

Proposto

10.7.7.2 As instalações elétricas de sistemas fotovoltaicos acima de 1500 Vcc (usinas fotovoltaicas) devem ser tratados como sistemas energizados na parte CC.

Incluir

10.8.8.5 Os trabalhos em sistemas de geração fotovoltaica devem ser precedidos de treinamento específico de acordo com risco envolvido.

Incluir no ANEXO II - TREINAMENTO

Requisitos de segurança para instalações em sistemas fotovoltaicos

4. Medidas de Controle do Risco Elétrico:

n) remoção de carga no interruptor junto ao inversor

5. Normas Técnicas Brasileiras – NBR da ABNT: NBR-5410, NBR 14039 e outras;

Incluir 16690 – arranjos fotovoltaicos

12. Proteção e combate a incêndios:

Requisitos de combate a incêndio em arranjos fotovoltaicos onde não há desenergização

14. Primeiros socorros:

g) tratamento de acidentados por arco elétrico

6.0 – CONCLUSÕES

Em função da evolução de tecnologias, é recomendado que normas e regulamentos sejam revistos de tempos em tempos, minha sugestão é pelo menos a cada 10 anos. Diante da evolução e surgimento de sistemas de geração fotovoltaica, recomendo que a NR-10 seja revisada e seja acrescido a discussão de que os profissionais que atuam em instalações de sistemas fotovoltaicos de geração de energia, seja usinas ou não, sejam contemplados de forma que a norma possa abranger todos os profissionais. Este artigo teve o objetivo de levantar o tema, mas não esgotá-lo, trazendo algumas sugestões que devem ser melhor discutidas.

7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - <https://www.solsticioenergia.com/2014/04/25/celula-fotovoltaica-faz-60-anos/>

2 - <https://www.youtube.com/watch?v=hy5Xj6C32PI>

NR-10

<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR10.pdf>

Há regras para citação das referências.

As referências para livros [1], devem ser descritas na seguinte ordem: *Título* (em itálico), autores (nome na ordem natural), editora e ano.

As referências para artigos publicados em revista técnicas [2] devem ser descritas na seguinte ordem: autor (sobrenome primeiro), título, *identificação do periódico* (em itálico), edição, editora e páginas.

Para artigos disponíveis na internet [3], descrever na ordem: autor (sobrenome primeiro), *título* (em itálico), data do acesso e endereço (URL) completo do artigo.

Uma sugestão é fazer a descrição como definido na norma NBR 6023, utilizando o serviço gratuito online MORE - Mecanismo Online para Referências, em: <http://www.more.ufsc.br/>

Exemplos:

[1] *Manual de auxílio na interpretação e aplicação da nova NR-10*. Joaquim Gomes Pereira e João José Barrico de Souza. Editora LTr, 2005, Rio de Janeiro, RJ.

[2] Rangel Jr., Estellito “Mayor seguridad en los trabajos de mantenimiento eléctrico”. *NFPA Journal Latinoamericano*, vol 1, no. 16, setembro 2002, NFPA International, pg. 38 - 39.

[3] Tomiyoshi, Luiz. *Vestimenta de proteção contra queimaduras por arcos elétricos*. Acessado em dd/mm/aaa de:
<http://www.higieneocupacional.com.br/download/vestimenta.pdf>.

.



2019 IEEE ESW BRAZIL

ELECTRICAL SAFETY WORKSHOP BRAZIL (ESW BRAZIL)

16 A 18 DE JULHO DE 2019 – SALTO, SP

