

PERÍCIA INCÊNDIO EM GALPÃO JUNTO A UMA FAIXA DE SERVIDÃO

Trabalho de Perícia ou Inspeção Predial

EDUARDO ALMEIDA VENEROSO
WALLACE REZENDE COSTA
WARLEY FRANCISCO VIANA

João Pessoa - PB
2025

REALIZAÇÃO:



IBAPE
INSTITUTO BRASILEIRO
DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA



IBAPE-PB
INSTITUTO BRASILEIRO
DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA

PATROCÍNIO:

CONFEA
Conselho Federal de Engenharia
e Agronomia



CREA-PB
Conselho Regional de Engenharia
e Agronomia da Paraíba



mutua
Caba de Assistência dos Profissionais do Crea

PERÍCIA INCÊNDIO EM GALPÃO JUNTO A UMA FAIXA DE SERVIDÃO

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade eliminar ou descartar hipóteses improváveis a fim de verificar a existência, ou não, denexo de causalidade entre a operação de linhas de transmissão de energia elétrica e a ocorrência de focos de incêndio em faixas de servidão, com potencial de alcançar edificações próximas. Para a aplicação dessa metodologia, será utilizado um extenso checklist que contemplará todas as possíveis causas do sinistro. A partir dessa etapa, serão conduzidos levantamentos e pesquisas, desconsiderando progressivamente as hipóteses que se mostrarem menos plausíveis. No âmbito desse método, todas as causas possíveis e potencialmente capazes de originar o evento serão inicialmente consideradas, seja atuando de forma isolada ou combinada. A análise buscará, assim, restringir o campo de investigação às hipóteses mais prováveis e consistentes.

Palavras-chave: *Incêndio; Linhas de transmissão; Faixas de servidão; Monitoramento.*

ABSTRACT

The purpose of this study is to eliminate or rule out unlikely hypotheses in order to verify the existence or not of a causal link between the operation of power transmission lines and the occurrence of fires in easements, with the potential to reach nearby buildings. To apply this methodology, an extensive checklist will be used that will cover all possible causes of the incident. From this stage onwards, surveys and research will be conducted, progressively disregarding the hypotheses that prove to be less plausible. Within the scope of this method, all possible causes that are potentially capable of originating the event will be initially considered, whether acting in isolation or in combination. The analysis will thus seek to restrict the field of investigation to the most likely and consistent hypotheses.

Keywords: *Fire; Transmission lines; Easements; Monitoring.*

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	Queimadas espontâneas próximas as linhas de transmissão	5
1.2	Faixas de servidão	6
2	METODOLOGIA.....	7
2.1	Estudo das Causas Prováveis.....	7
3	CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS SOBRE FOGO E INCÊNDIO	8
3.1	Definição de fogo	8
3.2	Representação gráfica do fogo	8
3.3	Combustão	10
3.3.1	Transmissão de Energia na Propagação do Fogo:	10
3.4	Mecanismo de Ignição dos Materiais Combustíveis.....	11
3.5	Mistura Inflamável	13
3.6	Ponto de Fulgor e Ponto de Combustão dos Líquidos	14
3.7	Gases Combustíveis	14
3.8	Produtos da Combustão.....	14
3.9	Fatores que Influenciam o Incêndio	14
3.10	Glossário dos Termos mais Utilizados em Perícias de Incêndio	17
4	ESTUDO DE CASO	18
4.1	Dinâmica do incêndio ocorrido	19
5	CONCLUSÃO	24
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



1 INTRODUÇÃO

O presente estudo tem como objetivo principal analisar a existência ou não de nexo de causalidade entre a operação de linhas de transmissão de energia elétrica e a ocorrência de focos de incêndio em faixas de servidão, os quais podem resultar em danos materiais, interrupções no fornecimento de energia e impactos em edificações próximas.

Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o ano de 2024 registrou o maior número de focos de calor dos últimos 14 anos, totalizando 278.299 ocorrências. Em paralelo, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) reportou um recorde de 931 desligamentos de linhas de transmissão da rede básica, todos provocados por queimadas.

A ausência de manutenção adequada nas faixas de servidão das linhas de transmissão, associada à ocorrência de queimadas e incêndios florestais, representa um risco significativo, especialmente nos estados de Minas Gerais, Piauí, Maranhão, Bahia, Tocantins e Goiás, além de outras regiões do país. Os prejuízos gerados por essas ocorrências são amplos e afetam diretamente a indústria, o comércio e a população em geral.

Conforme relatórios mensais do ONS sobre perturbações no Sistema Interligado Nacional, em julho de 2024, o fogo sob as linhas representou 6,7% das interrupções. Em comparação:

- Outras causas: 40,5%;
- Acidentes ou falhas em testes/serviços: 9,11%;
- Vegetação: 6,8%;
- Animais, pássaros e insetos: 6,8%.

A participação da sociedade e das concessionárias de energia é essencial na prevenção. Denunciar focos de incêndio, evitar comportamentos de risco e apoiar ações de proteção ambiental são medidas fundamentais. O cuidado com o meio ambiente também significa proteger a infraestrutura crítica responsável por serviços essenciais como energia, saúde, educação e desenvolvimento econômico.

Com o aumento dos focos de incêndio nas proximidades das linhas de transmissão, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) intensificou suas campanhas educativas. Para o ano de 2025, foram lançados materiais de conscientização por rádio, redes sociais e vídeos informativos, além de canais específicos para denúncias e orientações. A campanha visa alertar a população sobre os riscos e impactos ambientais, sociais e econômicos das queimadas, especialmente durante o período seco (junho a outubro).

