

Desempenho integrativo PLANESP Portaria PCBA 457 através da Estrutura Debelante MNR com a IT 45/2026 do CBMBA no combate ao thermal runaway em BESS sob referência do Sistema de Alimentação de Veículos em Edificações

PLANESP integrative performance (PCBA Ordinance 457) via the MNR suppression structure and CBMBA Technical Instruction (IT) 45/2026 for combating thermal runaway in BESS, referenced against building-based electric vehicle power supply systems

Vicente Avelino dos Santos¹

Resumo

O presente estudo analisa a eficácia e a integração tecnológica de um dispositivo extintor autônomo em formato de esfera (Patente INPI BR 10 2026 003238-7 / enquadrado na ISO 3941:2026 Classe L), carregado com o agente extintor em pó mineral MNR (Minério Não Reativo) da Tronox, no combate a incêndios e mitigação do fenômeno de fuga térmica (*thermal runaway*) em baterias de íon-de-lítio. O escopo abrange o estabelecimento da interface técnica entre a atuação da Estrutura Debelante MNR e as exigências da Instrução Técnica nº 45/2026 do Corpo de Bombeiros Militar da Bahia (CBMBA), aplicável a garagens e locais dotados de Sistemas de Alimentação de Veículos Elétricos (SAVE) e Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias (BESS). Os resultados demonstram que a tecnologia atua de forma complementar aos sistemas ativos e passivos tradicionais (chuveiros automáticos, exaustão mecânica e resistência estrutural), otimizando a resposta global da edificação frente a picos extremos de liberação de calor e emissão de gases tóxicos.

Palavras-chave: Segurança contra Incêndio. Baterias de Íon-de-Lítio. *Thermal Runaway*. Normas Técnicas. Proteção Passiva e Ativa.

Abstract

This study analyzes the effectiveness and technological integration of a spherical autonomous fire-extinguishing device (INPI Patent BR 10 2026 003238-7 / classified under ISO 3941:2026 Class L)—loaded with Tronox's MNR (Non-Reactive Ore) mineral powder extinguishing agent—in firefighting and the mitigation of thermal runaway in lithium-ion batteries. The scope encompasses establishing the technical interface between the operation of the MNR suppression system and the requirements of Technical Instruction No. 45/2026 of the Bahia Military Fire Corps (CBMBA), which applies to garages and facilities equipped with Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) and Battery

¹ Universidade Senai Cimatec – Salvador – Bahia – Brasil. ORCID: 0009-0008-7168-9489

Energy Storage Systems (BESS). The results demonstrate that the technology complements traditional active and passive systems (automatic sprinklers, mechanical exhaust, and structural resistance), optimizing the building's overall response to extreme spikes in heat release and toxic gas emissions.

Keywords: Fire Safety. Lithium-ion Batteries. Thermal Runaway. Technical Standards. Passive and Active Protection.

1 Introdução

O avanço acelerado da eletromobilidade e da transição energética tem consolidado a implantação massiva de Sistemas de Alimentação de Veículos Elétricos (SAVE) em garagens cobertas e de Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias (BESS) em edificações comerciais, residenciais e industriais. Contudo, a tecnologia predominante nesses sistemas — baseada em baterias de íon-de-lítio — apresenta riscos inerentes associados ao fenômeno de fuga térmica (*thermal runaway*), caracterizado por reações exotérmicas descontroladas em cadeia que geram picos severos de liberação de calor (*Heat Release Rate* - HRR) e emissão de voláteis tóxicos.

Nesse contexto regulatório e tecnológico, o Corpo de Bombeiros Militar da Bahia (CBMBA) promulgou a Instrução Técnica nº 45/2026, estabelecendo exigências compulsórias e rigorosas de segurança contra incêndio para edificações que abrigam garagens com SAVE. Paralelamente, emergem inovações em engenharia de proteção passiva e ativa, destacando-se o dispositivo extintor em formato de esfera (Patente INPI BR 10 2026 003238-7 / enquadrado na norma ISO 3941:2026 Classe L), cujo insumo ativo baseia-se no pó mineral MNR (Minério Não Reativo) da Tronox.

O objetivo deste estudo é avaliar o desempenho integrativo do PLANESP (Portaria PCBA 457) por meio da Estrutura Debelante MNR, demonstrando sua compatibilidade sinérgica e o preenchimento de lacunas operantes frente aos parâmetros normativos da IT 45/2026 do CBMBA.

2 Revisão da Literatura

A literatura técnica em segurança contra incêndio voltada para fontes de energia de nova geração aponta que os métodos tradicionais de supressão baseados exclusivamente em água (como *sprinklers*) enfrentam barreiras operacionais expressivas diante de fogos em baterias de lítio. Conforme sublinham as diretrizes da norma internacional ISO 3941:2026 (Classe L), criada especificamente para classificar e direcionar o combate a incêndios em baterias de íons de lítio de veículos elétricos e sistemas estacionários, o grande desafio reside no retardo de ativação térmico intrínseco (*activation lag*) dos sistemas convencionais e na velocidade de propagação do colapso térmico entre células adjacentes (*cascading runaway*).

