



GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

ANÁLISE DE ENERGIA INCIDENTE: UMA COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS 2002 E 2018 DA IEEE STD 1584

MARINA CAMPONOGARA(1); DANIEL PINHEIRO BERNARDON(1); FERNANDO CESAR PEPE(2); GILNEI JOSÉ GAMA DOS SANTOS(3); LUCAS MELO DE CHIARA(4); TIAGO BANDEIRA MARCHESAN UFSM(1); CPFL PAULISTA(2); RGE SUL(3); CPFL SANTA CRUZ(4)

RESUMO

As queimaduras causadas por arco elétrico se destacam como o tipo de lesão mais numerosa em internações devido a acidentes elétricos, de forma que o risco térmico é considerado o mais significativo dentre aqueles associados a esse tipo de evento. A análise de energia incidente é uma ferramenta importante para o gerenciamento desse tipo de risco, podendo ser realizada a partir da IEEE Std 1584. O presente artigo apresenta uma análise de energia incidente aplicando-se os dois modelos desse guia, a fim de comparar seus resultados em termos de energia incidente e de determinação das vestimentas de proteção térmica aplicáveis.

PALAVRAS-CHAVE

Arco Elétrico. Energia Incidente. Equipamento de Proteção Individual. IEEE Std 1584. Queimaduras.

1.0 INTRODUÇÃO

Durante a ocorrência de um arco elétrico, há a liberação de energia térmica que, quando impressa em uma superfície localizada a uma certa distância da fonte, é responsável pelas queimaduras causadas por esse tipo de evento. As queimaduras por arco elétrico são classificadas como queimaduras de natureza elétrica e ocorrem em maior número dentro desse grupo, mas apresentam menor taxa de mortalidade do que os outros tipos de queimaduras dessa natureza (devido à alta ou baixa tensão e às descargas elétricas), conforme apontado por (1).

Diante da predominância das queimaduras causadas por arco elétrico nas internações hospitalares em função de acidentes de origem elétrica (2), o risco térmico é considerado o mais significativo dentre os riscos associados a um arco elétrico (3). Ademais, além dos riscos associados à saúde e à segurança do trabalhador, esse tipo de ocorrência causa danos às instalações elétricas, situação que pode implicar na interrupção do fornecimento de energia elétrica por longos períodos. Por isso, a análise de energia incidente é considerada um recurso importante para a segurança da vida e do patrimônio, sendo parte de um estudo denominado avaliação de risco de arco elétrico.

No presente trabalho, os autores propõem uma análise de energia incidente para uma falta trifásica em um barramento de 11 kV. Essa análise é realizada empregando os modelos de estimação de energia incidente previstos nas versões de 2002 e de 2018 da IEEE Std 1584, através do uso do *software* PowerFactory 2020, a fim de comparar os níveis de energia incidente obtidos e o impacto do uso desses modelos na seleção das vestimentas de proteção térmica e dos outros equipamentos de proteção individual segundo a norma NFPA 70E.

2.0 DEFINIÇÕES

A realização de uma avaliação de risco de arco elétrico envolve conhecer os conceitos básicos relacionados a esse tipo de estudo. A definição de arco elétrico é de conhecimento daqueles que exercem atividades em qualquer campo dentro de área elétrica, mas os conceitos de risco de arco elétrico, de energia incidente e de distância de aproximação segura estão atrelados diretamente a estudos de avaliação de risco de arco elétrico.

O termo arco elétrico se aplica à passagem de corrente elétrica através do ar. O ar não é um condutor elétrico, de forma que a corrente elétrica flui não por ele, mas através do vapor metálico disperso no ar, o qual é composto de material condutor ou carbono (4) e que se forma devido às altas temperaturas às quais os terminais são submetidos durante esse tipo de evento. O conceito de risco de arco elétrico, por sua vez, é definido na IEEE Std 1584 como uma condição perigosa associada ao arco elétrico e com probabilidade de causar lesões ou ferimentos (5,6).