Figura 1 – Prevenção de Incêndios Próximos à Linhas de Transmissão de Energia (2025)



Fonte: ANEEL, 2025

Grande parte das queimadas é provocada por ação humana. Por isso, é essencial conscientizar sobre os riscos dessas atitudes, especialmente em épocas de baixa umidade e vegetação seca. É importante reforçar:

- Queimadas próximas às linhas de transmissão são crime (Decreto 2.661/1988);
- Essa prática não é aceitável para limpeza de terrenos, descarte de lixo ou preparo de pastagens;
- Bitucas de cigarro devem ser totalmente apagadas antes de serem descartadas;
- Em caso de incêndio, acione o Corpo de Bombeiros pelo número 193;
- Denúncias devem ser feitas pelos canais disponibilizados pelas prefeituras;
- Concessionárias devem manter adequadamente as faixas de servidão. O não cumprimento pode acarretar responsabilização legal.

Proibições específicas de queimadas:

- A menos de 15 m dos limites das faixas de servidão;
- Em um raio de 100 m ao redor de subestações;
- Em um raio de 50 m ao redor de áreas de conservação ambiental;
- A menos de 15 m de rodovias, ferrovias estaduais ou federais.

1.1 Queimadas espontâneas próximas as linhas de transmissão

As faixas de servidão correspondem a corredores de segurança destinados a proteger as linhas de transmissão e garantir a execução de serviços de manutenção,

facilitar a identificação de falhas e preservar o meio ambiente e a segurança das comunidades próximas.

A Agência Nacional de Energia Elétrica realiza fiscalizações nas condições das faixas de servidão das linhas de transmissão, verificando as ações de supressão e limpeza da vegetação nesses corredores por parte das concessionárias de transmissão.

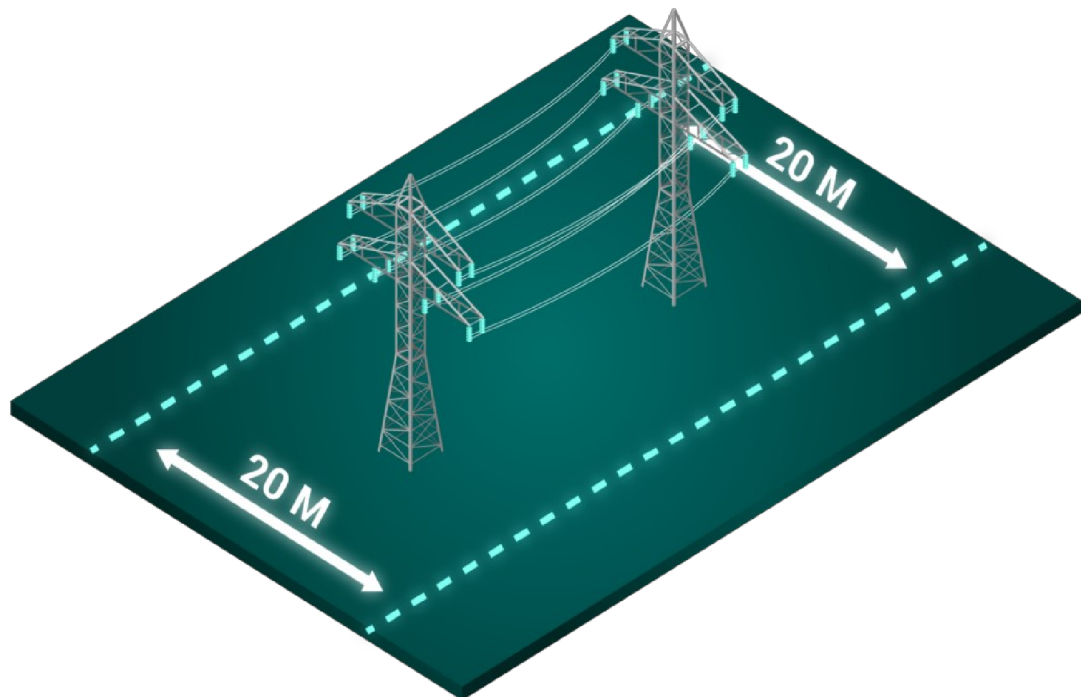
O ONS está empenhado em adotar soluções de operação preventivas, em coordenação com os agentes proprietários das instalações/equipamentos, para evitar que incidentes deste tipo resultem em cortes de carga, pois ainda é esperada a permanência das condições de clima seco por um período prolongado.

1.2 Faixas de servidão

Faixa de Servidão é o termo que define o corredor de segurança estabelecido para proteger a linha de transmissão.

A largura dessas faixas varia conforme o projeto de cada linha. Respeitar os limites estabelecidos ajuda a evitar acidentes, incêndios e interrupções no fornecimento de energia.

Figura 2 – Faixas de servidão



Fonte: State Grid, 2025

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho baseia-se na exclusão sistemática de hipóteses improváveis para a ocorrência de focos de incêndio em faixas de servidão de linhas de transmissão.

Para a aplicação desse método, é necessário realizar um extenso checklist que contemple todas as possíveis causas do sinistro. A partir dessa listagem, cada hipótese deve ser investigada detalhadamente, sendo progressivamente descartadas aquelas que se revelarem menos prováveis ao longo da análise.

