

O EMPREGO DO MAPEAMENTO DE ARCOS ELÉTRICOS (*ARC MAPPING*) NA ROTINA DE INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIOS DO CBMSC

Rafael Melo Marques¹

Wagner Alberto de Moraes²

RESUMO

Estudos mostram que o arco elétrico é um dos principais mecanismos físicos relacionados à eletricidade quando da ocorrência de um incêndio. Este artigo vislumbra estudar o mapeamento de arcos elétricos (*arc mapping*), uma ferramenta capaz de fornecer subsídios ao investigador para interpretar de maneira mais correta possível os vestígios deixados por arcos elétricos encontrados em um cenário de investigação de incêndio, auxiliando-o na determinação de parâmetros como origem, caminho e sentido de propagação das chamas. O método de pesquisa exploratório e bibliográfico utilizado neste trabalho abrangeu doutrinas e normas nacionais e internacionais mais recentes em relação ao assunto em questão. Mostrou-se que o emprego do mapeamento de arcos elétricos deve envolver procedimentos minuciosos de localização, documentação e interpretação dos traços de fusão encontrados. Adicionalmente, foram apontadas algumas limitações que podem afetar o emprego da técnica, as quais devem ser conhecidas pelo investigador a fim de que este não desenvolva hipóteses equivocadas. Por fim, sugere-se que o *arc mapping* pode ser certamente aplicado na rotina de investigação de incêndios do CBMSC e que a construção de um laboratório específico para análises deste tipo se faz necessário como forma de fomentar as pesquisas neste campo.

Palavras-chave: Investigação de incêndio. Mapeamento. Arco elétrico. Traços de fusão.

1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa tem como objetivo principal descrever de que maneira é realizado o mapeamento de arcos elétricos em uma investigação de incêndio, discorrendo sobre a forma de interpretar os vestígios encontrados em cena que indicam a ocorrência destes fenômenos,

¹ 2º Tenente do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Graduado em Ciências Farmacêuticas pela Universidade Paulista (2014). Especialista em Gestão de Riscos e Eventos Críticos pelo Centro de Ensino Bombeiro Militar (2018). Especialista em Perícia em Incêndio e Explosão pelo Centro de Ensino Bombeiro Militar (2019). Atualmente é Comandante do 2º Pelotão da 2ª Companhia do 4º Batalhão de Bombeiros Militar, em Urussanga. E-mail: rmelo@cbm.sc.gov.br

² 1º Tenente do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Perito em Incêndio e Explosão (2015). Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Federal de Santa Catarina (2009). Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2013). Doutorando em Engenharia de Segurança ao Incêndio pela Universidade de Coimbra. Atualmente é Chefe da Divisão de Engenharia da Diretoria de Segurança Contra Incêndio do CBMSC. E-mail: wagnerm@cbm.sc.gov.br

com vistas a auxiliar o investigador na identificação correta de parâmetros como zona de origem, caminho e sentido de propagação das chamas. Além disso, almeja-se constatar a aplicabilidade da referida técnica na rotina de investigação de incêndios do CBMSC.

Dependendo da magnitude do evento, a investigação de um incêndio em uma cena sinistrada pode tornar-se um processo complexo e árduo ao investigador, principalmente no momento de determinar a origem, sua causa, a fonte de ignição e de que forma prevenir acidentes futuros similares (MUTHURAMAN; PALANI; RAJAKARUNAKARAN; 2014). Desta forma, o mapeamento de arcos elétricos pode vir a ser mais uma ferramenta a ser acrescentada ao rol de técnicas utilizadas pelo investigador de incêndio do CBMSC no deslinde dos exames periciais, garantindo maior robustez aos trabalhos desenvolvidos.

A fim de atingir os objetivos pretendidos, quanto à lógica, este estudo utilizou-se do método dedutivo, partindo do conhecimento amplo para a conclusão de questões específicas (GIL, 2010). Em relação à abordagem do problema, trata-se de uma pesquisa qualitativa, pois, conforme apontam Lakatos e Marconi (2011), buscou-se compreender os significados e as características trazidos pelos distintos autores estudados. Quanto à estratégia de pesquisa, esta classifica-se como bibliográfica, já que foi realizada a partir de material já publicado, tais como artigos, livros, entre outros materiais disponibilizados na Internet (GIL, 2010). Em relação aos objetivos, a pesquisa classifica-se como descritivo-exploratória, visto que ocorre a observação, o registro, a análise e a correlação de fatos ou fenômenos sem a manipulação destes, bem como não se fez necessário a elaboração de hipóteses para serem testadas (BERVIAN; CERVO; SILVA, 2007). Por fim, trata-se de uma pesquisa de natureza aplicada, visto que é capaz de gerar conhecimentos úteis para o emprego prático em investigações de incêndios relacionados com eletricidade (LAKATOS; MARCONI, 2011).

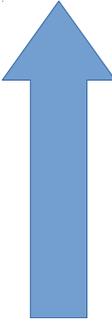
2 INCÊNDIOS DE ORIGEM ELÉTRICA

Pelo fato de que uma expressiva quantidade de incêndios ocorrerem ou estarem relacionados com o uso da energia elétrica, faz-se necessário que seja fomentada a pesquisa dos mecanismos de início e propagação do fogo relacionado à eletricidade, pois cada vez mais esta é uma necessidade de todos aqueles que lidam com a investigação de incêndios (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, 2010, p. 255).

Conforme aponta Babrauskas (2009), pessoas leigas no assunto geralmente tem em mente apenas dois mecanismos principais causadores de incêndio por meios elétricos: curto-circuito e sobrecarga, o que não denota a realidade. A partir da análise dos mecanismos físicos

causadores, confrontando a experiência do referido autor e discussões com diversos investigadores forenses e engenheiros elétricos, foi montada a seguinte tabela:

Quadro 1 – Mecanismos físicos em incêndios de causa elétrica

Mecanismo	Importância
Conexão parcial	 <p>Maior</p> <p>Menor</p>
Arcos elétricos através de superfícies carbonizadas	
Arcos elétricos através do ar	
Excessiva isolação térmica	
Sobrecarga	
Ejeção de partículas quentes	
Ruptura dielétrica em isolantes sólidos ou líquidos	
Outros fenômenos	

Fonte: Babrauskas (2009, p. 5)

Nota-se que, contrastando a visão leiga, a sobrecarga é um mecanismo importante, mas ainda não está entre as maiores causas elencadas de acordo com a tabela acima. Enquanto isso, o curto-circuito nem aparece na mesma tabela, visto que este fenômeno não corresponde a uma fonte única de ignição, podendo traduzir-se em diversos mecanismos físicos, tais como arco elétrico através do ar, sobrecarga, ejeção de partículas quentes, entre outros. De qualquer forma, o curto-circuito e seus respectivos desdobramentos ainda não estão entre as maiores causas de incêndios de ordem elétrica (BABRAUSKAS, 2009).