Para definir os equipamentos de proteção individual (EPI) necessários e as medidas de segurança para trabalhadores que executam tarefas que apresentam risco de arco elétrico, é preciso realizar uma análise de energia incidente, ou seja, estimar os níveis de energia incidente e determinar a distância de aproximação segura. Conceitua-se a energia incidente como a quantidade de energia térmica impressa em uma superfície, a uma dada distância da fonte, gerada durante um evento de arco elétrico (5,6) e sua definição está relacionada, dentre outras variáveis, com a distância de trabalho, isto é, a distância entre o trabalhador e as partes vivas da instalação. A distância para a qual o trabalho é considerado seguro é denominada limite de arco elétrico ou distância de aproximação segura e reflete o afastamento entre a fonte e o trabalhador para o qual o nível de energia incidente é igual $5,0 \text{ J/cm}^2$ ou $1,2 \text{ cal/cm}^2$ (5,6). Esse valor de energia incidente é considerado seguro pois é capaz de causar uma queimadura de segundo grau, isto é, uma queimadura curável (7).

3.0 IEEE STD 1584

A IEEE Std 1584 é um guia proposto pelo *Petroleum and Chemical Industry Committee* (PCIC) da *Industry Applications Society* (IAS) do IEEE cujo objetivo é prover um modelo matemático para a realização de cálculos relacionados ao risco de arco elétrico.

Desde a publicação de (4), ocorreu um aumento progressivo na preocupação quanto aos riscos relacionados ao arco elétrico, culminando em outros trabalhos de destaque, como (8-10). Diante desse cenário, em 2002, o PCIC/IAS publicou a primeira versão da IEEE Std 1584, na qual foi proposto um modelo matemático baseado em testes para estimar os níveis de energia incidente decorrentes de um arco elétrico. Complementações a esse modelo foram publicadas em 2004, 2011 e 2013, mas ainda havia indicativos de falhas no modelo, especialmente em relação à análise de sistemas de média tensão (7), conforme indicado em (11-13). Com isso, em 2018, o PCIC/IAS apresentou uma nova versão da IEEE Std 1584, na qual foi sugerido um novo modelo, totalmente reformulado, para estimação de energia incidente.

Os modelos matemáticos propostos seguem a mesma sequência de obtenção das variáveis. Em um primeiro momento, é calculada a corrente de arco elétrico, a partir da qual se define o tempo de atuação da proteção, isto é, a duração do arco elétrico. Com essas informações, é possível então calcular a energia incidente e a distância de aproximação segura. Ademais, nas duas versões é feita a recomendação de se repetir a estimativa considerando uma corrente de arco elétrico reduzida, para fins de se observar os efeitos de uma pequena variação de corrente elétrica no tempo de operação da proteção (4). Os maiores níveis de energia incidente e de distância de aproximação segura obtidos são considerados como resultado definitivo da análise.

A fim de se comparar a aplicabilidade de ambos os modelos, a Tabela 1 expõe os parâmetros de aplicação tanto da IEEE Std 1584-2002 quanto da IEEE Std 1584-2018. Entre as semelhanças dos modelos, pode-se destacar a tensão, que se mantém entre 208 V e 15 kV trifásico para ambas as versões, além da frequência e o tipo de falta, enquanto a corrente, o espaçamento entre os eletrodos e o tipo de ambiente se diferem. Além disso, há considerações em um modelo que não são feitas no outro, como o modelo de 2002 que considera o tipo de aterramento do sistema e o modelo de 2018 que faz menção à uma distância de trabalho mínima.

TABELA 1 – Parâmetros de aplicação da IEEE Std 1584 (5,6).

Parâmetros	IEEE Std 1584-2002	IEEE Std 1584-2018
Tensão	208 V a 15 kV	208 V a 15 kV
Corrente	700 A a 106 kA	500 A a 106 kA (sistemas de 208 V a 600 V); 200 A a 65 kA (sistemas de 601 V a 15 kV);
Tipo de falta	Trifásica franca	Trifásica franca
Frequência	50 Hz ou 60 Hz	50 Hz ou 60 Hz
Aterramento	Todos os tipos de sistemas aterrados e não-aterrados	-
Espaçamento entre eletrodos	13 mm a 152 mm	6,35 mm a 76,2 mm (sistemas de 208 V a 600 V); 19,05 mm e 254 mm (sistemas de 601 V a 15 kV);
Distância de trabalho	-	Igual ou maior a 305 mm
Ambientes	Aberto e fechado	Condutores dispostos verticalmente em compartimento metálico; condutores dispostos verticalmente e terminados em barreira isolante dentro de compartimento metálico; condutores dispostos

		horizontalmente em compartimento metálico; condutores dispostos verticalmente em ambiente aberto; e condutores dispostos horizontalmente em ambiente aberto.
--	--	--