2.1 Estudo das Causas Prováveis

Nesse processo, considera-se inicialmente como causas prováveis todas as possibilidades que, isoladamente ou em combinação, possam ter dado origem ao foco de incêndio. Entre elas, destacam-se:

- Combustão espontânea provocada pelo acúmulo e pela forma de disposição de materiais diversos, como carvão, grãos vegetais, entre outros;
- Foco de calor gerado por incidência solar sobre superfícies vítreas, funcionando como lentes;
- Queda de raios durante tempestades;
- Reações exotérmicas de natureza físico-química;
- Geração de centelhas originadas por fontes externas ao ambiente analisado, como soldagem elétrica, descarga eletrostática ou atrito entre metais;
- Exposição accidental ou intencional de materiais inflamáveis ou combustíveis a fontes de calor;
- Disparo de fogos de artifício nas proximidades da área;
- Transmissão de calor a materiais inflamáveis por equipamentos energizados;
- Condutores ou conexões defeituosas, com mau contato ou submetidos a sobrecarga, gerando aquecimento excessivo;
- Curto-circuito elétrico em componentes da instalação;
- Outros fatores específicos relacionados ao evento analisado.

3 CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS SOBRE FOGO E INCÊNDIO

3.1 Definição de fogo

Apesar dos avanços significativos na ciência do fogo, ainda não existe um consenso global sobre a definição precisa do fenômeno. Essa diversidade de entendimento pode ser observada nas definições adotadas por normas técnicas de diferentes países, conforme exemplos a seguir:

a) **Brasil – NBR 13860:** define fogo como o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz;

b) **Estados Unidos – NFPA:** considera o fogo como uma oxidação rápida, autossustentável, acompanhada por emissão variável de calor e luz;

c) **Internacional – ISO 8421-1:** descreve o fogo como um processo de combustão que libera calor, sendo geralmente acompanhado de fumaça, chama ou ambos;

d) **Reino Unido – BS 4422:** Parte 1: apresenta definição semelhante à da ISO, considerando o fogo como um processo de combustão que envolve a liberação de calor, com presença de fumaça, chama ou ambos.

Nota: Segundo a ISO 8421-1, combustão é uma reação exotérmica entre uma substância combustível e um agente oxidante, geralmente acompanhada por chamas, brasas e/ou liberação de fumaça.

3.2 Representação gráfica do fogo

Inicialmente, a teoria do Triângulo do Fogo foi proposta para ilustrar os meios de extinção do fogo. Essa teoria considera três elementos fundamentais para a existência das chamas: combustível, comburente e calor.

A retirada de qualquer um desses três componentes interrompe o processo de combustão.

Figura 3 – Triângulo do fogo



Fonte: Siebert, 2025

Com o desenvolvimento de agentes extintores como o halon, tornou-se necessário atualizar esse modelo teórico. Assim surgiu o Tetraedro do Fogo, que inclui um quarto elemento essencial: a reação em cadeia. Nesse modelo, cada face da figura representa um dos quatro fatores necessários para a continuidade da combustão: combustível, comburente, calor e reação em cadeia.

Figura 4 – Tetraedro do fogo



Fonte: Digfire Extintores, 2025.

Nota: O “halon” ou “CFC” não está sendo utilizado no combate a incêndio.

Para que o fogo se inicie e se mantenha em um material combustível, diversos fatores influenciam o processo, tais como:

- Estado físico da substância (sólido, líquido ou gasoso),
- Massa específica,
- Superfície específica,
- Calor específico,
- Calor latente de evaporação,
- Ponto de fulgor,
- Ponto de ignição,
- Formação de mistura inflamável (ou explosiva),
- Quantidade de calor,
- Composição química,
- Disponibilidade de oxigênio,
- Umidade do material.

Esses fatores explicam as variações no comportamento dos materiais combustíveis tanto no momento da ignição quanto na sustentação do fogo.

3.3 Combustão

3.3.1 Transmissão de Energia na Propagação do Fogo:

Uma vez iniciado o fogo, é fundamental considerar os mecanismos de transmissão de energia, que se dão por condução térmica, convecção e radiação. Cada um desses processos influencia diretamente na manutenção e na propagação das chamas.

A propagação do incêndio ocorre a partir da transferência do calor gerado para outras partes do material combustível ainda não atingidas, ou até mesmo para outros elementos combustíveis situados à distância. Essa transferência de calor pode ocorrer por três formas principais:

- **Condução:** transferência de calor através de materiais sólidos, de molécula para molécula, sem deslocamento do material.
- **Convecção:** ocorre pela movimentação de fluidos aquecidos (líquidos ou gases), que transportam o calor para outras regiões.
- **Radiação:** transmissão de energia térmica por meio de ondas eletromagnéticas, independentemente da presença de um meio material.

Figura 5 – Influência dos mecanismos de transmissão da energia



Fonte: Bombeiros, 2015.

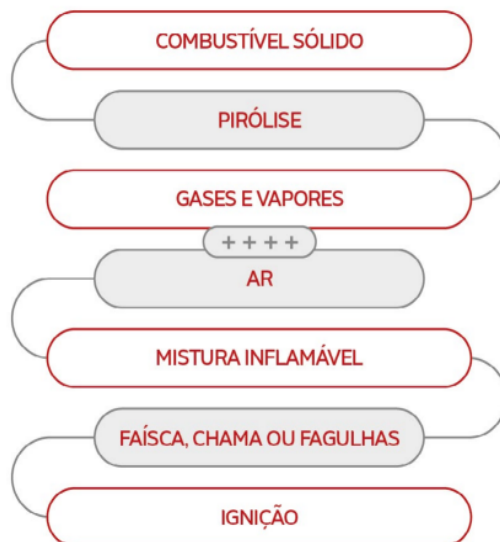
3.4 Mecanismo de Ignição dos Materiais Combustíveis

Os materiais combustíveis, sejam sólidos, líquidos ou gasosos, apresentam mecanismos distintos de ignição, os quais podem ser representados conforme os esquemas abaixo:

- **Combustível Sólido**

Ao serem expostos a uma quantidade suficiente de energia (calor ou radiação), sofrem decomposição térmica — processo denominado pirólise. Esse processo gera produtos gasosos (gases e vapores), que ao se misturarem com o oxigênio do ar formam uma mistura inflamável (ou até mesmo explosiva). Na presença de uma fonte de ignição (como faísca, chama ou centelha), essa mistura pode inflamar-se.

