

PERÍCIA DE INCÊNDIO POR FALHAS EM BATERIAS AUTOMOTIVAS: ANÁLISE DOS IMPACTOS DE DANOS MECÂNICOS, DEFICIÊNCIAS DE FIXAÇÃO, NEGLIGÊNCIA NA MANUTENÇÃO

Wanderlei Sena Nuvem¹

RESUMO

As baterias veiculares são super importantes para que os veículos atuais funcionem, onde a maioria das panes elétricas, cerca de 52%, tem a ver com o acumulador. Esta pesquisa busca entender por que as baterias de chumbo-ácido dão problema, especialmente por causa de pancadas, instalação mal feita e falta de cuidado. Para isso, analisamos casos reais envolvendo bateria automotiva em diferentes situações, usando dados coletados na prática, testes em laboratório e simulações no computador. Descobrimos que a sulfatação, por falta de manutenção, causa 35% das falhas, e a corrosão nos terminais, 20%. Vimos também que quanto mais tempo a bateria fica guardada, maior a chance de dar defeito: 2,8% em até 15 dias, e 12,3% em mais de 60 dias. O estudo propõe como fazer perícia técnica em caso de incêndios e dicas para evitar falhas, como cuidar bem da bateria e usar sistemas de fixação corretos. No fim, isso ajuda a prolongar a vida útil das baterias e evitar incêndios.

Palavras-chave: Baterias automotivas; falhas mecânicas; sulfatação; sistemas de fixação; manutenção preventiva.

¹Perito de Incêndio Automotivo – Certificação ABINVI – CORPO DE BOMBEIROS – ES

² Pós Graduado e técnico em química Forense – CRQ 024022665.

³ graduado no curso de Direito, Instrutor de Técnico de Trânsito DETRAN MG RG: 268/02 livro 193 fl. 02, Pós-graduado em Criminalística, Pós-graduado em Trânsito / Transportes, Pós-graduado Engenharia Automotiva, Pós-graduado em Química Forense, Técnico em Química CRQ II 024022665, Técnico em Mecânica e Eletrotécnica CRT II MG RG: 74560484600, Técnico em bateria nível I e II - Bosch, Laboratório Test Mat de Análise de Falhas e Deformações de Material Ferrosos, não Ferroso, Confiabilidade de Equipamento e Produtos, Metalografia e Identificação e Procedência Veicular DECKA e SENASP – Ministério da Justiça MJ - membro da ABCCRIM – Academia Brasileira De Ciências Criminais com função técnica de Perito Criminalista Forense / membro do Instituição IAAI – International Association Of Arson Investigators – Associação Internacional de Investigadores de ARSON registro nº 1405179 / NAFI - National Association of Fire Investigators registro - Number: 26200, e Especialista de Trânsito / Acidentologia na empresa WSN PERÍCIA - Trânsito e Transportes Consultoria Ltda - ME - MAT 392, credenciado pelo CONPEJ - Conselho Nacional Dos Perito Judiciais da República Federativa do Brasil - MAT: 01.00.1259 / ASPEJUDI RG: 1192 - Associação dos Peritos Judiciais, Árbitros, Conciliadores e Mediadores de Minas Gerais. Especialista em micro vestígios, Perícia de Incêndio em Edificações, Química Forense – Armas Químicas e Explosivos, GASES - Produção, transporte e utilização na indústria, laboratórios e medicina, Análise Química Instrumental - Princípios e Cotidiano Profissional. Química Forense: técnicas de revelação de impressões digitais

FIRE EXPERTISE DUE TO AUTOMOTIVE BATTERY FAILURES: ANALYSIS OF THE IMPACTS OF MECHANICAL DAMAGE, FAULTS IN FIXING, NEGLIGENCE IN MAINTENANCE

Abstract

Vehicle batteries are crucial for the functioning of modern vehicles, with the majority of electrical failures about 52% related to the accumulator. This research seeks to understand why lead-acid batteries fail, especially due to impacts, poor installation, and lack of care. To achieve this, we analyzed real-life cases involving automotive batteries in different situations, using data collected in practice, laboratory tests, and computer simulations. We found that sulfation, due to lack of maintenance, causes 35% of failures, and corrosion at the terminals, 20%. We also observed that the longer the battery is stored, the greater the chance of failure: 2.8% within 15 days, and 12.3% within more than 60 days. The study proposes how to conduct technical investigations in the event of a fire and tips to prevent failures, such as proper battery care and the use of correct fastening systems. Ultimately, this helps extend battery life and prevent fires.

