

ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DOS ARCOS ELÉTRICOS EM TRILHAS CARBONIZADAS: IMPACTOS DA DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO PVC NA PERÍCIA EM INCÊNDIOS

Andressa Ribeiro Pompas¹

<https://orcid.org/0009-0002-3497-0964>

Bruno de César Toledo Camilo²

<https://orcid.org/0009-0003-3280-4265>

RESUMO

O presente estudo investiga os aspectos físico-químicos dos arcos elétricos formados em trilhas carbonizadas decorrentes da degradação térmica do policloreto de vinila (PVC), material amplamente utilizado como isolante em instalações elétricas de baixa tensão. A pesquisa tem como foco a aplicabilidade desses conhecimentos à atividade pericial em incêndios. Foram analisados os mecanismos de formação das trilhas carbonizadas, os processos de degradação térmica do PVC, os subprodutos gerados durante a pirólise e o potencial de ignição associado à geração de arcos elétricos. A metodologia adotada é de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e caráter exploratório, fundamentada em revisão bibliográfica técnico-científica. Os resultados evidenciam que a perda da capacidade isolante do PVC, causada pela exposição a temperaturas relativamente baixas, pode favorecer a formação de arcos elétricos em trilhas carbonizadas com temperatura suficiente para inflamar materiais combustíveis próximos. Conclui-se que o domínio desses fenômenos é essencial para a formulação de hipóteses consistentes quanto à causa do sinistro e para o aprimoramento técnico da perícia em incêndios de origem elétrica.

Palavras-chave: Arcos Elétricos; PVC; Trilhas Carbonizadas; Degradação térmica; Perícia em Incêndios.

Artigo Recebido em 26/05/2024

Aceito em 28/06/2025

Publicado em 02/07/2025

¹ Cadete do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade de Brasília (2016), Curso de Pós Graduação Lato Sensu em Gestão de Investigação de Incêndio e Explosão pelo CBMSC (2025). Atualmente é aluna do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. E-mail: andressapompas.cbmsc@gmail.com.

² Capitão do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC). Perito em Incêndio e Explosão (2019). Graduado e Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo (2014 e 2016). Atualmente é Ajudante de Ordens do Subcomandante-Geral do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. E-mail: bruno.de.cesar.tc@gmail.com.

PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS OF ELECTRIC ARCS ON CARBONIZED TRACKS: IMPACTS OF PVC THERMAL DEGRADATION IN FIRE INVESTIGATION

ABSTRACT

This study investigates the physical and chemical aspects of electric arcs on carbonized tracks resulting from the thermal degradation of polyvinyl chloride (PVC), a material widely used as insulation in low-voltage electrical installations. The research focuses on the applicability of this knowledge to fire investigation. The mechanisms behind the formation of carbonized paths, the thermal degradation processes of PVC, the by-products generated during pyrolysis, and the ignition potential associated with the generation of electric arcs were analyzed. The adopted methodology is applied, with a qualitative and exploratory approach, based on a technical-scientific literature review. The results show that the loss of PVC's insulating capacity, caused by exposure to relatively low temperatures, can favor the formation of electric arcs on carbonized tracks with temperatures high enough to ignite nearby combustible materials. It is concluded that mastering these phenomena is essential for formulating consistent hypotheses regarding the cause of the fire and for enhancing the technical quality of forensic investigations in fires of electrical origin.

Keywords: Electrical Arc; PVC; Carbonized Path; Thermal Degradation; Fire Investigation.

ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE LOS ARCOS ELÉCTRICOS EN PISTAS CARBONIZADAS: IMPACTOS DE LA DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL PVC EN LA INVESTIGACIÓN DE INCENDIOS

RESUMEN

Este estudio investiga los aspectos físicos y químicos de los arcos eléctricos en trayectorias carbonizadas resultantes de la degradación térmica del policloruro de vinilo (PVC), un material ampliamente utilizado como aislante en instalaciones eléctricas de baja tensión. La investigación se centra en la aplicabilidad de estos conocimientos a la investigación de incendios. Se analizaron los mecanismos de formación de las trayectorias carbonizadas, los procesos de degradación térmica del PVC, los subproductos generados durante la pirólisis y el potencial de ignición asociado a la generación de arcos eléctricos. La metodología adoptada es de naturaleza aplicada, con un enfoque cualitativo y exploratorio, basado en una revisión de literatura técnico-científica. Los resultados muestran que la pérdida de la capacidad aislante del PVC, causada por la exposición a temperaturas relativamente bajas, puede favorecer la formación de arcos eléctricos en trayectorias carbonizadas, con temperaturas lo suficientemente altas como para inflamar materiales combustibles cercanos. Se concluye que el dominio de estos fenómenos es esencial para formular hipótesis coherentes sobre la causa del siniestro y para mejorar la calidad técnica de las investigaciones forenses en incendios de origen eléctrico.