Figura 6 – Mecanismo de ignição de combustível sólido



Fonte: Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Tópicos Introdutórios: Ciências do Fogo, 2018.

Caso a energia fornecida seja suficiente para sustentar o processo de pirólise e continuar produzindo mistura inflamável, a combustão será mantida — normalmente alimentada pelo calor gerado pela própria chama.

Partículas finas de materiais orgânicos ou de alguns metais, quando em suspensão no ar, podem entrar em combustão instantânea ou até explodir. Nestes casos, o mecanismo de ignição não envolve a pirólise.

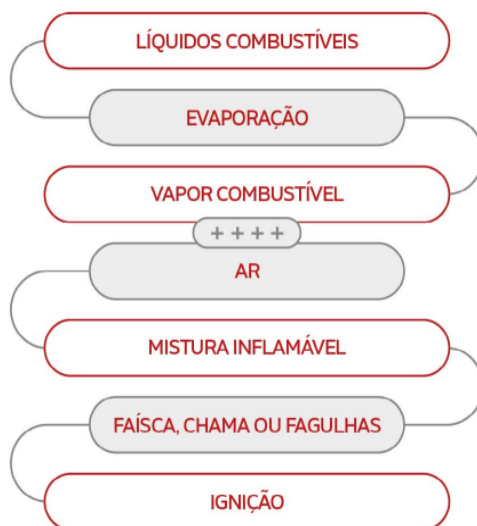
Além disso, certos materiais sólidos, conhecidos como pirofóricos, inflamam-se espontaneamente ao entrar em contato com o ar, sem necessidade de fonte externa

de ignição. Exemplos de materiais pirofóricos incluem: magnésio (Mg), alumínio (Al), urânio (U), sódio (Na), potássio (K), lítio (Li), zircônio (Zr), cálcio (Ca) e titânio (Ti).

- **Combustível Líquido**

Quando um combustível líquido é exposto a uma determinada quantidade de calor, ele não sofre decomposição térmica, mas sim um fenômeno físico conhecido como evaporação. Durante esse processo, vapores são liberados e, ao entrarem em contato com o oxigênio do ar, formam uma mistura inflamável (ou explosiva). Essa mistura, na presença de uma fonte de ignição, como faísca, chama ou centelha, pode se inflamar.

Figura 7 – Mecanismo de ignição de combustível líquido



Fonte: Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Tópicos introdutórios: ciências do fogo, 2018.

A combustão continuará ocorrendo desde que o líquido atinja sua temperatura de combustão. A maioria dos combustíveis líquidos é composta por derivados do petróleo, conhecidos como hidrocarbonetos. Substâncias oleosas de origem vegetal ou animal apresentam mecanismos de ignição semelhantes aos dos derivados do petróleo.

A taxa de evaporação desses líquidos é diretamente proporcional à sua elevação de temperatura, sendo essa uma propriedade intrínseca ao material. No caso dos líquidos inflamáveis ou combustíveis, essa característica permite a determinação de seus pontos de fulgor e de combustão.

- **Combustível Gasoso:**

Considera-se combustível gasoso aquele que, à temperatura ambiente, apresenta-se sob a forma de gás ou vapor. Quando em contato com o oxigênio do ar, esse gás pode formar uma mistura inflamável (ou explosiva) que, na presença de uma fonte de energia ativadora — como faísca, chama ou centelha — pode inflamar-se.

Figura 8 – Mecanismo de ignição de combustível gasoso



Fonte: Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Tópicos Introdutórios: Ciências do Fogo, 2018

Grande parte dos combustíveis gasosos corresponde às frações mais leves do petróleo. No entanto, também são amplamente conhecidos outros gases combustíveis que não derivam do petróleo, como o hidrogênio, monóxido de carbono, amônia e dissulfeto de carbono.

3.5 Mistura Inflamável

Uma mistura é considerada inflamável (ou explosiva) somente quando a proporção entre o gás e o oxigênio do ar encontra-se dentro de certos limites volumétricos. A menor concentração capaz de inflamar-se é chamada de limite inferior de explosividade (LIE), enquanto a maior concentração capaz de manter a combustão é o limite superior de explosividade (LSE). A ignição da mistura só é possível dentro da faixa compreendida entre esses dois limites.

Figura 9 – Mistura Explosiva de alguns Gases e Líquidos

Fonte: Autores, 2025

SuBStânCia	LiE (% em volume)	LsE (% em volume)
Acetona - $\text{CH}_3\text{CO CH}_3$	2,6	12,8
Acetonitrila - $\text{CH}_3\text{ CN}$	4,4	16,0
Benzeno - $\text{C}_6\text{ H}_6$	1,3	7,1
Butano - $\text{C}_4\text{ H}_{10}$	1,9	8,5
Dissulfeto de carbono - C S_2	1,3	50,0
Monóxido de carbono - CO	12,5	74,0
Ciclo hexano - $\text{C}_6\text{ H}_{12}$	1,3	8,0
Etano - $\text{C}_2\text{ H}_6$	3,0	12,5
Etanol - $\text{C}_2\text{ H}_5\text{ OH}$	3,3	19,0
Éter - $(\text{C}_2\text{ H}_5)_2\text{ O}$	1,1	5,9
Gás natural	3,8	13,0
Gasolina	1,4	7,6
Metano - C H_4	5,0	15,0
Metanol - $\text{C H}_3\text{ OH}$	6,7	36,0
Nafta	0,9	6,0
Pentano - $\text{C}_5\text{ H}_{12}$	1,5	7,8
Propano - $\text{C}_3\text{ H}_8$	2,2	9,5
Querosene	0,7	5,0
Toluene $\text{C}_6\text{ H}_5\text{ CH}_3$	1,2	7,1

3.6 Ponto de Fulgor e Ponto de Combustão dos Líquidos

Os líquidos combustíveis representam alto risco de incêndio, sendo classificados em inflamáveis ou combustíveis com base em sua volatilidade. Essa característica permite determinar duas propriedades importantes:

Ponto de fulgor: é a menor temperatura na qual os vapores de uma amostra entram em ignição momentânea ao contato com uma chama-piloto, produzindo um lampejo.