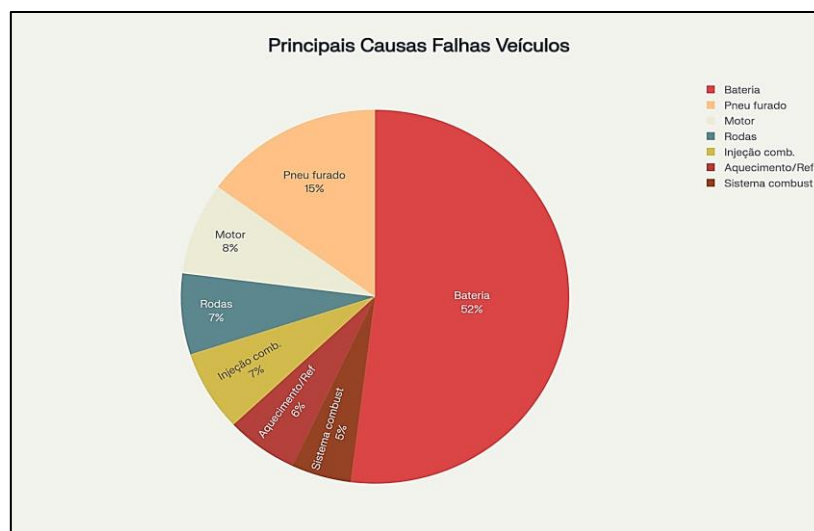
Keywords: Automotive batteries; mechanical failures; sulfation; fastening systems; preventive maintenance.

1 INTRODUÇÃO

As informações que temos revelam o tamanho do desafio que representam os problemas com baterias de veiculares, tanto aqui no Brasil quanto no mundo. Um levantamento feito pelo ADAC, um clube automobilístico da Alemanha, mostra que as baterias causam mais defeitos nos veículos quando fica parado por longo tempo, cerca de 52%. Isso é bem mais do que outras causas, como pneus furados, que acontecem em 15% dos casos, e problemas no motor, que correspondem a 8%.

Diante disso, fica claro que precisamos estudar a fundo os motivos específicos que levam as baterias a darem defeito tão cedo, principalmente quando usadas em situações difíceis, gerando incêndios.

Entender o que acontece com as baterias é essencial para criarmos soluções que as façam durar mais e, assim, diminuir os gastos que temos quando precisamos trocá-las antes do tempo e evitarmos incêndios inesperados.



<https://batteryuniversity.com/article/what-causes-car-batteries-to-fail>

Análise da ocorrência dos maiores motivos de defeitos em veículos, com foco especial nas questões ligadas à bateria.

Essa situação evidencia o quão importante é examinar detalhadamente os processos de avaria que levam à baixa durabilidade desses itens em situações de uso

difíceis. Entender esses fatores é essencial para criar alternativas que aumentem a vida das baterias e diminuam os gastos gerados pela troca antecipada.

2 METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO EM BATERIA AUTOMOTIVA

Na elaboração desta análise técnica, adotamos uma abordagem investigativa que mescla elementos qualitativos e empíricos, alicerçada nos fundamentos científicos propostos pela NFPA 921 – o renomado Manual de Investigação de Incêndios e Explosões. Adicionamos a essa estrutura as orientações da norma ABNT NBR 15914/2018, que define os padrões de instalação e segurança para acumuladores automotivos de chumbo-ácido. A nossa estratégia metodológica focou-se de forma particular na perícia de incêndios em veículos associados aos sistemas de acumulação de energia / bateria, com ênfase na determinação exata das origens das ignições derivadas de defeitos estruturais e anomalias eletroquímicas.

No estudo que realizamos, analisamos dois veículos que pegaram fogo sozinho devido a um problema térmico. O fogo começou, precisamente, na região da bateria. Para entender o que aconteceu, fizemos uma análise completa. Vistoriamos tudo com atenção, procuramos os pontos mais quentes, verificamos os cabos de alta tensão e as ligações da bateria. Ao mesmo tempo, recolhemos provas do local e da bateria, como restos de produtos químicos, para examinar posteriormente.