Por outro lado, observando ainda a Tabela 1, os arcos elétricos perdem em importância apenas para a conexão parcial, demonstrando a elevada relevância de um estudo mais acurado destes mecanismos na ocorrência de incêndios de ordem elétrica.

3 ARCOS ELÉTRICOS

Conforme explicitado por Campos (2016), quando existe um elevado campo elétrico entre dois terminais condutores, é possível ocorrer a ruptura dielétrica do material isolante que os separa, causando a ionização deste e possibilitando a condução de corrente elétrica de um condutor a outro, dando origem a um arco elétrico. Visualmente, é gerado uma contínua e luminosa descarga de corrente elétrica, com a característica de um plasma, alimentada pela

emissão termiônica³ dos eletrodos. Este fenômeno é uma ocorrência não intencional, sem o devido controle e que comumente pode expor materiais combustíveis a um potencial incêndio. (BENFER; GOTTUK, 2014; FOLORUNSO; OGUJOR; AKPOJEDJE, 2018).

Outra forma de o fenômeno se manifestar é quando existe uma corrente fluindo em um condutor e este é seccionado ou entre dois eletrodos e estes são separados. A medida que ocorre a separação, a área de contato diminui e a resistência de contato aumenta, fazendo com que a elevada concentração de calor atinja uma região pontual do metal, derretendo-o. Logo, forma-se uma ponte de metal líquido entre as duas extremidades, a qual atinge uma temperatura tão alta que se rompe explosivamente, seja por evaporação ou por causa da incapacidade das forças de tensão superficial em mantê-la estável. Seguido à ruptura, ocorre uma descarga de arco elétrico que, dependendo das condições de tensão, corrente e distância dos eletrodos, pode ser transitória ou sustentada (WU, 2001).

Mardegan e Parise (2018) trazem a seguinte definição para arcos elétricos no campo da engenharia elétrica:

O arco elétrico é uma descarga que pode surgir sempre que houver o rompimento (falha) do dielétrico (isolação) de um ponto energizado em relação à terra (ou massa) ou entre dois pontos de potenciais diferentes. A interrupção de correntes também provoca arcos.

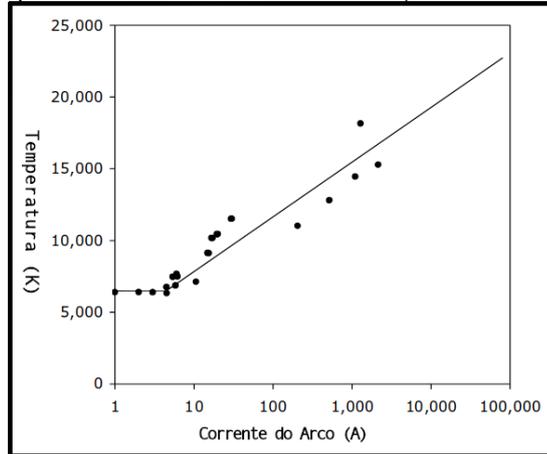
Os principais meios pelos quais o arco pode se formar são: o próprio ar, uma superfície carbonizada ou uma superfície molhada, sendo que, no caso do ar, a distância entre os terminais condutores deve ser bem pequena em virtude da alta rigidez dielétrica deste, na ordem de 30.000 V/cm (FOLORUNSO; OGUJOR; AKPOJEDJE, 2018). Dessa forma, a própria associação americana NFPA aponta que a tensão mínima para a ocorrência espontânea de um arco elétrico no ar é 350 V, por menor que seja a distância entre os eletrodos (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2017).

Quando um arco elétrico é gerado entre dois condutores energizados, a temperatura gerada no corpo do plasma é extremamente elevada. Conforme apresentado na figura abaixo, mesmo a partir de uma pequena quantidade de corrente, na ordem de 1A, a temperatura do arco já chega a atingir cerca de 6000 K, no mínimo. Enquanto isso, a temperatura nos eletrodos é limitada pelo ponto de ebulição do material que compõe estes, como o cobre, que evapora a uma temperatura de 2562° C (BABRAUSKAS, 2004; CAREY, 2009). Dessa forma, se o arco elétrico tiver uma duração adequada e produtos combustíveis estiverem

³ Conforme apontam de Lima, Foschini e Magini (2001), emissão termiônica, ou efeito Édison, é o processo físico em que o calor é capaz de fornecer energia suficiente aos elétrons, fazendo com que estes escapem da superfície do elemento metálico emissor (cátodo) e ganhem aceleração para ir em direção ao material coletor (ânodo).

próximos a ele, um incêndio pode ser facilmente iniciado.

Figura 1 – Temperatura de um arco elétrico em função da intensidade da corrente

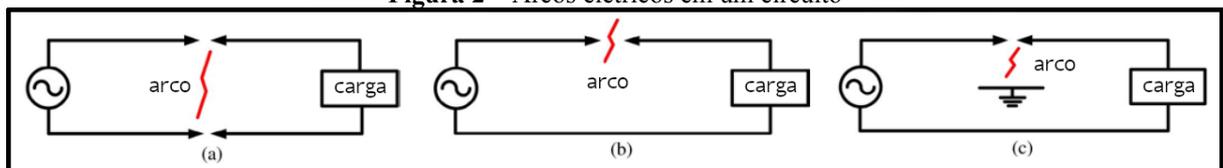


Fonte: Babrauskas (2004)

Observando ainda a figura acima, é notável a elevada temperatura que um arco elétrico pode atingir, sendo no mínimo cerca de seis vezes o valor do ponto de fusão do cobre (1082° C) ou dez vezes o valor do ponto de fusão do alumínio (660° C), dois dos principais metais utilizados como fios condutores em circuitos elétricos. Devido a isto, quando um condutor é atingido por um arco, este metal é facilmente derretido e, após o seu resfriamento, este material derretido deixa vestígios da ocorrência do fenômeno, os traços de fusão.

Folorunso, Ogujor e Akpojedje (2018) apontam que um arco elétrico pode se manifestar basicamente em três situações distintas em um circuito elétrico: em série, quando ocorre em um só fio condutor degradado ou que se rompe; em paralelo, quando ocorre entre dois fios condutores colaterais; e para a terra, quando o fio condutor toca uma superfície aterrada. A figura abaixo ilustra um esquema para facilitar a compreensão do que foi dito.

Figura 2 – Arcos elétricos em um circuito



Legenda: (a) em paralelo; (b) em série; (c) para a terra.