Ponto de combustão: é a temperatura em que a amostra, uma vez inflamada pela chama-piloto, continua a queimar por pelo menos cinco segundos.

Nota: A Tabela 2-10.4 do SFPE Handbook (2ª edição) apresenta os pontos de fulgor, ignição e os limites de inflamabilidade de dezenas de líquidos.

3.7 Gases Combustíveis

Ao serem misturados com o oxigênio do ar, os gases combustíveis formam misturas explosivas que, na presença de uma fonte de ignição, entram em combustão instantânea — ou seja, explodem. Já os gases liberados por combustíveis líquidos e sólidos produzem chamas visíveis. A forma dessas chamas indica a zona em que ocorre a mistura explosiva dos vapores e gases desprendidos.

3.8 Produtos da Combustão

Durante um incêndio, são gerados três produtos principais, os quais são utilizados em sistemas de detecção e proteção, como os chuveiros automáticos (sprinklers):

- Calor;
- Fumaça;
- Chama.

3.9 Fatores que Influenciam o Incêndio

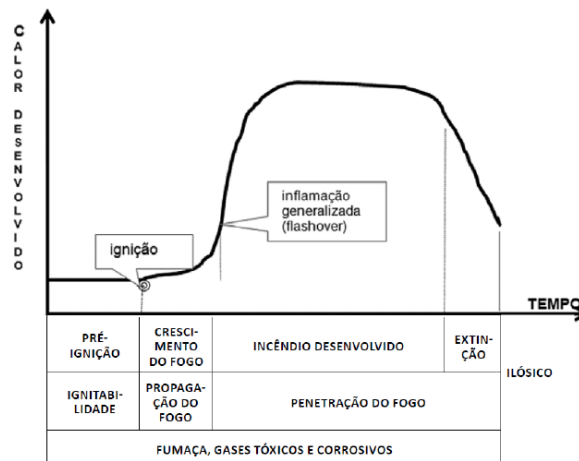
Cada incêndio possui características únicas, pois diversos fatores influenciam sua origem e propagação, tais como:

- a) Geometria e dimensões do ambiente;
- b) Área superficial dos materiais combustíveis envolvidos;
- c) Distribuição dos materiais no local;
- d) Quantidade de material combustível presente, permanente ou temporário;
- e) Características de queima dos materiais;

- f) Local exato do início do fogo;
- g) Condições climáticas, como temperatura e umidade;
- h) Presença e dimensão de aberturas para ventilação;
- i) Conexões entre ambientes que favoreçam a propagação do fogo;
- j) Características do projeto arquitetônico do edifício;
- k) Adoção de medidas preventivas contra incêndios;
- l) Existência de sistemas de proteção contra incêndios instalados.

O início de um incêndio geralmente se dá de forma discreta. Seu desenvolvimento dependerá de diversos fatores, como o primeiro material a ser ignizado, as propriedades de reação ao fogo dos materiais próximos e a forma como estão distribuídos no ambiente.

Figura 10 – Mistura Explosiva de alguns Gases e Líquidos



Fonte: ResearchGate, acesso em julho de 2025

Nota: Fonte – ISO/TR 3814:1989(E) Tests to Measure Reaction to Fire of Building Materials – Their Development and Application

A curva ilustrada na Figura 10 representa as três fases distintas da evolução de um incêndio:

- 1. Fase Inicial (Incêndio Incipiente):** Nesta etapa, observa-se um crescimento lento do fogo, com duração de aproximadamente 5 a 20 minutos até a ignição efetiva. A partir daí, o incêndio entra na segunda fase, na qual as chamas começam a se intensificar, promovendo o aquecimento do ambiente. É nesta fase que os sistemas de detecção devem atuar. A extinção do fogo tem grandes chances de sucesso, especialmente com resposta rápida. Quando a temperatura interna do compartimento atinge cerca de 600 °C, ocorre a liberação intensa de gases e vapores

combustíveis pela pirólise dos materiais sólidos. Se houver presença de líquidos inflamáveis, seus vapores intensificarão o processo, podendo culminar em um fenômeno conhecido como flashover (inflamação generalizada). A extinção ainda é possível, especialmente se os sistemas automáticos de combate (como chuveiros automáticos) forem ativados antes do flashover.

- 2. Fase Plena de Desenvolvimento:** Esta etapa é marcada pela propagação total do incêndio. A temperatura ambiente pode ultrapassar 1.100 °C, levando todos os materiais combustíveis a entrarem em combustão. O fogo se espalha por aberturas internas, fachadas e coberturas da edificação. A taxa de queima dos materiais torna-se constante, e a duração desta fase dependerá diretamente da carga de incêndio presente, a qual se reduz de aproximadamente 80% para 30% de sua massa original. A geração de calor é proporcional ao consumo de combustível e ao seu poder calorífico, podendo ser considerada em regime permanente.
- 3. Fase de Declínio (Extinção):** Nesta fase final, o incêndio perde intensidade e severidade à medida que os materiais combustíveis se esgotam.