Palabras clave: arcos eléctricos; PVC; pistas carbonizadas; degradación térmica; investigación de incendios

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é indispensável às atividades humanas modernas e está presente em praticamente todos os ambientes construídos. Entretanto, sua presença também representa riscos potenciais, especialmente quando associada à geração de calor resultante do fluxo de corrente elétrica. Em condições normais de operação, instalações e equipamentos elétricos são projetados para evitar que esse calor provoque danos ou incêndios. No entanto, falhas elétricas podem resultar na liberação excessiva de energia térmica, desencadeando eventos capazes de culminar em ignições. Segundo Rocha (2024, p. 42), "a ignição de materiais devido a fontes elétricas ocorre quando há geração suficiente de calor e elevação de temperatura capazes de desencadear a combustão no "local inicial do incêndio".

Entre os fenômenos elétricos associados à ignição de materiais destaca-se o arco elétrico em trilhas carbonizadas, que ocorre frequentemente sobre materiais isolantes, como o policloreto de vinila (PVC). Essas trilhas se formam por carbonização progressiva do material isolante, tornando-se condutoras. Mesmo quando ocorrem em baixos níveis de potência, os arcos elétricos são capazes de inflamar materiais combustíveis próximos, especialmente em situações de exposição prolongada (Rocha, 2024).

O PVC é amplamente utilizado em sistemas de baixa tensão – entre 120 e 240 V (Babrauskas, 2006) – como material isolante em fios, cabos e conexões. Sua susceptibilidade à carbonização, especialmente a partir de 160 °C em exposições de curto prazo, torna-o relevante na análise de falhas elétricas com potencial para causar incêndios (Babrauskas, 2006).

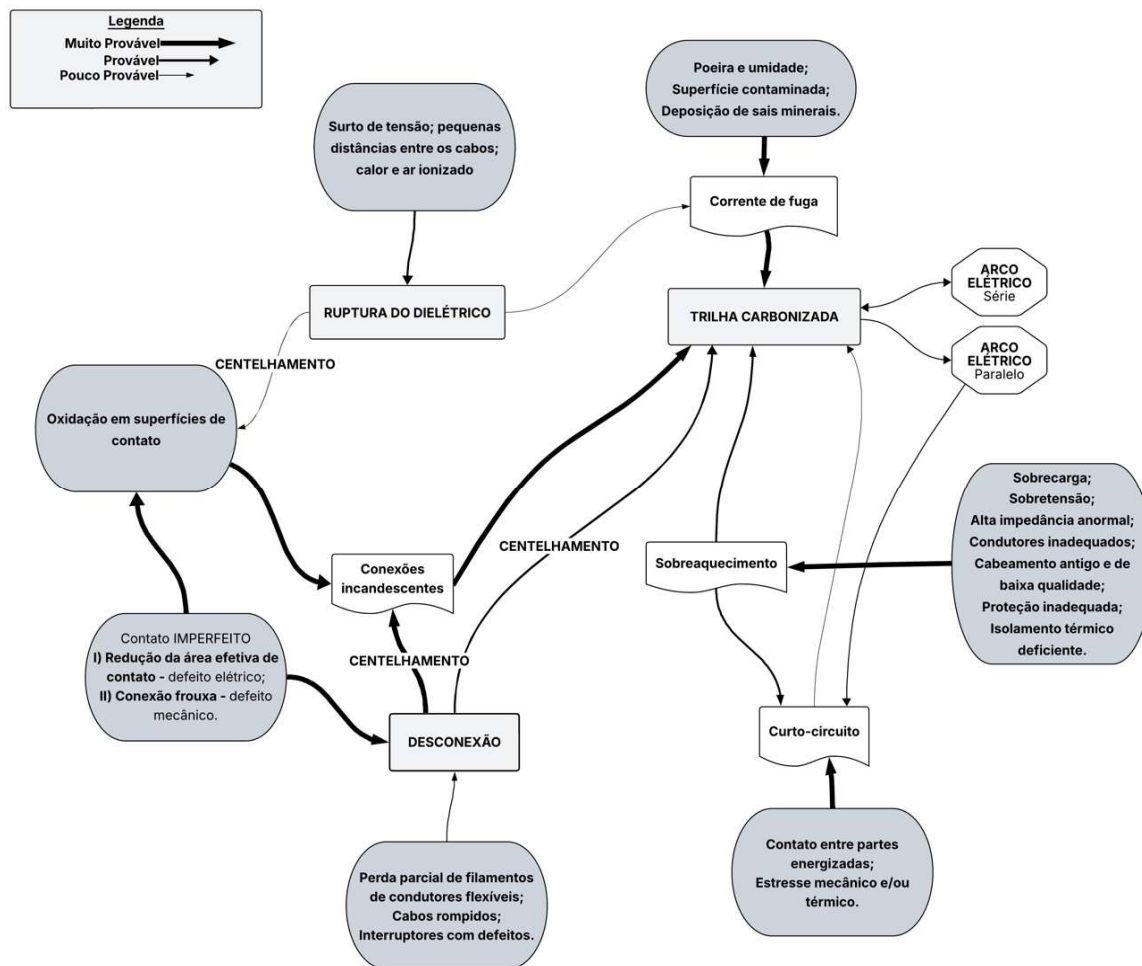
A investigação dos incêndios de origem elétrica demanda a compreensão integrada dos mecanismos que levam à ignição, uma vez que esses eventos raramente ocorrem de forma isolada. Em geral, há uma sequência encadeada de falhas – como contatos imperfeitos, degradação térmica de isolantes e formação de trilhas condutivas – que evolui até a ocorrência de arcos elétricos capazes de iniciar a combustão. Nesse contexto, a Figura 1, apresenta uma síntese gráfica dos principais eventos envolvidos, evidenciando as relações causais entre falhas mecânicas, físico-químicas e elétricas.