Fonte: Folorunso, Ogujor e Akpojedje (2018)

Cumprе salientar que existe uma estreita relação entre o arco elétrico e a centelha. Dehaan e Icovе (2012) apontam que basicamente os dois se diferem pela duração do fenômeno. Enquanto o arco elétrico consiste em uma descarga estável de corrente que persiste por um considerável período de tempo entre dois condutores, a centelha representa o início

deste fluxo com uma duração virtualmente instantânea. Outra definição para centelha, que inclusive deve ser a mais utilizada, a fim de não haver confusão entre os fenômenos, é toda e qualquer partícula incandescente de material em combustão, movendo-se através do ar, definição esta que vai ao encontro de um dos mecanismos já indicado na Tabela 1.

Conforme já apontado, a rigidez dielétrica do ar é muito elevada e, para que um arco elétrico se forme neste espaço entre dois condutores energizados, é necessária uma tensão suficiente para vencer o menor espaço possível e gerar o fenômeno. A NFPA (2017) aponta que, por menor que seja o espaço entre os condutores, deve haver no mínimo 350 V de diferença de potencial para que surja no ar espontaneamente um arco elétrico, situação esta não condizente com a realidade dos sistemas de 127 V e 220 V residenciais.

3.1 Tipos de arcos elétricos

Em virtude do foco de aplicação do *arc mapping*, este trabalho se aterá apenas aos arcos elétricos gerados por desconexão e aos que ocorrem através de superfícies carbonizadas, mais comuns em circuitos residenciais e relacionados a incêndios. Não serão abordados os arcos elétricos por elevadas tensões na rede ou por eletricidade estática.

3.1.1 Arcos elétricos por desconexão

Arcos elétricos por desconexão são aqueles gerados quando um fluxo de corrente é abruptamente interrompido através da abertura do respectivo circuito, como é percebido no desligamento de um interruptor ou na retirada de um plugue da tomada. Estes fenômenos comumente são tão breves que liberam pouca energia para possibilitar a ignição de materiais combustíveis próximos, exceção dada quando existe a presença de alguns gases, vapores e poeiras com características combustíveis dispersos no local (NFPA, 2017).

Outra ocorrência bem comum de um arco elétrico por desconexão é evidenciada quando da ocorrência de um curto-circuito ou de uma falta para terra. A elevada corrente que flui é capaz de derreter e vaporizar as partes metálicas no ponto de contato e, a medida que estas se separam, um momentâneo arco elétrico é gerado, durando poucos milissegundos (CAREY, 2009; NFPA, 2017). Apesar de ser um fenômeno lacônico, ainda é capaz de ejetar partículas aquecidas de metal derretido para os arredores, podendo em certos casos ser a causa de um incêndio.

3.1.2 Arcos elétricos através de superfícies carbonizadas

Esta situação de ocorrência de arco elétrico é de suma importância para a investigação de incêndios, visto que relaciona este fenômeno elétrico à ação das chamas sobre o material isolante dos condutores. De acordo com a NFPA (2017), é possível que a corrente flua através do material isolante desde que este seja carbonizado, o que torna o material de certa forma um condutor de eletricidade. Esta carbonização pode ocorrer de duas formas: através da passagem prévia de uma corrente elétrica ou pelo aquecimento do material até a sua deterioração.

A partir do momento em que uma superfície não condutora é contaminada com sais, poeiras ou líquidos com características condutivas, ela passa a permitir a passagem de uma corrente que, gradualmente, leva à carbonização do material isolante e propicia a formação de um arco elétrico através da superfície agora carbonizada, dando origem ao fenômeno conhecido em inglês como *arc tracking*. Este evento pode ser melhor reproduzido em sistemas de altas tensões, entretanto, não é raro a sua ocorrência mesmo em sistemas de 127 V com corrente alternada (NFPA, 2017).

De acordo com Babrauskas (2009), pesquisas apontam para um risco apresentado por alguns tipos de condutores isolados por Cloreto de Polivinila (PVC) que contém carbonato de cálcio em sua constituição, visto que, quando aquecido acima de 110° C, a reação química de degradação deste material faz com que seja produzido cloreto de cálcio, uma substância altamente higroscópica, que absorve a umidade do ar no ambiente, depositando-a sobre a sua superfície e levando ao *arc tracking*.

Por outro lado, quando existe a ação de uma chama direta ou de uma radiação de calor qualquer sobre um material isolante, isto faz com que a isolação seja carbonizada antes de ser derretido, tornando-a parcialmente condutora e permitindo a ocorrência de arcos elétricos ocasionais através desta superfície carbonizada (NFPA, 2017).

3.2 Vestígios deixados por arcos elétricos

Para aplicar o mapeamento de arcos elétricos de maneira correta em um ambiente sinistrado, o investigador deve ser capaz de identificar com clareza os vestígios deixados por estes fenômenos ao longo do circuito elétrico da edificação, e aos seus arredores, de forma que tais vestígios sejam localizados na cena e adequadamente documentados (NFPA, 2017).

Conforme afirma Carey (2009), frequentemente as evidências do acontecimento de arcos elétricos ao longo dos condutores são claramente visíveis na própria cena da

investigação, entretanto, em alguns casos, faz-se necessário uma visualização ampliada de tais vestígios, através do uso de lupas ou microscópios.

A doutrina de investigação de incêndios adotada pelo CBMSC, e trazida do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, atribui o termo “traço de fusão” para deformações encontradas no material condutor, onde este fundiu-se e remodelou-se em um curtíssimo período de tempo pela ação de um curto-circuito (CBMDF, 2010). Entretanto, sabe-se que tais deformações no metal condutor ocorrem em virtude do acontecimento de um arco elétrico, sendo o curto-circuito apenas um dos meios pelo qual este fenômeno se manifesta, conforme aponta Babraukas (2009).

Outrossim, um trabalho desenvolvido por Roby e McAllister (2012) mostrou que, quando submetido a ação de chamas em condições de temperatura acima do ponto de fusão do metal condutor, mesmo que não energizado, este pode apresentar traços de fusão de maneira similar ao que ocorre em condutores energizados, inclusive gerando deformações no formato de pérolas bem polidas. Fisicamente, isto é explicado pelas forças de coesão da tensão superficial que agem sobre qualquer material no estado líquido. Todavia, convém salientar que as condições reproduzidas pelos autores para a ocorrência dos traços de fusão em condutores não energizados distingue-se do que ocorre naturalmente em um incêndio estrutural comum.

Desta forma, observa-se que, para a investigação de incêndios, um traço de fusão é todo e qualquer vestígio de que ocorreu a fusão de um metal condutor, normalmente atribuído à ação de um arco elétrico, em suas diversas formas, ou pela ação direta de chamas que atinjam temperaturas acima do ponto de fusão do metal. Reitera-se que, em incêndios estruturais corriqueiros, atingir a temperatura de fusão de metais como o cobre (1083° C) não é comum.