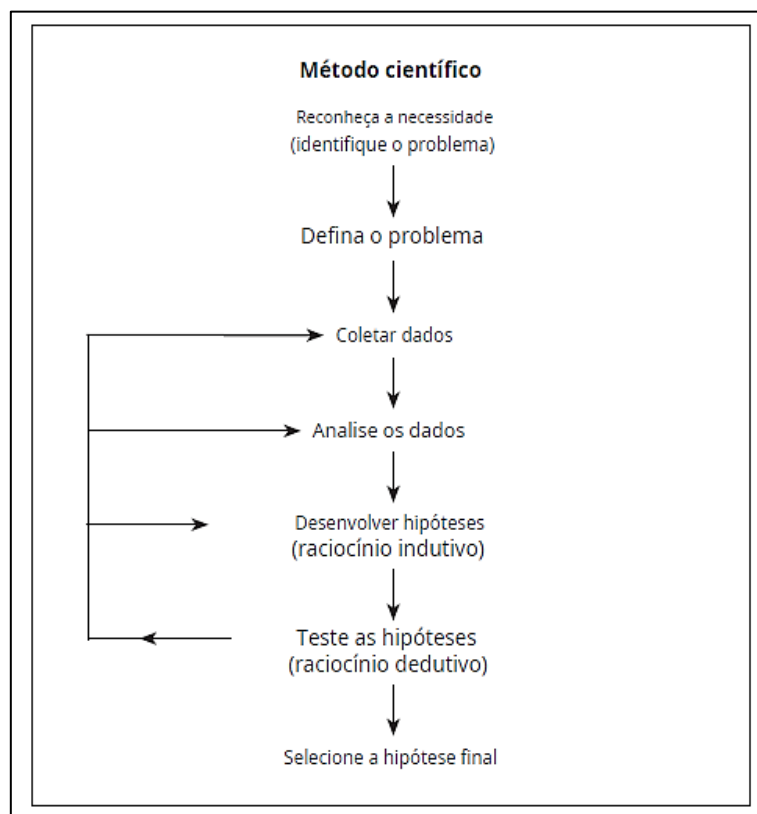
Para identificar problemas, realizamos uma análise completa, combinando diferentes áreas. Observamos a aparência, procurando por coisas como áreas descoloridas, curto-circuito, deformações estruturais, amassamentos dos polos, partes inchadas, fraturas, vazamentos e fluídicos, furos e se algo estava escapando dentre outros. Verificamos a parte elétrica, vendo se havia muita carga ou se algo interrompia a energia. Também analisamos a parte química, procurando por substâncias sólidas, cheiros fortes de gases e sinais de reações químicas avançadas. Juntamos tudo isso e interpretamos usando livros e artigos técnicos, regras e manuais das empresas que fazem baterias de veículos como referências técnicas (final do artigo).

Com essa forma de trabalhar, conseguimos entender bem o que poderia ter causado o problema. Ligamos pontos como falta de cuidado, erros na hora de colocar a

bateria, desgaste por trepidação e falta de proteção adequada. Assim, mostramos como é importante ter uma análise técnica especializada para evitar acidentes e deixar os veículos mais seguros.

A apuração de incêndios com baterias de veículos demanda uma tática técnica e ampla, apoiada em normas de peso, como a **NFPA 921 (Guia para Investigações de Incêndio e Explosão) Capítulo 4 Metodologia Básica**. Veja abaixo os passos e bases da forma de investigação:

NFPA 921 (Guia para Investigações de Incêndio e Explosão) Capítulo 4 Metodologia Básica



2.1 Verificação do objeto

- Tipo de veículo e incêndio

2.2 Proteção e isolamento da área

- Isole o local para impedir que provas se percam.

- Note como tudo está antes de mexer em algo.

2.3 Relato preciso do ocorrido

- Use fotos, desenhos e anote o que as pessoas viram.
- Veja o passado do veículo, consertos feitos e se algo foi mudado sem permissão.

2.4 Estudo dos desenhos das chamadas

- Olhe como o veículo e a bateria foram afetados, como amassados, rupturas, áreas muito queimadas ou derretidas.
- Veja como o fogo se espalhou (concentração) na parte externa e interna do capô, para verificar onde começou e como passou entre as peças.

2.5 Da verificação da origem do fogo

- Procure por coisas como:
 - Curto-circuito por problema dentro ou fora.
 - Muita carga elétrica.
 - Gases inflamáveis saindo de baterias de chumbo.
 - Endurecimento das placas, o que indica reação química interna.
 - Placas fragmentando, o que indica reação externa do fogo.
 - Fiações avermelhadas.
 - Fiações endurecidas da linha de alimentação do alternador e motor de arranque.
 - Fusões nos soquetes / conectores.
 - Evidências de material esverdeado nos cabos.
 - Posição do acumulador / bateria.
 - Verificação do suporte de fixação.