A imagem destaca, por exemplo, como a oxidação nas superfícies de contato pode levar a conexões incandescentes, intensificando o sobreaquecimento local e promovendo a geração de centelhas e arcos elétricos.

Também são representados os mecanismos de formação de trilhas carbonizadas, que, ao se tornarem condutivas, favorecem o surgimento de arcos em paralelo, potencialmente culminando em curto-circuitos ou na ignição de materiais combustíveis.

A estrutura do fluxograma coaduna-se com a abordagem proposta por Camilo e Moraes (2019), ao tratar os fenômenos elétricos não como ocorrências isoladas, mas como um processo dinâmico e interdependente de falhas e degradações sucessivas. A inserção deste diagrama ao longo da introdução reforça a necessidade de se compreender os aspectos físico-químicos envolvidos na formação de arcos sobre trilhas carbonizadas, especialmente quando derivados da degradação térmica do PVC, contribuindo assim para o embasamento técnico das investigações periciais de incêndios.

Figura 1 - Correlação entre os fenômenos elétricos



Fonte: Adaptado de Martel (2018).

A compreensão dos aspectos físico-químicos relacionados à formação de arcos em trilhas carbonizadas é fundamental para a perícia em incêndios, contribuindo para a identificação técnica das causas de sinistros de origem elétrica. Além disso, o domínio desse conhecimento fortalece a atuação dos peritos no desenvolvimento de laudos, especialmente ao avaliar a degradação de materiais isolantes e falhas em instalações.

Diante disso, este artigo tem como objetivo investigar os aspectos físico-químicos dos arcos elétricos em trilhas carbonizadas derivadas da degradação

térmica do PVC, destacando sua aplicabilidade à atividade pericial. Especificamente, busca-se: compreender a formação das trilhas carbonizadas; analisar o impacto da degradação térmica do PVC em sua capacidade isolante; identificar os subprodutos formados e sua influência na condutividade elétrica; e descrever os aspectos físicos e químicos dos arcos gerados nesse contexto.

A pesquisa é de natureza aplicada, com abordagem exploratória e qualitativa, baseada em documentação indireta. O processo de coleta de dados foi realizado por meio de fichamentos analíticos, com seleção, categorização e análise crítica de conteúdos relacionados a “degradação térmica do PVC”, “arc tracking”, “carbon track”, “arcing across a carbonized path” e “carbonized path”, resultando nas seguintes fontes de maior relevância: DeHaan e Icove (2012), que abordam investigação de incêndios e falhas elétricas; Babrauskas (2003; 2006), que detalham os mecanismos de ignição e degradação térmica de materiais isolantes; e Rocha (2024), com foco em riscos de incêndio associados a instalações elétricas.

As etapas metodológicas envolveram: (1) seleção das obras; (2) leitura exploratória; (3) organização temática dos dados; (4) análise crítica; e (5) redação do referencial.

2. MATERIAIS ISOLANTES

Os materiais isolantes elétricos, em sua maioria, são compostos por polímeros orgânicos que contêm átomos de carbono. Quando expostos a temperaturas elevadas, esses compostos sofrem degradação térmica, levando à formação de estruturas carbonáceas com comportamento semicondutor, o que compromete sua função isolante (DeHaan; Icove, 2012).