A literatura costuma diferenciar os traços de fusão em primários e secundários, ou causadores e causados pelo incêndio. Entretanto, conforme apontam diversos estudos na área, na maioria dos casos, esta diferenciação pode não ser facilmente realizada de maneira visual ou mesmo laboratorial. Portanto, o investigador deve primeiramente considerar a relação existente entre o traço de fusão encontrado e outras circunstâncias investigadas no incêndio, tais como os padrões de queima, para assim poder concluir se aquele causou ou foi causado pelo sinistro (BABRAUSKAS, 2004; MOTELIEVICZ, 2015; ROBY; MACCALISTER, 2014).

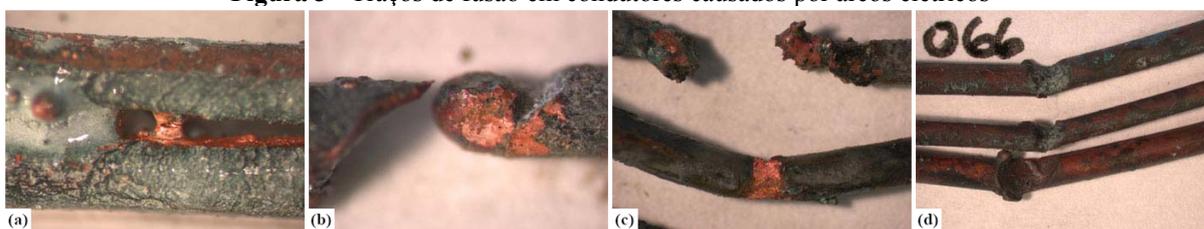
Todavia, de acordo com estudos realizados por Benfer e Gottuk (2014) e com o guia americano da NFPA (2017), os seguintes traços podem ser bons indicativos de que uma

superfície sofreu um arco elétrico: uma fina linha de demarcação entre a área atingida e a não atingida; um artefato de forma suavemente arredondada; um ponto de contato localizado; uma área danificada correspondente em um condutor oposto; granulação interna alongada do cobre; ondas de ressolidificação; localizadas depressões arredondadas; pequenas pérolas ou gotas em uma área delimitada; e alto grau de porosidade interna visualizada em um corte transversal.

Enquanto isso, os principais traços indicativos de que o derretimento foi causado por conta da ação de chamas são os seguintes: efeitos visíveis da gravidade no artefato encontrado; extensa área degradada sem uma linha de demarcação clara da área não atingida; estreitamento gradual do condutor; e baixo grau de porosidade interna visualizada em um corte transversal (NFPA, 2017).

Em resumo, os vestígios encontrados pelo investigador consistem em condutores pontualmente derretidos que indicam os locais onde os arcos elétricos possivelmente ocorreram, sendo denominados pela literatura brasileira de investigação de incêndio como traços de fusão (CBMDF, 2010). Além de possíveis respingos de metal derretido ou vaporizado nas imediações do local onde ocorreu o fenômeno, os vestígios encontrados em um circuito apresentam-se na forma de distintos padrões de derretimento do metal condutor, podendo reunir um ou mais das seguintes características: solda de dois condutores, formação de pérolas, entalhes ou mesmo a separação dos condutores (CAREY, 2009).

Figura 3 - Traços de fusão em condutores causados por arcos elétricos



Legenda: (a) Condutores soldados; (b) Condutor rompido com entalhe e pérola nas pontas; (c) Condutor rompido e condutor entalhado; (d) Condutores entalhados.

Fonte: Carey (2009)

Em relação aos arcos elétricos através de superfícies carbonizadas, sabe-se que estes eventos causam derretimentos pontuais ou ao longo de todo o condutor, dependendo da duração e da reincidência do fenômeno. Dessa forma, não raras vezes serão encontrados múltiplos traços de fusão que podem levar o condutor atingido a ser derretido ou rompido, mesmo em diversas frações. Ademais, condutores seccionados pela ocorrência de arcos elétricos através de superfícies carbonizadas costumam apresentar traços de fusão na forma de

pérolas em suas pontas e, em algumas situações, esta pérola pode unir dois condutores (NFPA, 2017). A figura abaixo ilustra os eventos descritos.

Figura 4 - Danos causados nos condutores por arcos elétricos através de superfícies carbonizadas



Fonte: Carey (2009) e NFPA (2017)

Identificar vestígios de que um arco elétrico ocorreu através de uma superfície carbonizada pode ser extremamente difícil, a não ser que o incêndio seja controlado ainda em sua fase inicial. Tal afirmação baseia-se no fato de que o caminho carbonizado, pelo qual fluiu o arco elétrico, logo é consumido pelas chamas do incêndio ainda em sua fase inicial de desenvolvimento (CAREY, 2009).

4 INVESTIGANDO INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Por mais óbvio que pareça, convém apontar que antes de se iniciarem os exames nas instalações elétricas, todo e qualquer suprimento de energia elétrica deve ser interrompido. Recomenda-se também que o investigador faça uso de alguma ferramenta e/ou equipamento de teste a fim de averiguar a presença de corrente e/ou potencial elétrico (voltagem) nos locais averiguados (CAREY, 2009).

Muitos investigadores geralmente ignoram os exames elétricos de um local sinistrado quando a causa do incêndio aparenta estar claramente determinada. Entretanto, a fim de que seja realmente confirmada ou descartada a hipótese de o incêndio ter sido iniciado por alguma causa elétrica, faz-se necessário realizar uma análise minuciosa e sistemática na instalação elétrica do local sinistrado. Carey (2009) afirma que uma boa prática para o início da realização dos exames é começar do local da tomada de energia externa da edificação até a área atingida pelo incêndio.

A investigação das instalações elétricas não pode deixar de abranger o tipo e o funcionamento dos dispositivos de proteção do circuito (ligado/desligado/ desarmado) e do

quadro de distribuição, além de minuciosamente documentar os circuitos elétricos da edificação, estabelecendo as rotas das fiações elétricas, os pontos de conexão e os equipamentos alimentados pela rede. Não menos importante, se possível, deve ser tomado nota da capacidade de corrente do painel principal, bem como da tensão de entrada (CAREY, 2009; NFPA, 2017).

Como dito anteriormente, todos os equipamentos alimentados pela rede elétrica devem ser devidamente documentados, assim como todas as tomadas e interruptores presentes na área atingida pelo fogo. Nota-se que esta fase inicial do exame nas instalações elétricas consiste em diagramar corretamente um determinado circuito elétrico, identificando interruptores, tomadas, bocais de lâmpadas e equipamentos eletrônicos presentes, bem como dispositivos de proteção existentes naquele circuito (NFPA, 2017).

Ainda de acordo com a guia da National Fire Protection Association (2017), em alguns casos, a análise dos componentes elétricos deve ser mais aprofundada, como, por exemplo, quando o investigador suspeita de que a causa do incêndio seja de origem elétrica ou quando for aplicado a técnica de *arc mapping*, traduzido por este autor como mapeamento de arcos elétricos.