Além dos parâmetros de aplicação, os modelos matemáticos apresentados em (5) e (6) são bastante distintos. Na IEEE Std 1584-2002, apenas a obtenção da corrente de arco elétrico é diferente conforme o nível de tensão, havendo uma expressão para tensões abaixo de 1 kV e outra para tensões iguais ou acima de 1 kV, enquanto a equação para calcular a energia incidente e a distância de aproximação segura é a mesma para todos os níveis de tensão cobertos pelo guia. Por sua vez, a IEEE Std 1584-2018 tem dois modelos totalmente diferentes conforme o nível de tensão do ponto em análise, um modelo para tensões de 208 V a 600 V e outro para tensões de 601 V a 15 kV.

4.0 NFPA 70E

A NFPA 70E é uma norma da *National Fire Protection Association* (NFPA) cujo objetivo é prover procedimentos para práticas de trabalho seguras a partir da redução da exposição aos riscos elétricos. Essa norma é republicada a cada 3 anos, sendo sua última versão referente ao ano de 2021 e suas orientações quanto ao uso e a seleção de EPIs são largamente aceitas e empregadas nos mais diversos setores.

Desde a versão de 2018 e ainda na versão atual, a NFPA 70E propõe dois métodos distintos para selecionar as vestimentas e os demais EPIs de proteção contra arcos elétricos, que são o método de análise de energia incidente e o método de categorização de EPI.

O método de análise de energia incidente considera o nível de energia incidente estimado pelos modelos previstos em (14) para determinar o grupo, em termos de energia incidente, ao qual pertence o EPI adequado. O primeiro grupo refere-se a um conjunto de vestimentas com resistividade ao arco menor ou igual a 12 cal/cm² e outros EPIs aplicáveis, enquanto o segundo inclui vestimentas com resistividade ao arco elétrico superior a 12 cal/cm² e demais EPIs aplicáveis. Empregando esse método, a composição do EPI (vestimentas e outros) depende se a energia incidente estimada é menor, igual ou superior a 12 cal/cm² e a classificação de arco elétrico do EPI deve ser igual ou maior que a energia incidente estimada.

Já o método de categorização de EPI é previsto em (14) há mais tempo e, por isso, é o método de escolha de EPI mais difundido. Esse método classifica as vestimentas e os demais EPIs em quatro categorias, conforme a resistividade mínima ao arco elétrico prevista: a categoria 1 deve proteger contra os efeitos térmicos dos arcos elétricos com energia incidente de até 8 cal/cm², enquanto a categoria 2 tem classificação de arco mínima de 8 cal/cm². As categorias 3 e 4, por sua vez, correspondem à classificação de arco mínima de 25 e 40 cal/cm², respectivamente. Ou seja, o método de categorização de EPI prevê proteção térmica para eventos de arco elétrico com energia incidente de até 40 cal/cm², isto é, se a estimativa de energia incidente resultar em um valor superior a 40 cal/cm², não há vestimenta categorizada que garanta proteção, sendo necessário então encontrar técnicas que reduzam esses níveis.

5.0 METODOLOGIA

As análises de energia incidente do presente trabalho são feitas através dos modelos de 2002 e de 2018 da IEEE Std 1584 para uma barra de 11 kV do sistema IEEE 14-Bus. Tanto a simulação de curto-circuito quanto a estimativa de energia incidente é feita empregando o *software* PowerFactory 2020.

O sistema IEEE 14-Bus representa uma aproximação simplificada do sistema elétrico de potência norte-americano em fevereiro de 1962 (15) e está apresentado na Figura 1. O ponto escolhido para simular o curto-circuito e calcular a energia incidente é a barra 8, que possui nível de tensão igual a 11 kV, ou seja, apresenta tensão dentro dos limites estabelecidos pelos modelos da IEEE Std 1584-2002 e da IEEE Std 1584-2018.