Em condições normais, os cabos elétricos não representam risco de ignição. No entanto, falhas operacionais ou sobrecargas podem elevar a temperatura do condutor a níveis capazes de degradar o isolamento. Segundo Rocha (2024), muitos incêndios em edificações residenciais estão associados à

ignição da camada isolante dos cabos elétricos, iniciada pelo superaquecimento do condutor metálico.

Estudos relatados por Babrauskas (2004, p. 295-296 apud Rocha, 2024, p. 54) demonstram que conexões frouxas em terminais elétricos, com dissipações de potência variando entre 4 e 29 W, podem gerar aquecimentos localizados suficientes para iniciar o processo de pirólise do material isolante, mesmo com potências relativamente baixas. Durante os experimentos conduzidos pela empresa canadense Ontario Hydro, descritos no material de Babrauskas (2004, p. 295-296 apud Rocha, 2024, p. 54), a utilização de materiais combustíveis como papel jornal e cobertores de lã próximos às conexões permitiu verificar o risco potencial de ignição.

A maioria dos isolamentos de fios elétricos modernos utiliza PVC plastificado, composto por resina de PVC, plastificantes e aditivos diversos. Quando submetido a temperaturas elevadas, esse material passa por um processo de degradação térmica que resulta na liberação de compostos gasosos e na formação de resíduos carbonizados, além de trilhas carbonizadas que favorecem a formação de arcos elétricos (Rocha, 2024).

A carbonização do isolante ocorre quando a pirólise se estende sobre uma área do material, reduzindo sua capacidade isolante. Esse processo pode ser gradual e imperceptível, e, ao comprometer as propriedades dielétricas do isolamento, possibilita o surgimento de correntes de fuga. Mesmo fora de operação, equipamentos com isolamento degradado podem manter trilhas semicondutivas caso o circuito esteja energizado (DeHaan; Icove, 2012).

3 TRILHAS CARBONIZADAS E ARCOS ELÉTRICOS

Trilhas carbonizadas são caminhos semicondutores formados na superfície de materiais isolantes devido à degradação térmica, que pode ser causada por diversos mecanismos, conforme descrito na Figura 1.

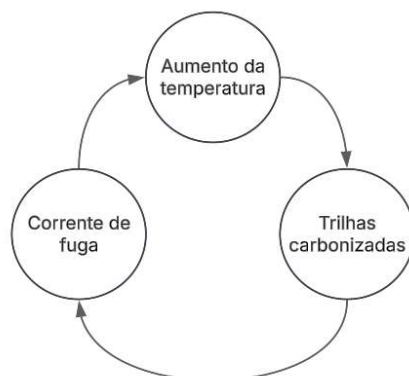
Segundo Babrauskas (2003), quando esse fenômeno ocorre pela ação da corrente elétrica em condições específicas, recebe o nome de “arc tracking”, o qual ocorre com maior frequência na presença de umidade e contaminantes, uma vez que estes aumentam a condutividade da superfície. A água pura tem baixa condutividade, mas ao se misturar com contaminantes iônicos, torna-se capaz de permitir fluxo de corrente elétrica entre condutores expostos.

Esse fluxo provoca a secagem irregular da umidade, criando áreas intercaladas de condução e isolamento. As primeiras manifestações visíveis são as descargas do tipo corona, em tons arroxeados, seguidas por cintilações avermelhadas, que indicam a presença de descargas localizadas. Como parte da corrente circula por um eletrólito de alta resistência, essas cintilações geram correntes de baixa intensidade, geralmente abaixo de 100 mA, insuficientes para acionar dispositivos de proteção contra sobrecorrente. No entanto, mesmo com correntes tão baixas, as temperaturas podem atingir valores superiores a 1000 °C, promovendo a degradação térmica do polímero e intensificando a carbonização (Babrauskas, 2003).

Os arcos elétricos são descargas luminosas de alta temperatura, superiores a 5.000 °C, que ocorrem quando há passagem de corrente elétrica através de um meio ionizado, como o ar ou uma trilha carbonizada (NFPA, 2022). No contexto das trilhas formadas pela degradação térmica do isolamento, o arco se estabelece ao longo de um caminho semicondutor, frequentemente formado em materiais carbonizados como o PVC.

O ciclo se retroalimenta: quanto maior a carbonização, maior a condutividade da trilha, o que intensifica a passagem de corrente, gerando mais calor e formando mais trilhas de baixa resistividade elétrica, conforme representado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema da formação de trilhas carbonizadas



Fonte: Adaptado de Rocha (2023).