5 MAPEAMENTO DE ARCOS ELÉTRICOS (*ARC MAPPING*)

De acordo com a National Fire Protection Association (2017), em seu guia NFPA 921, a identificação correta da zona de origem e do foco inicial de um incêndio é uma das mais importantes hipóteses que o investigador deve desenvolver durante a investigação, bem como testá-la a todo momento a fim de comprovar sua veracidade. De sorte que, caso não usufrua sucesso nesta missão, não conseguirá, por consequência, determinar a causa do incêndio.

Em alguns casos, uma gravação de vídeo ou um simples relato de uma testemunha confiável podem ser o suficiente para determinar o local correto da origem do incêndio. Todavia, na maioria dos casos, um só dado coletado na cena não é o suficiente para esta determinação e o investigador deve valer-se de todas as ferramentas disponíveis para elaborar sua hipótese de surgimento e propagação do fogo e confrontando-a com as diversas evidências encontradas na cena. (NFPA, 2017)

Ainda de acordo com o guia de investigação de incêndios da associação norte-americana, a determinação da origem de um incêndio exige a correlação de todas as informações obtidas através de uma ou mais das seguintes ações:

- a. Informações de testemunhas ou dados eletrônicos;

- b. Padrões de queima;
- c. *Arc Mapping* (Mapeamento de arcos elétricos); e
- d. Dinâmica do fogo.

A técnica conhecida em inglês como *arc mapping* foi estudada primariamente em 1970, tendo sido publicada apenas em 1983, a partir de quando diversos outros estudos vieram sendo desenvolvidos nos anos subseqüentes com a finalidade de aprofundar os conhecimentos a respeito da técnica (CAREY, 2009).

No ano de 2001 foi introduzida pela primeira vez no manual americano NFPA 921 – *Guide for Fire and Explosion Investigations*, sendo considerada uma das 4 principais ferramentas a serem utilizadas pelo investigador na determinação da zona de origem do incêndio, juntamente com a coleta de depoimentos, os padrões de queima e a dinâmica do fogo (LENTINI, 2013; NFPA, 2001). Desde então, o mapeamento de arcos elétricos vem sendo mantido no referido guia americano até a sua última versão, do ano de 2017, o que denota o grau de credibilidade no emprego desta técnica na rotina de investigação de incêndios.

Através de uma análise sistemática da configuração do circuito elétrico, da distribuição espacial dos componentes deste circuito na própria edificação e da identificação dos locais onde foram encontrados vestígios de arcos elétricos, os traços de fusão, o investigador terá maior embasamento para auxiliá-lo a identificar a zona de origem e analisar o sentido de propagação de um incêndio (NFPA, 2017). Esta é a definição de mapeamento de arco elétrico trazida pelo referido guia norte-americano.

O princípio básico adotado para a aplicação do mapeamento de arcos elétricos é o comportamento, de certa forma previsível, apresentado pelo circuito elétrico energizado quando submetido à ação de um incêndio. A partir desta premissa, é possível estabelecer um padrão relacionado a disposição espacial dos vestígios deixados pelos arcos elétricos com a estrutura da edificação e entre eles próprios, proporcionando ao investigador dados relevantes para estabelecer de maneira mais assertiva a origem do incêndio (CAREY, 2009; MUTHURAMAN; PALANI; RAJAKARUNAKARAN, 2014).

Carey e NicDaeid (2010) afirmam ainda que esses dados tornam-se mais essenciais ainda quando o incêndio alcança a ignição súbita generalizada, momento em que a maioria dos padrões de queima convencionais utilizados pelo investigador são consumidos pelas chamas e desaparecem da cena, tornando-se evidências falhas a serem utilizadas na comprovação de suas hipóteses.

Cumprе salientar que o mapeamento de arcos elétricos nada mais é do que a

identificação e o reconhecimento de padrões a fim de buscar a origem do incêndio, assim como ocorre em outras atividades rotineiramente desempenhadas pelo investigador. Dessa forma, conforme postula a NFPA (2017), o profissional responsável pela investigação não precisa possuir formação acadêmica em engenharia elétrica para empregar esta técnica em campo, bastando ser capaz de localizar e documentar os vestígios encontrados e relacioná-los com a dinâmica do incêndio de maneira adequada.

5.1 Localizando os vestígios na cena

Os traços de fusão indicando a ocorrência de arcos elétricos podem ser encontrados em condutores, condutos, superfícies aterradas ou superfícies com diferença de potencial. Independente do local inspecionado, a verificação deve ser extremamente meticulosa. Em alguns casos que se faz necessário remover o condutor de dentro do conduto, o investigador pode colocar o primeiro, mantendo a mesma orientação geográfica, ao lado do último e averiguar marcas que indiquem a ocorrência de arcos elétricos (NFPA, 2017).

Estudos apontam que os traços de fusão deixados por arcos elétricos podem ser da ordem de 1mm, tornando imperioso que a análise dos condutores seja minuciosa e sob adequada fonte de iluminação. Dessa forma, o investigador, utilizando uma luva adequada que mantenha a sensibilidade do toque (como as nitrílicas, de vinil ou de látex), deve tatear todo o comprimento do condutor com o auxílio de uma iluminação oblíqua, a qual será capaz de produzir um sombreamento necessário para identificar corretamente os vestígios deixados pelo fenômeno elétrico (CAREY, 2009; NFPA, 2017).

Algumas vezes, o traço encontrado não será prontamente identificável na cena como sendo vestígio de um arco elétrico, necessitando para tal uma análise posterior pormenorizada, de onde decorre a necessidade de um laboratório específico para auxiliar prontamente o investigador no deslinde dos exames. Equipamentos que utilizam estereoscopia trinocular, microscopia eletrônica de varredura, microscopia confocal de varredura a laser, espectroscopia eletrônica para análise química e espectroscopia Raman são os que mais vêm sendo aplicados nesta área de pesquisa relacionada à investigação de incêndios e vestígios elétricos (BABRAUSKAS, 2004; CAREY, 2009; ROBY; MACALLISTER, 2012).

Ainda de acordo com o guia da NFPA (2017), devido à rigidez relativamente reduzida do condutor de cobre, é necessário extremo cuidado no manuseio deste durante a análise. Em certas situações, será necessário retirar o condutor de um conduto qualquer, bem como realizar a remoção do seu isolamento e de outros detritos para deixar o condutor à amostra,

garantindo uma melhor visualização deste, ou seja, estas ações devem ser realizadas com a utilização de ferramentas leves a fim de manter a integridade do material encontrado e não danificá-lo.