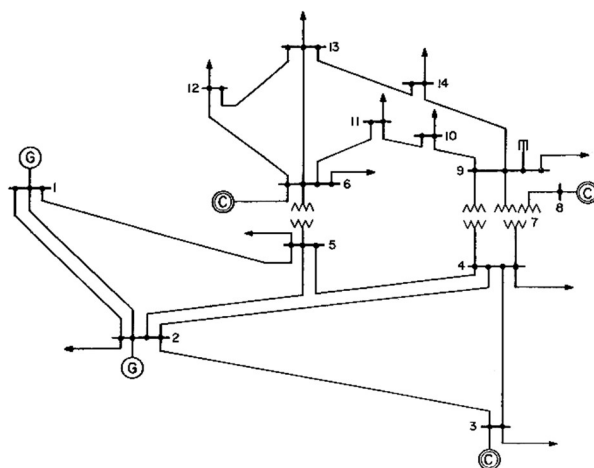


FIGURA 1 – Sistema IEEE 14-Bus (16).

Com o sistema já modelado no PowerFactory, faz-se primeiro a simulação de um curto-circuito trifásico franco e posteriormente se passa para a etapa de estimativa de energia incidente, através do recurso *Arc-Flash Analysis*. Para que esse recurso funcione, deve-se informar nas configurações da barra o tipo de disposição dos eletrodos, que nessa situação foi considerada como eletrodos dispostos verticalmente ao ar livre.

Informada a disposição e o ambiente dos eletrodos, na própria janela da ferramenta deve-se informar a norma para estimativa de energia incidente desejada e também a norma aplicável para seleção do EPI. A partir disso, é possível rodar o recurso, em que *software* faz a estimativa para cada um dos modelos (IEEE Std 1584-2002 e IEEE Std 1584-2018, em duas simulações distintas) e os resultados são acompanhados do EPI equivalente conforme o método de categorização de EPI da NFPA 70E.

6.0 RESULTADOS

Considerando-se uma duração de arco fixa de 0,4 segundos, a Figura 2 apresenta os resultados obtidos utilizando o *software* PowerFactory 2020 para a estimativa de energia incidente e categoria de EPI aplicável a partir do modelo da IEEE Std 1584-2002 e a Figura 3, para o modelo da IEEE Std 1584-2018. Esses dados estão reunidos na Tabela 2.

Arc-Flash Analysis

Project

01 - Load Flow Case Original Grid

Study Case

01 - Load Flow Case Original Grid

Min. Energy

0.0

J/cm^2

Min. PPE-Category

0

Show intermediate results

	Accessible Location	Bolted Fault Current [kA]	Arcing Current [kA]	Arc Duration [s]	Incident Energy [J/cm^2]	Flash Boundary [mm]	PPE-Category
1	Bus_0008	43,265	40,958	0,400	37,684	2510	3

FIGURA 2 – Estimativa de energia incidente e EPI aplicável conforme IEEE Std 1584-2002.

Arc-Flash Analysis

Project01 - Load Flow Case Original Grid

Study Case01 - Load Flow Case Original Grid

Min. Energy0.0J/cm^2

Min. PPE-Category0

Show intermediate results

	Accessible Location	Bolted Fault Current [kA]	Arcing Current [kA]	Arc Duration [s]	Incident Energy [J/cm^2]	Flash Boundary [mm]	PPE-Category
1	Bus_0008	43,265	35,767	0,400	58,734	4555	3

FIGURA 3 – Estimativa de energia incidente e EPI aplicável conforme IEEE Std 1584-2018.

TABELA 2 – Resultados de estimativa de energia incidente e EPI aplicável conforme a IEEE Std 1584-2002 e a IEEE Std 1584-2018.

Variáveis	IEEE Std 1584-2002	IEEE Std 1584-2018
Corrente de curto-circuito (kA)	43,265	43,265
Corrente de arco elétrico (kA)	40,958	35,767
Duração do arco (s)	0,400	0,400
Energia incidente (J/cm ²)	37,684	58,734
Distância de aproximação segura (mm)	2510	4555
Categoria de EPI	3	3

Observando as informações apresentadas na Tabela 2, a primeira variável do modelo de estimativa de energia incidente a se avaliar é a corrente de arco elétrico. Para o modelo de 2002, a corrente de arco elétrico é igual a 40,958 kA, enquanto para o modelo de 2018 esse valor cai para 35,767 kA, isto é, a corrente de arco elétrico obtida a partir da IEEE Std 1584-2002 é aproximadamente 1,15 vezes maior do que a corrente de arco elétrico calculada conforme a IEEE Std 1584-2018. Essa diferença pode ser associada ao fato de que, para a primeira versão, a corrente de arco elétrico é dependente apenas da corrente de falta franca, enquanto no modelo mais recente ela também depende do espaçamento entre os condutores e dos coeficientes relacionados ao tipo de configuração deles (vertical ao ar livre).