Em certos casos, essas trilhas adquirem forma ramificada, fenômeno conhecido como “treeing”. Embora semelhantes, o “dielectric treeing” refere-se à formação de microfissuras sob campos elétricos intensos, sem necessariamente envolver carbonização (Babrauskas, 2003). Diversas teorias buscam explicar os mecanismos envolvidos nesse fenômeno, porém cabe ressaltar que tal tema não é o objetivo deste trabalho.

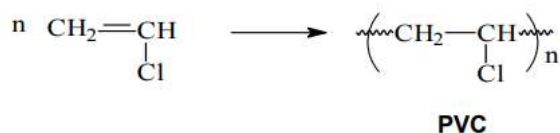
Conforme Rocha (2023), as trilhas podem se formar por rastreamento seco ou rastreamento úmido. O rastreamento seco ocorre quando o isolante atinge temperaturas elevadas, iniciando sua carbonização. Estudos conduzidos no Japão por Hagimoto (1996, p. 1-55 apud Rocha, 2023, p. 71) indicam que o PVC pode começar a carbonizar a aproximadamente 160°C, temperatura relativamente baixa que, além de degradar o isolamento, pode ser suficiente para provocar a ignição do material. O trilhamento seco é mais comum em instalações de média e alta tensão, sendo raro em sistemas residenciais (Rocha, 2024). Segundo Babrauskas (2006, p. 151-174 apud Rocha, 2023, p. 71), o rastreamento úmido é favorecido em ambientes com alta umidade e a presença de um filme de água entre condutores expostos, que viabiliza a formação da trilha condutiva.

Conforme descrito por Rocha (2024), uma ligação elétrica deve, idealmente, operar na mesma temperatura dos condutores aos quais está conectada. No entanto, conexões inadequadas podem resultar em sobreaquecimento localizado, representando um risco significativo. Conforme relatado por Babrauskas (2006, p. 151-174 apud Rocha, 2023, p. 51), estudo realizado por Sletback demonstrou que uma ligação elétrica aquecida a temperaturas entre 200°C e 350°C pode ser suficiente para inflamar um material combustível situado a uma distância de 10 mm. Com o aumento da temperatura, a ignição pode ocorrer em materiais localizados a distâncias ainda maiores (Rocha, 2024).

4. DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO PVC

O policloreto de vinila (PVC) é um dos termoplásticos mais utilizados no mundo, com ampla aplicação na indústria elétrica devido à sua versatilidade, estabilidade mecânica e propriedades isolantes. Sua produção ocorre a partir da polimerização do monômero cloreto de vinila, derivado da reação entre etileno (proveniente do petróleo) e cloro (obtido do NaCl), conforme representado na Figura 3. A estrutura polimérica do PVC é saturada, ou seja, composta por ligações simples, e formada por átomos de cloro ligados ao carbono da cadeia, o que dificulta a movimentação de elétrons livres, resultando em baixa condutividade elétrica e boa resistência dielétrica (Rodolfo Jr.; Mei, 2017).

Figura 3 - Representação esquemática simplificada da formação do PVC



Fonte: Adaptado de Santos Ali (2007).

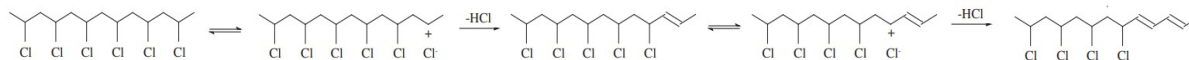
Essas características fazem do PVC um excelente isolante elétrico. Entretanto, trata-se de um material termoplástico, ou seja, sensível ao calor, com tendência à deformação ou fusão em temperaturas relativamente baixas, geralmente acima de 70 °C, podendo comprometer suas propriedades isolantes em condições adversas de operação (Rocha, 2024).

Segundo Rocha (2023), a degradação térmica do PVC, ou pirólise, é um processo no qual o aquecimento progressivo do material leva à decomposição de suas cadeias poliméricas. Durante a pirólise, as cadeias moleculares do PVC sofrem clivagem, resultando na liberação de ácido clorídrico (HCl) e na formação de uma matriz carbonácea reticulada. Embora em sistemas de baixa tensão (até 380 V) a geração de arco elétrico por ruptura do dielétrico seja improvável em condições normais, a carbonização do PVC transforma este isolante em um semicondutor sensível à temperatura, viabilizando a ocorrência de descargas elétricas superficiais, mesmo em tensões da ordem de 24 Volts (Babrauskas, 2003; Rocha, 2024).