5.2 Documentando os vestígios encontrados

O mapeamento de arcos elétricos como forma de determinação da origem do incêndio deve considerar a localização dos arcos identificados dentro da edificação, correlacionando-os com potenciais fontes de ignição e combustíveis presentes no momento do incêndio, e isto deve ser adequadamente anotado e diagramado.

O investigador, na fase de documentação do *arc mapping* deve buscar identificar e diagramar com clareza o circuito correspondente ao condutor em que ocorreu o arco elétrico, sendo uma informação fundamental para a análise correta (NFPA, 2017). Em alguns casos, entretanto, sabe-se que é possível que os circuitos sofram danos graves devido ao colapso da estrutura, o que torna difícil a identificação correta do respectivo circuito.

Tomar nota dos locais em que ocorreram arcos elétricos deve ser um processo extremamente meticuloso, em que o investigador deve registrar fotograficamente os traços de fusão encontrados através de uma perspectiva geral da edificação e de uma perspectiva mais localizada do evento, de preferência, identificando o local exato do circuito atingido com fitas coloridas. Além disso, todos vestígios possíveis devem ser fotografados, tais como um par de “condutores-irmãos” que sofreram o fenômeno simultaneamente ou os diferentes traços de fusão que um só condutor venha a apresentar (NFPA, 2017).

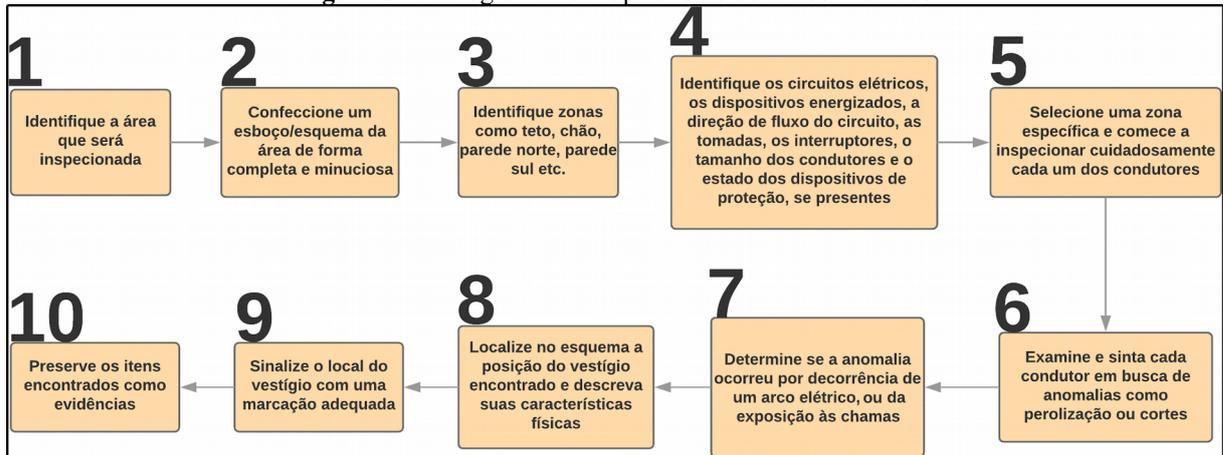
Deformações nos condutores não causadas por arcos elétricos também devem ser documentadas e fotografadas. O cobre derretido ao longo da fiação pode auxiliar o investigador a elucidar o comportamento do calor durante o incêndio no compartimento analisado (NFPA, 2017). Sendo assim, documentar também os locais de ocorrência de condutores derretidos não causados por arcos pode ajudar a entender o cenário do incêndio como um todo.

Por fim, o guia de investigação de incêndios da NFPA (2017) ressalta ainda que mesmo a falta de vestígios indicativos da ocorrência de arcos elétricos deve ser apontada e adequadamente documentada, a fim de indicar que aquele local foi examinado e concluir corretamente que ali não ocorreu o referido fenômeno elétrico.

Com base nas orientações contidas no guia norte-americano, este autor confeccionou o fluxograma abaixo para tornar melhor ilustrado os procedimentos a serem adotados em campo

para se proceder o mapeamento de arcos elétricos.

Figura 5 - Fluxograma do Mapeamento de Arcos Elétricos



Fonte: adaptado de NFPA (2017)

5.3 Analisando os dados levantados

O investigador, ao encontrar um traço de fusão em um condutor rompido, deve levar em consideração que a corrente não mais continuaria a fluir ao longo do circuito para condutores mais distantes da fonte de energia, visto que houve a descontinuidade do caminho pela ação do arco elétrico. Dessa forma, pode-se concluir que, em um mesmo circuito com vários traços de fusão em condutores descontinuados, os primeiros arcos elétricos surgiram em locais mais afastados da fonte de alimentação, no sentido carga-fonte (MUTHURAMAN; PALANI; RAJAKARUNAKARAN, 2014; NFPA, 2017). Através desta premissa, é possível analisar com maior precisão o sentido de propagação das chamas, conduzindo o investigador à zona de origem do incêndio. A figura abaixo ilustra o descrito neste parágrafo.

Figura 6 - Arcos elétricos causados pelo fogo em um circuito localizado

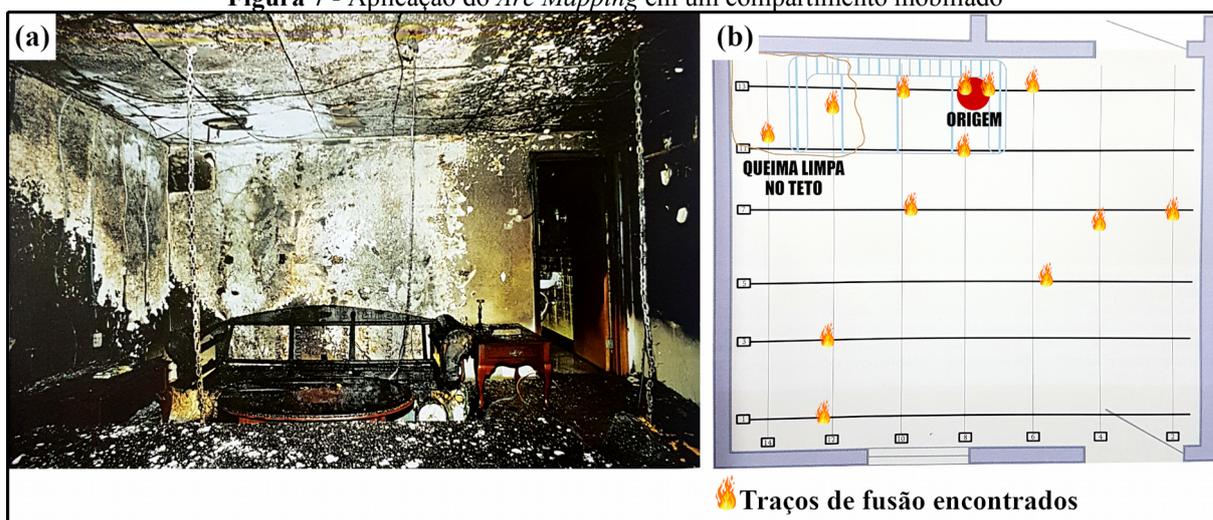


Fonte: adaptado de Muthuraman, Palani e Rajakarunakaran (2014)

A próxima figura exemplifica a aplicação do mapeamento de arcos elétricos em um compartimento completamente mobiliado, levando em conta mais de um circuito atingido.