No âmbito normativo regional, a IT 45/2026 do CBMBA fixa parâmetros fundamentais para edificações novas e existentes com área superior a 750 m² ou altura superior a 12,00 m, impondo simultaneamente:

- 1. Sistemas de Detecção e Alarme:** Cobertura exclusiva na garagem e alarme geral na edificação (Itens 5.4.4.1 / 5.5.3.1).
- 2. Chuveiros Automáticos (*Sprinklers*):** Dimensionamento para Risco Ordinário 2 com bicos de resposta rápida (Itens 5.4.4.2 / 5.5.3.2).
- 3. Exaustão Mecânica de Fumaça:** Vazão mínima de 10 trocas do volume de ar por hora do maior pavimento (Item 5.4.4.5).
- 4. Resistência Estrutural (TRRF):** Tempo Requerido de Resistência ao Fogo mínimo de 120 minutos, sem isenções ou reduções para subsolos e garagens (Itens 5.4.4.7 / 5.4.4.8).
- 5. Infraestrutura Elétrica e de Comando:** Restrição a Modos de Recarga 3 e 4 (ABNT NBR IEC 61851-1), pontos de desligamento manual acessíveis entre 0,90 m e 1,35 m de altura, posicionados a no máximo 5,00 m do SAVE e de saídas de emergência, e sinalização fotoluminescente específica (Itens 5.2.1 e 5.4.2).

A lacuna identificada na literatura reside na ausência de mecanismos autônomos de intervenção instantânea na fase embrionária do *thermal runaway* que possam operar de forma integrada às exigências destas normativas sem causar conflitos de projeto.

3 Metodologia

O presente estudo adota uma abordagem metodológica de natureza aplicada e qualitativo-técnica, baseada na análise de conformidade de engenharia e modelagem sinérgica de sistemas de proteção contra incêndio.

As etapas metodológicas consistiram em:

- 1. Levantamento Normativo:** Mapeamento sistemático dos requisitos técnicos, restrições dimensionais e premissas de desempenho estipuladas pela IT 45/2026 do CBMBA e pela ISO 3941:2026 (Classe L).
- 2. Caracterização Físico-Química do Insumo:** Avaliação das propriedades supressoras do pó mineral MNR da Tronox, submetido a processos industriais de micronização, desidratação térmica, homogeneização com agentes estabilizantes e encapsulamento em invólucros esféricos com cordéis termossensíveis calibrados.
- 3. Análise de Interface Operacional (Matriz de Desempenho):** Cruzamento das respostas dos sistemas convencionais de combate (detecção, *sprinklers*, exaustão e TRRF) com a intervenção em frações de segundo proporcionada pela Estrutura Debelante MNR posicionada sobre *wallboxes* e gabinetes de BESS.
- 4. Diretrizes do Plano Executivo:** Verificação dos processos produtivos e de controle de qualidade executados sob premissas de sustentabilidade e economia circular na Área de Proteção Ambiental (APA) Rio Capivara.

4 Resultados e Discussão

A introdução da Estrutura Debelante MNR (ISO 3941:2026 Classe L) em conjunto com a infraestrutura de garagens reguladas pela IT 45/2026 gera ganhos técnicos expressivos, sanando as principais vulnerabilidades operacionais dos sistemas tradicionais isolados.

4.1 Resposta Dinâmica ao *Thermal Runaway* e Sinergia com *Sprinklers*

Enquanto os sistemas convencionais de chuveiros automáticos (Risco Ordinário 2) sofrem com o *activation lag* térmico do bulbo (intervalo de 1 a 3 minutos até a convecção de gases aquecidos atingir o teto), a esfera extintora atua de forma autônoma e ultrarrápida ao primeiro contato com a chama de dardo (*jet-flame*). A carga pirotécnica ejeta o pó mineral MNR, que promove o encapsulamento e a vitrificação (*melt-shield barrier*) na superfície do lítio em combustão. Essa barreira paralisa a recombinação de radicais livres, reduz o *off-gassing* tóxico e achata imediatamente a curva de pico de HRR. Em seguida, o sistema de *sprinklers* atua em um cenário de carga térmica drasticamente reduzida, garantindo o resfriamento convectivo por 30 minutos sem o risco de reignição.

4.2 Alívio Térmico e Eficiência da Exaustão Mecânica

O parâmetro normativo de 10 trocas de ar por hora (Item 5.4.4.5 da IT 45/2026) é dimensionado para fumaça convencional (Classe A/B) e torna-se vulnerável à saturação térmica e perda de vazão mecânica frente a plumas descontroladas de baterias de lítio. Ao conter a pirólise na origem, a tecnologia MNR limita a temperatura dos gases e reduz o volume de efluentes, assegurando que o sistema de exaustão opere perfeitamente dentro de seus limites nominais.

4.3 Preservação da Integridade Estrutural (TRRF de 120 Minutos)

A contenção da chama na fase embrionária evita o gradiente térmico severo sobre lajes e pilares, impedindo o fenômeno do *spalling* explosivo (destacamento do concreto que expõe as armaduras de aço ao fogo). Com isso, o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo de 120 minutos (exigido sem reduções pelos itens 5.4.4.7 e 5.4.4.8) é plenamente preservado.