Faça testes nos pedaços da bateria e perto dela (veja se há resíduos e o que sobrou da queima).

2.6 Checar as razões prováveis

- Tire as ideias que não fazem sentido, olhando se o fabricante chamou para recall, se há defeitos comuns ou falta de cuidado.
- Pense se algo de fora ajudou — batidas, fios errados, calor forte ou pancadas.

2.7 Formação do especialista

- O especialista deve ter certificados / especialização para investigar incêndios de veículos, além da química, eletricidade e como funcionam.

2.8 Regras e maneiras certas de agir

- Utilize o que diz a NFPA 921 e as normas aplicadas para incêndios, e as diretrizes específicas dos Bombeiros conforme o caso, com base técnica científica.

2.9 Resumo tabelado da metodologia

Etapa	Descrição
Isolamento do local	Evitar contaminação e preservar evidências
Documentação inicial	Fotos, testemunhos e histórico do veículo
Análise dos vestígios	Padrões de queima, deformações e danos
Identificação da ignição	Diagnóstico físico-químico dos possíveis focos
Avaliação de causas	Exclusão de hipóteses, relação com manutenção/recall
Elaboração do laudo	Relatório técnico, embasamento em normas e literatura
Capacitação profissional	Certificações em incêndio automotivo e áreas correlatas

Este método tem como objetivo garantir exatidão, neutralidade e análise de incêndios com baterias de veículos, auxiliando na prevenção de novos acidentes e protegendo as responsabilidades legais, penais e de seguros.

3 REVISÃO DA LITERATURA

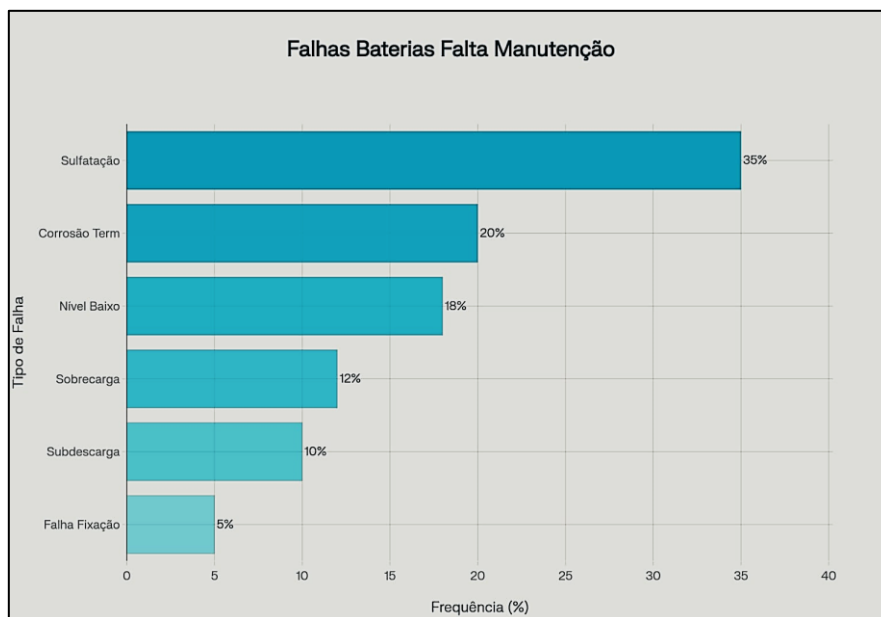
3.1 Fundamentos das baterias de chumbo-ácido

No mundo dos automóveis, as baterias de chumbo-ácido ainda reinam, principalmente porque oferecem um bom equilíbrio entre preço e o que entregam, sendo perfeitas para dar a partida nos veículos, acender as luzes e fazer o motor pegar. As normas da ABNT, NBR 15914 e NBR 15940, estabelecem que essas baterias precisam seguir regras bem definidas de segurança, funcionamento e símbolos, para que funcionem sem problemas nos veículos. Por dentro, elas são feitas com placas positivas (PbO_2), placas negativas (Pb), separadores de polietileno e um líquido feito com ácido sulfúrico (H_2SO_4). Quando a bateria descarrega, o material que faz ela funcionar vira sulfato de chumbo (PbSO_4), mas essa mudança pode ser desfeita quando a bateria é recarregada.