Esse processo ocorre em duas etapas principais, conforme Wu et al. (1994, p. 644-650 apud Babrauskas, 2006, p. 152):

- **Primeira etapa – Desidrocloração:** início da liberação progressiva de ácido clorídrico (HCl), resultando em um resíduo poli-insaturado semelhante ao poliacetileno, conforme a representação na Figura 4. Segundo diversos estudos de diferentes autores, Babrauskas (2006) apresenta que cabos elétricos com isolamento de PVC podem começar a liberar HCl entre 105 °C e 143 °C, porém cabos já envelhecidos podem apresentar início de degradação a partir de 60 °C.

Figura 4 - Esquema representativo simplificado do processo inicial de degradação térmica do PVC, evidenciando a etapa de desidrocloração



Fonte: Adaptado de Rodolfo e Mei (2017).

● **Segunda etapa – Formação de resíduos carbonizados:** ocorre entre 350 °C e 500 °C, segundo Wu et al. (1994, p. 644-650 apud Babrauskas, 2006, p. 153), com reações como aromatização, desidrocilização, cisão de cadeias e formação de macroradicaís, resultando em um resíduo carbonizado reticulado. Esse resíduo apresenta características semicondutivas, favorecendo o surgimento de trilhas condutivas e arcos elétricos (Babrauskas, 2006).

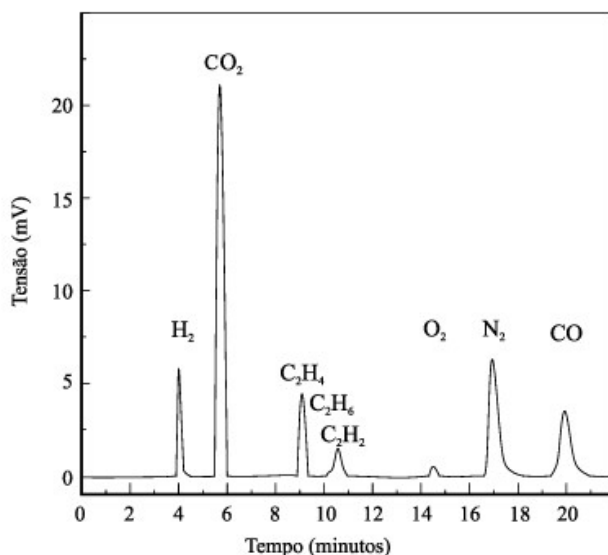
A desidrocloração é um processo autocatalítico, ou seja, a presença de HCl acelera sua própria liberação, comprometendo ainda mais o desempenho isolante. Por isso, formulações comerciais utilizam carbonato de cálcio (CaCO₃) ou estabilizantes como estearato de chumbo para neutralizar o HCl (Babrauskas, 2006).

A presença de elétrons (pi) em duplas ligações da cadeia polimérica permite que esses elétrons sejam removidos ou adicionados por agentes de transferência de carga, como doadores ou aceptores de elétrons, promovendo processos de oxidação ou redução, que conferem condutividade elétrica ao material, tornando-o semicondutor ou condutor (Faez *et al.*, 2000).

O comportamento do PVC diante da chama varia com a sua temperatura. Em temperatura ambiente, tende a carbonizar e extinguir-se espontaneamente; no entanto, quando já aquecido, especialmente acima de 180 °C, perde sua capacidade de autoextinção e queima com facilidade. Nessa condição, além do HCl, diversos outros compostos gasosos inflamáveis são liberados. Em estudo citado por Rocha (2024), Shea J. (2011, p. 19 apud Rocha, 2023, p. 56) utilizou cromatografia gasosa para identificar gases

liberados durante a pirólise do PVC, incluindo acetileno (C_2H_2) e etileno (C_2H_4) — ambos altamente inflamáveis, conforme representado na Figura 5.

Figura 5 - Análise da emissão gasosa resultante da pirólise térmica do material isolante de um cabo elétrico



Fonte:Shea J. (2011, p. 19 apud Rocha, 2023, p. 56).

A presença desses vapores em ambientes com oxigênio e fontes de ignição aumenta consideravelmente o risco de combustão. Portanto, a análise da composição dos gases liberados durante a queima do PVC é fundamental para a compreensão dos processos de ignição associados a falhas elétricas.