A norma BS 3974:2001 fornece subsídios técnicos para o dimensionamento de cada uma dessas fases, seja em incêndios controlados pela ventilação ou pela carga térmica. Com base nessa norma, as etapas do incêndio podem ser detalhadas da seguinte forma:

- **Primeiro Estágio - Pré-ignição:** Divide-se em duas subfases: abrasamento e chamejamento.
 - Abrasamento refere-se à combustão lenta, sem chamas visíveis, com baixa liberação de calor, mas capaz de saturar o ambiente com gases inflamáveis e fumaça. Essa fase pode durar horas. Exemplos de materiais que sofrem abrasamento: serragem, pilhas de papel, fibras naturais, palhas e alguns plásticos expandidos. Devido à baixa produção de calor, os gases permanecem próximos ao material, com pouca convecção.
 - Chamejamento é a forma comum de combustão visível, com chama e emissão de fumaça. Aqui, o calor se propaga com maior rapidez do que no abrasamento.
- **Segundo Estágio - Crescimento do Incêndio:** O fogo se espalha para objetos adjacentes e para os materiais do teto e cobertura. A temperatura do compartimento aumenta em função direta da energia liberada pelos materiais em combustão. Antes do flashover, é possível estimar a elevação da

temperatura com base em modelos de zonas, assumindo a uniformidade da camada de gases aquecidos junto ao teto.

- **Terceiro Estágio - Incêndio Desenvolvido:** Todos os combustíveis disponíveis queimam intensamente. A propagação ocorre pelas aberturas internas e externas, comprometendo grandes áreas. A razão de liberação de calor depende da taxa de consumo da massa de combustível e do seu poder calorífico.
- **Quarto Estágio - Extinção do Fogo:** À medida que a carga de incêndio se consome, a intensidade e severidade do fogo diminuem progressivamente, encerrando o ciclo.

3.10 Glossário dos Termos mais Utilizados em Perícias de Incêndio

- **Agente extintor:** Substâncias químicas (sólidas, líquidas, gasosas ou outros materiais) utilizadas para extinguir incêndios por abafamento, resfriamento ou ambos os processos simultaneamente – o que é mais comum. Entre os principais agentes extintores estão: água, espuma, dióxido de carbono (gás), pó químico seco, agentes halogenados e agentes umectantes.
- **Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros (AVCB):** Documento emitido pelo Corpo de Bombeiros da Polícia Militar que atesta que a edificação, no momento da vistoria, cumpre as exigências de segurança contra incêndio previstas em legislação específica. O documento tem validade determinada e deve ser renovado periodicamente.
- **Carga de incêndio:** Quantidade total de energia calorífica que pode ser liberada pela combustão completa de todos os materiais combustíveis presentes em um ambiente, incluindo acabamentos como revestimentos de paredes, divisórias, pisos e tetos.
- **Combustão súbita generalizada (flashover):** Fase de transição em incêndios confinados, na qual o acúmulo de calor por radiação térmica faz com que todos os materiais combustíveis atinjam, quase simultaneamente, sua temperatura de ignição, levando à inflamação generalizada do ambiente. Inicialmente, a transferência de calor ocorre principalmente por convecção, responsável por cerca de 90% da propagação térmica. Com o avanço do fogo, a radiação se torna predominante, aquecendo os materiais até o ponto de liberar gases de pirólise, que, ao atingirem a temperatura de ignição, inflamam. Se os pontos de ignição forem próximos, ocorre a ignição simultânea (flashover); caso contrário, a combustão se propaga progressivamente conforme os diferentes pontos atingem suas respectivas temperaturas críticas.
- **Pirólise:** Processo de decomposição química de materiais sólidos pela ação do calor, frequentemente antecedendo a combustão. Pode ocorrer sem presença de oxigênio e libera vapores e gases inflamáveis. Materiais como madeira e papel, quando pirolisados, geram vapores combustíveis que se

misturam com o ar, formando chamas. A pirólise ocorre na fase gasosa e é uma etapa fundamental da combustão de sólidos.

- **Ponto de combustão:** Temperatura mínima na qual um combustível libera vapores suficientes para formar uma mistura inflamável com o ar e sustentar a combustão mesmo após a retirada da fonte de ignição.
- **Ponto de fulgor (flash point):** Temperatura mínima na qual um combustível libera vapores em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável com o ar e iniciar a ignição ao contato com uma chama, porém sem manter a queima após a remoção da fonte de calor.
- **Ponto de ignição ou autoignição:** Menor temperatura em que um combustível libera vapores capazes de inflamar espontaneamente ao entrarem em contato com o ar, sem necessidade de fonte externa de ignição.
- **Ponto de inflamabilidade:** Temperatura intermediária entre o ponto de fulgor e o ponto de combustão. Acima dessa temperatura, o combustível se inflama.
- **Prevenção de incêndio:** Conjunto de ações e medidas com o objetivo de evitar a ocorrência de incêndios, garantir a evacuação segura de ocupantes, limitar a propagação do fogo, facilitar seu controle e extinção e assegurar o acesso para atuação dos bombeiros.
- **Propagação por condução:** Ocorre quando o fogo se transmite por contato direto de chamas através da fachada ou cobertura colapsada de uma edificação, alcançando outra construção vizinha.
- **Propagação por convecção:** Transmissão do incêndio por meio de gases aquecidos que saem por aberturas da edificação em chamas e atingem a fachada de construções próximas.
- **Propagação por radiação térmica:** Ocorre quando a energia térmica irradiada pelas chamas atravessa aberturas, fachadas ou coberturas (inclusive em colapso) e atinge edificações vizinhas, podendo iniciar novo foco de incêndio, especialmente quando a fachada for composta de materiais combustíveis.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado pelos autores no município de Vespasiano – Minas Gerais.