Este incêndio simulado foi iniciado no lado direito do sofá. A figura 5A mostra uma visão frontal do compartimento incendiado, indicando uma área de queima limpa bem notável no teto do lado esquerdo do sofá, podendo levar o investigador a crer que ali foi a origem do incêndio. Entretanto, ao se localizar e diagramar todos os traços de fusão encontrados no circuitos elétricos e suas posições no cômodo, conforme figura 5B, nota-se que existe uma maior prevalência destes vestígios sobre a posição real de origem do incêndio.

Figura 7 - Aplicação do *Arc Mapping* em um compartimento mobiliado



Legenda: (a) Fotografia do local incendiado; (b) Diagrama do mapeamento de arcos Elétricos
Fonte: adaptado de Lentini (2013)

Ademais, testes em escala real realizados em cenários com apenas um compartimento indicaram que os arcos elétricos ocorrem predominantemente na zona de origem do incêndio, demonstrando um dos objetivos principais de aplicação da técnica. Todavia, estudos ainda estão sendo realizados para tentar mostrar matematicamente a existência de uma relação geométrica direta entre os locais de ocorrência dos arcos elétricos e o exato ponto de origem do incêndio (BUREAU OF ALCOHOL, TOBACCO, FIREARMS AND EXPLOSIONS - ATF, 2017; NFPA, 2017).

5.4 Considerações e limitações do emprego da técnica

Deve-se ter em mente que o mapeamento de arcos elétricos é apenas uma das diversas ferramentas que o investigador de incêndio tem disponível em seu rol de conhecimento, devendo ser utilizada em conjunto com a coleta de depoimentos, a análise de padrões de queima, o estudo do sentido de propagação das chamas, entre outras técnicas de investigação. Apenas desta forma, será possível determinar a zona de origem, a direção de propagação do

incêndio e o seu desenvolvimento em uma linha lógica, espacial e temporal (ATF, 2017). Sendo assim, a técnica não tem o objetivo primário a identificação de incêndios de origem elétrica, mas sim a interpretação dos vestígios deixados pela atividade elétrica.

Conforme apontado por Wheeler (2015), o mapeamento de arcos elétricos realmente se mostra uma ferramenta útil ao investigador na determinação da zona de origem. Entretanto, uma análise digna de confiança deve levar em consideração os seguintes fatores:

1. Identificar a disposição e a quantidade dos materiais combustíveis presentes na cena;
2. Reconhecer e compreender a influência do fluxo turbulento e de alta velocidade das aberturas de ventilação;
3. Diferenciar os diversos tipos de revestimentos de proteção sobre a fiação elétrica; e
4. Compreender o estágio de desenvolvimento atingido pelo incêndio.

Além disso, deve-se considerar que, em determinadas situações, o emprego do mapeamento de arcos elétricos torna-se extremamente dificultoso e por vezes até inviável, tais como quando ocorre a completa destruição dos circuitos elétricos internos, o derretimento dos condutores pela exposição demasiada ao incêndio, a religação da energia após o incêndio ou mesmo a incapacidade do investigador em reconhecer os danos causados pelos arcos elétricos nos condutores (LENTINI, 2013; NFPA, 2017).

Um estudo experimental realizado por Carey e NicDaeid (2010) investigou a confiabilidade da aplicação do mapeamento de arcos elétricos durante 22 incêndios experimentais em compartimentos completamente mobiliados. Através de um método matemático de diagramação dos eventos em relação a zona de origem, demonstrou-se que, em pelo menos 85% dos casos (nível de confiança de 95%), os vestígios encontrados apontavam para locais na origem do incêndio. Desta forma, depreende-se que nem sempre a técnica mostrar-se-á infalível, cabendo ao investigador utilizar as diversas outras ferramentas a sua disposição para analisar o conjunto das informações encontradas na cena e construir adequadamente sua hipótese de surgimento e propagação das chamas.

Outro fator a se considerar é o grau de proteção dos condutores no interior da edificação, visto que, muitas vezes, os condutores podem estar no interior de eletrodutos dentro das paredes e isto pode fazer com que os traços de fusão encontrados fora destes lugares não revelem o comportamento exato das chamas dentro do compartimento (Babrauskas, 2017). Pesquisas mostram que é necessário um fluxo de calor de no mínimo 24 kW/m² para deteriorar a isolação de um condutor e causar um arco elétrico através da superfície carbonizada, todavia, este fluxo é improvável de ocorrer em condutores protegidos

por paredes e forros na fase inicial do incêndio (LENTINI, 2013). Ainda são necessários mais pesquisas simulando estes cenários para a aplicação do *arc mapping*.

Por fim, deve-se levar em conta que o mapeamento de arcos elétricos deve ser realizado na totalidade do cômodo e/ou condutores atingidos, visto que as conclusões tiradas da aplicação da técnica são limitadas aos vestígios realmente encontrados, não sendo possível realizar afirmações a respeito de áreas não analisadas (NFPA, 2017). Ou seja, sempre que possível deve ser analisado todo o comprimento e toda a circunferência dos condutores envolvidos nos exames a fim de se tirar boas conclusões.

6 CONCLUSÃO

Pelo fato de que uma expressiva quantidade de incêndios ocorrerem ou estarem relacionados com o uso da energia elétrica, este estudo visou fomentar a pesquisa nesta área relacionada à investigação de incêndios, especificamente ao tratar do mapeamento de arcos elétricos, técnica prevista no guia norte-americano NFPA 921. Aponta-se, inclusive, que ela pode ser uma inestimável ferramenta quando o incêndio chega a atingir a fase de ignição generalizada, fazendo com que os outros padrões mais comuns de queima fossem consumidos pelas chamas.

Inicialmente, realizou-se uma breve abordagem a respeito dos incêndios de ordem elétrica e dos principais mecanismos causadores, dentre eles o arco elétrico. Em seguida, com o auxílio de literaturas das áreas de engenharia elétrica e de investigação de incêndios, o arco elétrico foi definido, bem como foram descritos os tipos de maior ocorrência em circuitos de baixa tensão, comumente encontrados em residências, e os vestígios (traços de fusão) deixados por estes fenômenos em um cenário sinistrado.