Tanto a UL quanto a IEC classificam os materiais de isolamento elétrico em classes de temperatura com base em estudos antigos sobre degradação de isolantes, como o de Dakin (1948, p. 113-122 apud Babrauskas, 2006, p. 154), sendo o PVC classificado para suportar temperaturas de até 105 °C. No entanto, Stricker (1974, apud Babrauskas, 2006, p. 154) observou que, embora a vida útil dos cabos de PVC não tenha sido formalmente estabelecida, é razoável estimá-la entre 20 e 50 anos. Em seus ensaios de envelhecimento acelerado, Stricker avaliou cabos isolados com PVC classificados para 90 °C e 105 °C, incluindo cabos de aquecimento, alguns com revestimento de PVC ou

nylon. Todos os materiais testados apresentaram perda significativa de plastificante após exposição entre 71 °C e 77 °C durante aproximadamente um mês. Com base nesses resultados, Stricker considerou a perda de plastificante como indicativo do fim da vida útil dos cabos, mesmo sem a realização de testes elétricos ou químicos complementares, concluindo que nenhum dos cabos deveria ser operado continuamente acima de 71 °C.

O PVC, como material termoplástico, é suscetível à deformação quando exposto a temperaturas superiores a 70 °C. A fusão da camada isolante favorece a ocorrência de correntes de fuga e curtos-circuitos, comprometendo a segurança elétrica. Para mitigar esse risco, materiais termofixos, como o polietileno reticulado (XLPE) e a borracha de etileno-propileno (EPR), vêm sendo empregados por apresentarem maior resistência térmica, suportando temperaturas de até 90 °C em regime contínuo (Li et al., 2021, p. 1-5 apud Rocha, 2023, p. 64).

Estudos laboratoriais demonstram que trilhas carbonizadas podem formar-se sob condições de baixa tensão e umidade relativa elevada, principalmente quando há impurezas ou contaminantes iônicos no ambiente. A partir dessas trilhas, os arcos gerados são capazes de inflamar materiais combustíveis próximos, desde que a temperatura atinja níveis compatíveis com os respectivos pontos de ignição – no caso do PVC, entre 318 °C e 374 °C (Rocha, 2024).

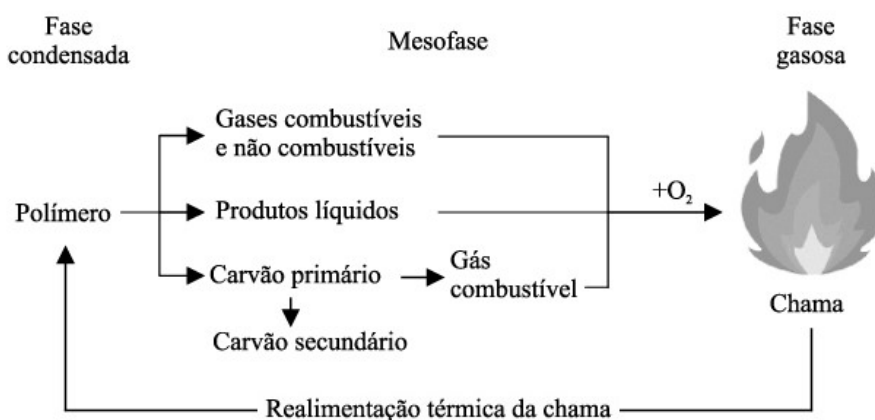
Além da degradação térmica, o PVC também pode ser afetado pela hidrólise, um processo químico no qual a reação com a água promove a quebra de ligações moleculares, alterando sua estrutura. A hidrólise é favorecida por calor, luz e agentes químicos, e pode causar perda de propriedades dielétricas, correntes de fuga, curto-circuitos e até falhas completas do sistema isolante (Rocha, 2024).

4.1. ETAPAS DA COMBUSTÃO DOS POLÍMEROS

De acordo com Lyon e Janssens (2005 apud Rocha, 2024, p. 57), a combustão dos polímeros ocorre em três fases distintas, conforme esquematizada na Figura 6:

- **Condensada:** o calor incidente começa a decompor o material sólido, liberando vapores inflamáveis, carvão e água.
- **Mesofase:** corresponde à transição entre os estados sólido e gasoso, momento em que os vapores gerados na pirólise iniciam a mistura com o oxigênio do ambiente.
- **Gasosa:** os vapores inflamáveis se combinam totalmente com o oxigênio e, ao entrarem em contato com uma fonte de ignição, resultam na combustão com chamas visíveis.

Figura 6 - Processo de combustão do isolamento



Fonte: Lyon e Janssens (2005 apud Rocha, 2024, p. 57).

A intensidade da queima depende da taxa de geração de vapores inflamáveis e do calor de combustão dos produtos voláteis. Embora parte da energia térmica seja dissipada no ambiente, uma fração é irradiada ou conduzida de volta à superfície do polímero. Se essa energia for suficiente para

manter a pirólise, a combustão torna-se autossustentada, mesmo após a remoção da fonte de ignição (Lyon; Janssens, 2005 *apud* Rocha, 2024, p. 57).