Os níveis de energia incidente também podem ser considerados bastante distintos: para o modelo de 2002, o valor estimado é de 37,684 J/cm² (aproximadamente 9 cal/cm²) e para o modelo de 2018, o resultado é de 58,734 J/cm² (14,04 cal/cm²), o que representa um aumento de cerca de 55,8% da versão mais antiga para a versão mais recente da norma. Nesse caso, a diferença entre os níveis de energia incidente obtidos a partir dos dois modelos não chega a alterar a categoria de EPI, que é a categoria 3 (exposições até 25 cal/cm²) para ambos os casos. Por fim, a diferença entre os valores de distância de aproximação segura é ainda mais expressiva: o valor obtido pelo modelo de 2018 (4555 mm) é cerca de 81% maior que o valor calculado a partir do modelo de 2002 (2510 mm).

Em caso da redução da duração do arco elétrico de 0,4 segundos para 0,1 segundos, os valores de corrente de arco elétrico se mantêm iguais, como pode ser observado na Figura 4 e na Figura 5, pois esta variável é independente do tempo. Esses dados estão reunidos na Tabela 3.

Accessible Location	Bolted Fault Current [kA]	Arcing Current [kA]	Arc Duration [s]	Incident Energy [J/cm ²]	Flash Boundary [mm]	PPE-Category
1 Bus_0008	43,265	40,958	0,100	9,421	1255	1

FIGURA 4 – Estimativa de energia incidente e EPI aplicável conforme IEEE Std 1584-2002.

Accessible Location	Bolted Fault Current [kA]	Arcing Current [kA]	Arc Duration [s]	Incident Energy [J/cm ²]	Flash Boundary [mm]	PPE-Category
1 Bus_0008	43,265	35,767	0,100	14,684	1840	1

FIGURA 5 – Estimativa de energia incidente e EPI aplicável conforme IEEE Std 1584-2018.

TABELA 3 – Resultados de estimativa de energia incidente e EPI aplicável conforme a IEEE Std 1584-2002 e a IEEE Std 1584-2018.

Variáveis	IEEE Std 1584-2002	IEEE Std 1584-2018
Corrente de curto-circuito (kA)	43,265	43,265
Corrente de arco elétrico (kA)	40,958	35,767
Duração do arco (s)	0,100	0,100

Energia incidente (J/cm ²)	9,421	14,684
Distância de aproximação segura (mm)	1255	1840
Categoria de EPI	1	1

A energia incidente, por sua vez, é reduzida para 9,421 J/cm² (2,25 cal/cm²) no modelo de 2002 e para 14,684 J/cm² (3,51 cal/cm²) no modelo de 2018, sendo essa redução decorrente da relação proporcional entre energia incidente e duração do arco. Nessa situação, os EPIs passam a ser da categoria 1, a qual protege contra exposições de até 8 cal/cm².

Ademais, as distâncias aproximação seguras resultantes também mudam, passando a assumir valores de 1255 mm e 1840 mm para os modelos de 2002 e 2018, respectivamente. Nesse cenário, ocorre a redução da diferença entre o resultado obtido pelo modelo de 2018 e o modelo de 2002, sendo o valor calculado pelo modelo mais recente cerca de 46,6% maior que o valor calculado pelo modelo antigo.

Por fim, é importante ressaltar que, em ambos os casos, as categorias de EPIs definidas a partir dos valores de energia incidente obtidos se mantiveram iguais para ambos os modelos em função de se ter empregado a escolha de EPIs pelo método de categorização de EPI previsto na NFPA 70E. Em caso de essa escolha ser feita pelo método de análise de energia incidente, no caso de arco elétrico com duração de 0,4 segundos, os EPIs para o modelo de 2002 se classificariam no grupo para exposição menor ou igual a 12 cal/cm², enquanto os EPIs para o modelo de 2018 seriam determinados a partir do grupo para exposição maior que 12 cal/cm², o que implica em diferentes níveis de proteção para uma mesma situação.