Isto posto, foi descrito de que maneira é realizado o mapeamento de arcos elétricos, identificando as principais premissas que devem ser levadas em conta, os procedimentos de localização, documentação e interpretação dos dados levantados pelo investigador, levando-o à determinação mais precisa da zona de origem do incêndio. Identificou-se que esta ferramenta tem por finalidade analisar sistematicamente a configuração espacial do circuito elétrico e seus componentes, bem como os locais de ocorrência de arcos elétricos, auxiliando na identificação da zona de origem e no entendimento do caminho e sentido de propagação das chamas. Assim, convém apontar que a técnica não vislumbra prioritariamente a identificação de incêndios de causa elétrica ou não elétrica.

Além disso, alguns importantes apontamentos foram feitos em relação a certas

limitações do emprego da técnica, os quais o investigador deve considerar a fim de não incorrer em conclusões hipotéticas errôneas no fechamento dos exames.

Por fim, conclui-se que, por ser uma técnica que envolve basicamente o reconhecimento de padrões e não necessitar a habilitação técnica em engenharia elétrica, ela pode ser certamente incluída no rol de ferramentas utilizadas pelos investigadores do CBMSC durante a rotina de investigação de incêndios e explosões, tornando mais robusto os trabalhos desenvolvidos pela Corporação. Todavia, nota-se a necessidade de a instituição possuir um laboratório específico para o desenvolvimento de pesquisas futuras relacionadas aos fenômenos elétricos, incrementando os estudos tanto do mapeamento de arcos elétricos quanto de diversos outros fatores relacionados à eletricidade em um incêndio.

REFERÊNCIAS

BABRAUSKAS, Vytenis. Arc Mapping: new science, or new myth? **Fire and Materials 2017, 15th International Conference**. San Francisco, 2017. Disponível em: <<https://www.nafi.org/blog/arc-mapping-new-science-or-new-myth/>>. Acesso em 25 fev. 2019.

BABRAUSKAS, Vytenis. Arc beads from Fires: Can: Can ‘Cause’ Beads Be Distinguished from ‘Victim’ Beads by Physical or Chemical Testing? **Journal of Fire Protection Engineering**, v. 14, pp. 125-147, 2004.

BABRAUSKAS, Vytenis. Research on electrical fires: the state of the art. **Fire Safety Science – Proceedings of the 9th International Symposium**, pp. 3-18. Issaquah, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/250275720_Research_on_Electrical_Fires_The_State_of_the_Art>. Acesso em: 10 fev. 2019.

BENFER, Matthew. GOTTUK, Daniel. Distinguishing between arcing and melting damage in electrical receptacles. **International Symposium on Fire Investigation Science and Technology**, 2014. Disponível em: <https://www.jensenhughes.com/wp-content/uploads/2014/10/Publication-Distinguishing-Between-Arcing-Melting-Damage-in-Electrical-Recept_Benfer-Gottuk-20141.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019.

BERVIAN, Pedro A. CERVO, Amado L. SILVA, Roberto da. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

BUREAU OF ALCOHOL, TOBACCO, FIREARMS AND EXPLOSIONS – ATF. Arc Mapping as a tool for fire investigations. **ATF Fire Research Laboratory Technical Bulletin**, mar. 2017. Disponível em: <<https://www.nafi.org/blog/arc-mapping-as-a-tool-for-fire-investigations/>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

CAMPOS, Mateus P. **Estudo da energia incidente do arco elétrico em quadros/painéis elétricos**. 2016. 90f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica – CEFET/MG, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <http://www2.dee.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/18/2017/11/TCC_2016_1_MPCampos.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

CAREY, Nicholas J. **Developing a reliable systematic analysis for arc fault mapping**. 2009. 606 f. Doctor of Philosophy Degree Thesis – University of Strathclyde, Glasgow, 2009. Disponível em: <http://oleg.lib.strath.ac.uk/R/?func=dbin-jump-full&object_id=12754>. Acesso em: 19 fev. 2019.

CAREY, Nicholas John. NICDAEID, Niamh. Arc Mapping Research. **Fire and Arson Investigator Journal**, 2010. Disponível em: <https://strathprints.strath.ac.uk/27868/1/Arc_Mapping_research.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Guia para investigação de incêndios e explosões**. Brasília (DF), 2010.

DE LIMA, E. F. FOSCHINI, M. MAGINI, M. O Efeito Termoiônico: Uma Nova Proposta Experimental. **Rev. Bras. Ensino Fís.** São Paulo, v. 23, n. 4, pp. 391-394, dez. 2001.

DEHAAN, John D. ICOVE, David J. **Kirk's fire investigation**. 7 ed. New Jersey: Pearson, 2012.

FOLORUNSO, Oladipo. OGUJOR, Emmanuel A. AKPOJEDJE, France O. Electrical arcing and thermal circuit breakers: a review. **Journal of Engineering Research and Development**, v. 1, n. 2, pp. 149-155, 2018. Disponível em: <https://www.academia.edu/37232142/Electrical_Arcing_and_Thermal_Circuit_Breakers_A_Review>. Acesso em: 15 fev. 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do Trabalho Científico**: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

LENTINI, John J. **Scientific Protocols for Fire Investigation**. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2013.

MARDEGAN, Cláudio S. PARISE, Giuseppe. O arco elétrico. **O Setor Elétrico**, v. 144, p. 30-35, 2018. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/capitulo-ii-o-arco-eletrico/>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

MOTELIEVICZ, Maicon E. **Curto-circuito como fenômeno termoelétrico relacionado a causas de incêndios em edificações**: mitos e verdades. 2015. Artigo científico produzido em cumprimento parcial às exigências do Curso de Perícia em Incêndio e Explosão, do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, ocorrido em Florianópolis, no ano de 2015.

MUTHURAMAN, N. PALANI, P. RAJAKARUNAKARAN, S. Arc mapping: an effective tool to determine fire area of origin in fire investigation. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, v. 3, n. 11, 2014.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION et al. **NFPA 921**: Guide for Fire and Explosion Investigations. Quincy, Massachusetts: NFPA, 2017.

ROBY, Richard J.; MCALLISTER, Jamie. **Forensic Investigation Techniques for Inspecting Electrical Conductors Involved in Fire**. Final Technical Report for Award No. 2010-DN-BX-K246. Columbia: U.S. Department of Justice, 2012. Disponível em: <<https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/239052.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

WU, Alan Nuo-Bei. **Investigation of electric arcs in 42 volt automotive systems**. 2001. 119 f. Master Degree Dissertation – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2001. Disponível em: <<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/86748>>. Acesso em: 12 fev. 2019

WHEELER, David M. Arc mapping: things to consider. **Fire & Arson Investigator**, v. 1, n. 1, p. 18-24, jul. 2015. Disponível em: <https://www.nefco.net/wp-content/uploads/2016/02/NEFCO_ArcMappingArticle_LR.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2019.