5. CONCLUSÃO

A investigação sobre os arcos elétricos formados em trilhas carbonizadas decorrentes da degradação térmica do PVC evidenciou a complexidade dos mecanismos físico-químicos envolvidos na perda da isolamento e na geração de descargas com potencial de ignição. O estudo demonstrou que o PVC, amplamente utilizado em instalações de baixa tensão, torna-se suscetível à primeira etapa da carbonização, chamada de desicloração, a partir de 60 °C, em cabos antigos.

A degradação térmica do PVC, intensificada por fatores como sobrecorrente, calor, umidade e volatilização de plastificantes, compromete sua integridade elétrica e estrutural. A desidrocloração libera ácido clorídrico, promovendo reações autocatalíticas que resultam em resíduos carbonizados, os quais reduzem a resistividade da superfície isolante e favorecem a formação de arcos elétricos. Favorecendo a formação de trilhas carbonizadas que possuem ligações duplas alternadas que favorecem a condução de corrente elétrica. Mesmo com baixa intensidade de corrente, os arcos podem alcançar temperaturas elevadas e causar a ignição de materiais combustíveis próximos.

Do ponto de vista pericial, a compreensão técnica dos fenômenos que envolvem a formação de trilhas carbonizadas e arcos elétricos é fundamental para a construção de hipóteses quanto à origem de incêndios relacionados a falhas elétricas, favorecendo a produção de laudos periciais consistentes.

Conforme apontado por Camilo e Moraes (2019), a eletricidade figura entre os principais agentes causadores de incêndios em edificações, o que reforça a relevância do aprofundamento técnico e doutrinário sobre o tema no âmbito da perícia. Nesse sentido, os conhecimentos abordados neste estudo contribuem para qualificar a atuação do perito na análise de sinistros de origem elétrica.

REFERÊNCIAS

BABRAUSKAS, Vytenis. **Ignition handbook: principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science**. Issaquah, WA: Fire Science Publishers, 2003. ISBN 0-9728111-3-3.

BABRAUSKAS, Vytenis. **Mechanisms and modes for ignition of low-voltage, PVC-insulated electrotechnical products**. Fire and Materials, v. 30, n. 2, p. 151–174, 2006. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fam.900>>. Acesso em: 4 mar. 2025.

CAMILO, Bruno de César Toledo; MORAES, Wagner Alberto de. **Atualização da doutrina utilizada pelo CBMSC para investigação de incêndios em edificações associados à eletricidade**. Curso de Pós-Graduação em Perícia em Incêndio e Explosão – CBMSC. Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://www.cbm.sc.gov.br/index.php/biblioteca/trabalhos-academicos/tcc-egov-cpie/category/51-pgpie-2019?download=661:atualizacao-da-doutrina-utilizada-pelo-cbm-sc-para-investigacao-de-incendios-em-edificacoes-associados-a-eletricidade-bruno-de-cesar-toledo-camilo-1-wagner-alberto-de-moraes-2>. Acesso em: 4 mar. 2025.

DEHAAN, John D.; ICOVE, David J. **Kirk's fire investigation**. 7. ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2012.

MARTEL, Jean-Mary. **Series arc faults in low-voltage AC electrical installations**. 2018. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Tecnologia da Informação) – Faculdade de Engenharia Elétrica e Tecnologia da Informação, Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, 2018.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). **NFPA 921: Guide for fire and explosion investigations**. Quincy, MA: NFPA, 2022.

ROCHA, Gustavo Silva da. **Análise de risco de incêndio em instalações elétricas**. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia de Segurança ao Incêndio) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2024.

RODOLFO JR., Antonio; MEI, Lúcia Helena I. M. **Mecanismos de degradação e estabilização térmica do PVC**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 17, n. 3, p. 263-275, 2007. Disponível em: <<https://www.revistapolimeros.org.br/article/10.1590/S0104-14282007000300018/pdf/polimeros-17-3-263.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SANTOS ALI, Helena Maria de Almeida Mattos Martins dos. **O uso de poli(cloreto de vinila) quimicamente modificado para a adsorção de corantes básicos.** 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20129/8/ousodepolicloretodevinila.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2025.

FAEZ, Roselena; REIS, Cristiane; FREITAS, Patrícia Scandiucci de; KOSIMA, Oscar K.; RUGGERI, Giacomo; DE PAOLI, Marco-A. **Polímeros condutores.** Química Nova na Escola, n. 11, p. 13–18, 2000. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc11/v11a03.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2025.