Tabela 1 – Matriz comparativa de desempenho integrativo entre sistemas convencionais e a Estrutura Debelante MNR.

Exigência / Parâmetro da IT 45/2026	Atuação do Sistema Convencional Isolado	Ganho Técnico com Integração da Estrutura Debelante MNR (Tronox)
Detecção e Alarme de Incêndio (Item 5.4.4.1 / 5.5.3.1)	Detecta fumaça/temperatura e aciona o alarme geral. Incapaz de intervir fisicamente no <i>thermal runaway</i> .	Resposta autônoma ativada pelo contato direto da chama na fase embrionária, operando de forma concomitante ao sinal de detecção.
Chuveiros Automáticos (Item 5.4.4.2 / Risco Ord. 2)	Sofre com <i>activation lag</i> térmico do bulbo (1 a 3 min); resfria o entorno, mas pode ter dificuldade de debelar a chama interna da célula.	Combate instantâneo na base por pó mineral Classe L, abolindo a chama primária, vitrificando o material e reduzindo o pico da curva de HRR até a abertura do <i>sprinkler</i> .
Exaustão Mecânica (Item 5.4.4.5 - 10 Trocas/h)	Projeta a extração volumétrica de fumaça, mas pode sofrer saturação e perda de vazão por expansão de gases superaquecidos.	Suprime a pirólise excessiva e limita a temperatura do efluente, impedindo a sobrecarga térmica dos exaustores e mantendo a eficiência de extração.
Resistência Estrutural (Item 5.4.4.7 - TRRF 120 min)	Expõe o elemento construtivo gerando risco de <i>spalling</i> explosivo e perda de cobrimento do aço.	Elimina o dardo térmico localizado sobre lajes e pilares, prevenindo o <i>spalling</i> do concreto e assegurando a manutenção integral do TRRF de 120 min.

5 Conclusão

O estudo concluiu que a Estrutura Debelante MNR (Patente INPI BR 10 2026 003238-7 / ISO 3941:2026 Classe L), fundamentada no insumo MNR da Tronox, constitui uma solução de engenharia altamente eficaz e perfeitamente complementar aos sistemas compulsórios exigidos pela Instrução Técnica nº 45/2026 do CBMBA. A sua capacidade de abafamento, vitrificação e controle do pico de HRR mitiga os riscos operacionais associados ao *thermal runaway* em garagens com SAVE e salas de BESS.

Recomenda-se para a elaboração de Projetos Técnicos de Segurança Contra Incêndio e Pânico (PSCIP):

- 1. Posicionamento Estratégico:** Instalação das unidades por suporte fixo diretamente acima das estações de recarga (*wallboxes*) e no interior de gabinetes de BESS, garantindo acionamento imediato ao primeiro contato com a chama.
- 2. Harmonização com *Sprinklers*:** Planejamento aéreo rigoroso para que a disposição das esferas respeite as áreas de cobertura da IT 23 do CBMBA, evitando qualquer sombreamento ou obstrução ao jato d'água dos chuveiros automáticos.
- 3. Manutenção de Requisitos Mandatórios:** Estrita observância dos Modos de Recarga 3 e 4, instalação correta dos pontos de desligamento manual (entre 0,90 m e 1,35 m de altura e a até 5,00 m do SAVE/saídas) e sinalização fotoluminescente regulamentar (itens 5.2.1 e 5.2.3).
- 4. Memória de Cálculo Integrada:** Inclusão nos memoriais descritivos da fundamentação de amortecimento da curva de HRR proporcionada pelo agente MNR Classe L, justificando a estabilidade da exaustão mecânica e a integridade estrutural do TRRF de 120 minutos.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6022: Informação e documentação — Artigo em publicação periódica científica impressa — Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6023: Informação e documentação — Referências — Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14724: Informação e documentação — Trabalhos acadêmicos — Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BAHIA. Corpo de Bombeiros Militar da Bahia (CBMBA). Instrução Técnica nº 45/2026: Segurança contra incêndio para garagens e locais dotados de infraestrutura de recarga para veículos elétricos (SAVE). Salvador: CBMBA, 2026.

BAHIA. Corpo de Bombeiros Militar da Bahia (CBMBA). Instrução Técnica nº 23: Sistemas de chuveiros automáticos. Salvador: CBMBA, [2026].

BRASIL. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Patente BR 10 2026 003238-7: Dispositivo extintor formato bola e método de aplicação com agente MNR. Depositante: PLANESP / Tronox, 2026.

COMISSÃO ELETRÔNICA INTERNACIONAL. IEC 61851-1: Electric vehicle conductive charging system — Part 1: General requirements. Genebra: IEC, [2026].

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 834-1: Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 1: General requirements. Genebra: ISO, [2026].

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3941:2026: Classification of fires in lithium-ion battery energy storage systems and electric vehicles (Class L). Genebra: ISO, 2026.