7.0 CONCLUSÕES

O presente trabalho comparou análises de energia incidente feitas empregando os modelos de 2002 e de 2018 da IEEE Std 1584 para um barramento de 11 kV do sistema IEEE 14-Bus em termos da estimativa de energia incidente e da definição das vestimentas e demais EPIs com classificação de arco elétrico aplicáveis a partir do uso da ferramenta *Arc-Flash Analysis* do software PowerFactory 2020.

Os resultados obtidos apresentaram dessemelhanças expressivas, as quais podem ser atribuídas à diferença entre os modelos. O modelo proposto na IEEE Std 1584-2018 apresenta maior refino em termos de modelagem matemática, pois considera diversos fatores que diferenciam os sistemas que podem ser analisados dentro de sua faixa de aplicação.

Além disso, a faixa de aplicação tanto do modelo de 2002 quanto do modelo de 2018 é um fator que reduz a aplicabilidade desse guia, porque atende apenas aos sistemas de baixa tensão e parte dos sistemas de média tensão, criando um hiato para a análise dos demais sistemas em média tensão, como os de produção de energia elétrica, e para os sistemas de transmissão de energia elétrica, que operam em alta tensão. Por fim, destaca-se também o tipo de falta considerado em ambos os modelos como fator limitador, pois as faltas do tipo trifásica são as menos comuns de ocorrerem em sistemas elétricos de potência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro da CPFL Energia no projeto “Metodologia e Ferramenta Computacional para Avaliação e Modelagem das Condições de Arco Elétrico em Sistemas Elétricos de Potência no Contexto Brasileiro”, desenvolvido sob o Programa P&D ANEEL PD-00063-3069/2020.

Esse estudo também foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ARNOLDO, B. D. Electrical injuries: a 20-year review. *Journal of Burn Care & Rehabilitation*, v. 25, n. 6, pp. 479-484, 2004 – Estados Unidos.
- (2) MOHLA, D. C. *et al.* Mitigating electric shock and arc flash energy – a total system approach for personnel and equipment protection. IEEE Industry Applications Society 57th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference (PCIC), 2010 – Estados Unidos.
- (3) FLOYD, H. L. *et al.* Arc flash hazards and electrical safety program implementation. 2005 Industry Applications Conference, vol. 3, pp. 1919-1923, 2005 – China.

- (4) LEE, R. H. The other electrical hazard: electric arc blast burns. IEEE Transactions on Industry Applications, v. IA-18, n. 3, pp. 246-251, 1982 – Estados Unidos.
- (5) INSTITUITE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS (IEEE). IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations (IEEE Std 1584-2002). 2002 – Estados Unidos.
- (6) INSTITUITE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS (IEEE) IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations (IEEE Std 1584-2018). Revisão da IEEE Std 1584-2018, 2018 – Estados Unidos.
- (7) CAMPONOVARA, M. *et al.* IEEE 13-node incident energy analysis using online platform. 13º Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC), 2021 – Brasil.
- (8) NEAL, T. E.; BINGHAM, A. H.; DOUGHTY, R. L. Protective clothing guidelines for electric arc exposure. 1996 IAS Petroleum and Chemical Industry Technical Conference, 1996 – Estados Unidos.
- (9) DOUGHTY, R. L. *et al.* Testing update on protective clothing and equipment for electric arc exposure. IEEE Industry Applications Society 44th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference (PCIC), 1997 – Canadá.
- (10) DOUGHTY, R. L.; NEAL, T. E.; FLOYD, H. L. Predicting incident energy to better manage the electric arc hazard on 600-V power distribution systems. IEEE Industry Applications Society 45th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference (PCIC), 1998 – Estados Unidos.
- (11) WU, A. Y. Modified medium-voltage arc-flash incident energy calculation method. IEEE Transactions on Industry Applications, v. 46, n. 5, pp. 1866-1872, 2010 – Estados Unidos.
- (12) SHORT, T. A.; EBLEN, M. L. Medium-voltage arc flash in open air and padmounted equipment. IEEE Transactions on Industry Applications, v. 48, n. 1, pp. 245-253, 2012 – Estados Unidos.
- (13) LUTZ, R.; CHARBONNEAU, M.; GARCIA, M. A graphical approach to incident energy analysis. IEEE Transactions on Industry Applications, v. 54, n. 1, pp. 815-821, 2018 – Estados Unidos.
- (14) NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). Electrical Safety in The Workplace (NFPA 70E-2021). Revisão da NFPA 70E-2018, 2020 – Estados Unidos.
- (15) ILLINOIS CENTER FOR A SMARTER ELECTRIC GRID (ICSEG). IEEE 14-bus system. Disponível em: <<https://icseg.iti.illinois.edu/ieee-14-bus-system/>>. Acesso em: 16 set. 2021.
- (16) Power systems test case archive 14 bus power flow test case. Disponível em: <http://labs.ece.uw.edu/pstca/pf14/pg_tca14bus.htm>. Acesso em: 13 mai. 2020.