O objetivo desse estudo é verificar a existência ou não de nexo de causalidade entre a operação da Linha de Transmissão com um incêndio em um galpão ocorrido no dia 10.10.2015. Segundo alegações, esse incêndio alcançou a edificação através da faixa de servidão da Linha de Transmissão que se encontra posicionada nos fundos do galpão. Uma das partes alegava que o incêndio teria iniciado em consequência de problemas na linha de transmissão.

Figura 11 – Imagem aérea de parte do município de Vespasiano/MG e as projeções das linhas de transmissão e do galpão onde ocorreu o incêndio



Fonte: Google Earth, destaques dos autores.

4.1 Dinâmica do incêndio ocorrido

Conforme testemunhas as chamas se iniciaram em uma área não edificada, que está posicionada nos fundos do galpão e que está dentro da faixa de servidão das Linhas de Transmissão. Essa área está próxima de algumas construções, as quais estão invadindo a faixa de servidão. Após o início da queimada nesse local, devido ao estado da vegetação extremamente seco e aos ventos fortes que estavam ocorrendo no dia do sinistro o fogo passou por sobre uma pequena rua sem calçamento existente no local e logo depois atingiu um capim de altura aproximada de 2,00 metros e que está posicionado abaixo da torre 47 da LT.

Figura 12 – Imagem aérea de parte do município de Vespasiano/MG e as projeções das linhas de transmissão e do galpão onde ocorreu o incêndio



Fonte: Autores

O fogo quando atingiu essa vegetação herbácea densa e alta que se encontrava sob a linha de transmissão provocou um curto-circuito nessa LT que foi desligada exatamente às 19 horas e 13 minutos.

O incêndio se propagou no local consumindo a vegetação até o limite dos aceiros. Um dos aceiros é contíguo a cerca existente nos fundos do galpão e o outro é perpendicular a faixa e aparenta ser uma antiga trilha pelo local. **Portanto o incêndio ficou confinado nessa área de aproximadamente 10.000,00 m² ou 1,00 ha e que é vizinha ao galpão.**

Figura 13 – Imagem aérea do galpão após o incêndio



Fonte: Google Earth, destaques dos autores.

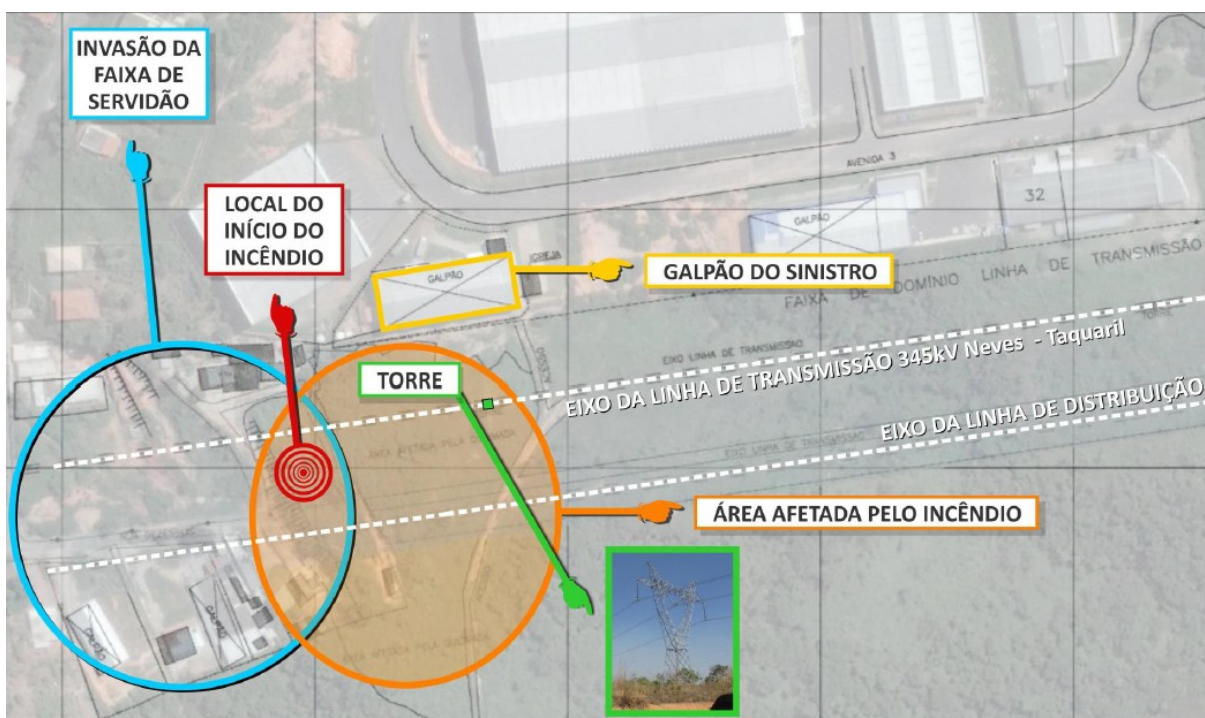
As chamas dessa queimada transmitiram por um tempo considerável muito calor para o galpão por convecção térmica, fenômeno que foi ampliado pelos fortes ventos direcionados para os fundos do galpão. Esses ventos também levaram vapores e gases incandescentes para o interior do galpão que já estava bem aquecido pela transmissão por convecção citada. Esses vapores e gases entraram pelo lanternim existente na cobertura desse galpão e se concentraram junto da cobertura.