DADOS BIOGRÁFICOS



Engenheira Eletricista pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) (2018). Atuou como bolsista de iniciação científica no Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência (CEESP), trabalhando na área de smart grids e também no campo de análise de estabilidade angular e de controle automático de geração (CAG). Em 2021, finalizou seu mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFSM, no qual pesquisou aspectos de estimação de energia incidente, estratégias de mitigação e medidas de proteção contra arcos elétricos. Atualmente, é aluna de doutorado do PPGE/UFSM e desenvolve pesquisas sobre arco elétrico e energia incidente.

(2) DANIEL PINHEIRO BERNARDON

Professor Associado 3 da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Bolsista de Produtividade em Pesquisa PQ-2 do CNPq. Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PPGE/UFSM (Conceito CAPES 6). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Energia e Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: operação e planejamento de sistemas de distribuição, redes elétricas inteligentes, recursos energéticos distribuídos, modelagem de sistemas e otimização. Também atuou dez anos no setor elétrico, trabalhando nas concessionárias de energia elétrica RGE e AES Sul.

(3) TIAGO BANDEIRA MARCHESAN

Tiago Bandeira Marchesan possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (2003- with first class honours) e doutorado em Engenharia Elétrica (2007) pela mesma Universidade, com estágio na Universidad de Oviedo, Espanha. É diretor do Centro de Tecnologia da UFSM desde 2017. Foi Coordenador de Transferência de Tecnologia da UFSM (2014-2017). Atua como Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (CAPES conceito 6) e professor do Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência da mesma Universidade. É Pesquisador no Instituto de Redes Inteligente e Unidade EMBRAPIL.

(4) FERNANDO CESAR PEPE

Téc. em Eletrotécnica pela Fundação Paula Souza de Piracicaba – SP (2003), Eng. Eletricista pela Faculdade Anhanguera de Campinas - SP (FAC) (2012), Pós-graduação/MBA Executivo em Liderança e Gestão Organizacional pela Franklin Covey (2013). Desde 1996 no Setor Elétrico pela CPFL, esteve à frente de processos na manutenção de linhas e subestações com tensão até 138.000 volts. Em 2012 entrou para a Engenharia de Distribuição do Grupo CPFL Energia, onde está atuando como eng. especialista em processos, no desenvolvimento de processos, procedimentos, implementação de novas tecnologias e projetos de P&D, que atualmente estuda a Energia Incidente.

(5) GILNEI JOSÉ GAMA DOS SANTOS

Gilnei José Gama dos Santos: Nasceu em Camapuã – RS, Brasil em 28 de dezembro de 1976. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Luterana do Brasil (2009), especialização em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho na Universidade Luterana do Brasil (2013), MBA em Gestão de Projeto pela Universidade do Vale do Sinos (2017) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (2020). Atualmente trabalha na RGE Sul Distribuidora de Energia onde atua na normatização, especificação, processos, e projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) relacionados a rede de distribuição de energia elétrica.

(6) LUCAS MELO DE CHIARA

Lucas Melo De Chiara, nasceu em São Paulo/SP em 1989, Graduiu-se em Engenharia Elétrica na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atua em projetos de pesquisa e desenvolvimento para o setor elétrico desde 2020 e atualmente gerencia um grupo voltado à formatação e execução de projetos de P&D no âmbito ANEEL. Seus principais interesses consistem no estudo da aplicação novas tecnologias e metodologias de gestão e execução de pesquisas para o desenvolvimento de melhorias e solução de problemas no setor elétrico como um todo.