Imagens de uma câmera de segurança existente próximo ao galpão demonstram que este processo ocorreu intensamente durante mais de trinta minutos e que as chamas estavam sempre direcionadas no sentido do galpão. Esse processo

provocou o aquecimento do material armazenado dentro dos boxes, num ambiente de pouca ventilação, dando início ao processo de pirólise dos materiais armazenados no interior desse galpão. Esses gases e vapores mais quentes, com densidade mais baixa, se acumularam junto da cobertura, o que é agravado pela deficiência de ventilação do galpão, com aberturas apenas na sua parte frontal.

Provavelmente, um graveto ou mesmo um pedaço da vegetação em chama, foi levado pelo vento para o interior do galpão e atingiu essa mistura explosiva de gás que estava se acumulando junto da cobertura provocando assim a ignição do incêndio. Provavelmente durante a fase inicial do incêndio ocorreu a abertura de uma parte da cobertura metálica o que propiciou uma oxigenação abrupta do ambiente e o processo incendiário, dando origem a um “flashover”. A ocorrência desse fenômeno é confirmada pelas explosões relatadas pelas testemunhas e pelo avanço rápido das chamas no interior do galpão, que foi totalmente destruído pelo incêndio em poucos minutos.

Figura 14 – Levantamento das áreas sobreposto a imagem de satélite (Google-Earth)



Fonte: Google Earth, destaques dos autores.

As figuras a seguir, ilustram a cronologia dos eventos do incêndio.

Figura 15 – Primeiro sinal de fogo na faixa de servidão por volta das 18:45



Fonte: Autores.

Figura 16 – Fogo intenso na faixa de servidão por volta das 19:00



Fonte: Autores.

Figura 17 – ÀS 19:13 a Linha de Transmissão 345 kv foi desligada devido a um curto circuito em consequência da queimada que estava ocorrendo no local



Fonte: Autores.

Figura 20 – ÀS 19:40 a câmera de segurança do galpão vizinho registrou que o galpão objeto desse estudo estava completamente tomado pelo incêndio



Fonte: Autores.

5 CONCLUSÃO

Através da vistoria e da análise criteriosa de documentações, além de investigações complementares, foi possível obter a seguinte conclusão:

A causa mais provável do incêndio no galpão foi o calor provocado pela queimada que ocorreu na faixa de servidão da Linha de Transmissão.

As chamas da queimada que ocorreu no dia 10.10.2015 no terreno existente nos fundos do galpão (faixa de servidão da linha de transmissão) transmitiram por um tempo considerável, por convecção térmica, calor para esse galpão. Essa convecção foi ampliada pelos consideráveis ventos que ocorreram na hora do evento e que estavam direcionando as chamas diretamente para os fundos desse galpão. Destacamos que esses ventos também levaram vapores e gases incandescentes da queimada até o interior do galpão. Esses vapores e gases entraram pelo lanternim existente na cobertura do galpão e se concentraram junto da mesma.

As imagens de câmeras de segurança demonstraram que este processo ocorreu intensamente durante mais de trinta minutos e que as chamas estavam altas e sempre direcionadas no sentido do galpão. Esse processo certamente provocou o aquecimento do material armazenado dentro dos boxes, que num ambiente de pouca ventilação deu início ao processo de pirólise desses materiais. Ressaltamos que os gases e vapores quentes, possuem densidade mais baixa, e se acumularam junto da cobertura do galpão. Destacamos também que esse acúmulo de gases e vapores no interior do galpão foi agravado pela deficiência de ventilação existente no mesmo, pois o galpão possui aberturas apenas na sua parte frontal.

Provavelmente, um graveto ou mesmo um pedaço da vegetação em chama, foi levado pelo vento para o interior do galpão e atingiu essa mistura explosiva de gás que estava se acumulando junto da cobertura causando assim a ignição do incêndio. Provavelmente durante a fase inicial do incêndio ocorreu a abertura de uma parte da cobertura metálica o que propiciou uma oxigenação abrupta do ambiente e o processo incendiário, dando origem a um “flashover”. A ocorrência desse fenômeno é confirmada pelas explosões relatadas pelas testemunhas e pelo avanço rápido das chamas no interior do galpão, que foi totalmente destruído pelo incêndio em poucos minutos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SEITO, Alexandre Itiu et al. A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO NO BRASIL. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

ARAGÃO, Ranvier Feitosa. Incêndios e explosivos: Uma Introdução à Engenharia Forense. Campinas: Millennium, 2010.

SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros. Polícia Militar do Estado de São Paulo. Instrução técnica nº 003/2010- EM REVISÃO: Terminologia de segurança contra incêndios. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 5419: Proteção contra descargas atmosféricas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13231: Faixas de servidão para linhas de transmissão de energia elétrica – Diretrizes de ocupação e uso do solo

TOMASELLA, José Aparecido, Instalações Elétricas: Transmissão e Distribuição de Energia, São Paulo: Érica, 2010.

SILVA, José Carlos de Almeida, *Prevenção e Controle de Incêndios Florestais*, Brasília: Embrapa, 2014.

PEREIRA, M. G.; MENESES, M., "Riscos de incêndios em faixas de servidão de linhas de transmissão: causas e prevenção."

SOUZA, L. F. et al., "Análise de incêndios em áreas de servidão de linhas de transmissão: estudo de caso no cerrado brasileiro."

AGUIAR, A. P.; RAMOS, M. L., "Conflitos entre faixas de servidão de linhas de energia e áreas urbanizadas: risco de incêndios e responsabilidades."

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução Normativa nº 229/2006