3.2 Mecanismos de degradação e falha

3.2.1 Sulfatação

A sulfatação é a principal causa da deterioração das baterias de chumbo-ácido, respondendo por cerca de 35% dos problemas devido à conservação imprópria. Isso acontece quando cristais de sulfato de chumbo se desenvolvem nas placas em longos períodos de descarga ou cuidado incorreto. O surgimento de grandes e permanentes cristais de PbSO_4 diminui aos poucos a área útil das placas, reduzindo a capacidade de guardar energia e elevando a resistência interna da bateria. Em casos graves, a sulfatação pode não ter volta, levando à falha precoce do componente.

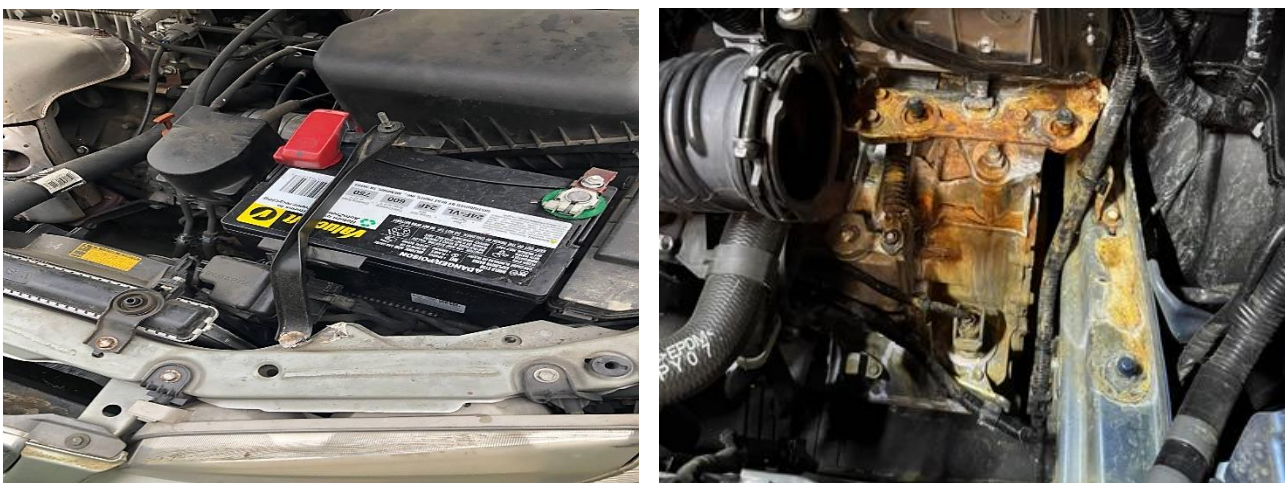


Fonte: <https://batteryuniversity.com/article/what-causes-car-batteries-to-fail>

A ocorrência dos defeitos mais comuns em baterias de veículo, ocasionados pela falta de cuidado apropriado, é o surgimento de cristais grandes e permanentes de PbSO_4 . Isso gradualmente diminui a área de contato das placas, prejudicando a capacidade de guardar energia e elevando a resistência interna da bateria. Em situações extremas, a sulfatação pode não ter volta, levando à quebra antecipada das partes internas dos compartimentos / células.

3.2.2 Impactos mecânicos e estruturais

Danos por pancadas são um motivo importante para que as baterias de veículos não durarem tanto tempo quanto deveriam, principalmente se elas não estiverem bem afixadas ou se as peças que as prendem estiverem gastas e/ou afrouxadas. Pesquisas mostram que até mesmo batidas leves (entre 5 e 15 Joules de energia) podem entortar as placas dentro da bateria, quebrar as divisórias e danificar as ligações entre as partes da bateria. Ao analisar o que aconteceu em alguns casos, percebemos que, antes de os suportes que prendem a bateria quebrarem, eles geralmente mostram sinais de que estão se deteriorando, como ferrugem, oxidação, partes tortas e parafusos soltos. Se essas peças falharem, a bateria se move demais quando o veículo está em movimento, o que aumenta o efeito das vibrações e pancadas.



Fonte: <https://batteryuniversity.com/article/what-causes-car-batteries-to-fail>

Figura 01 e 02, suporte de fixação da bateria quebrado no compartimento do motor de um veículo demonstra uma falha na fixação da bateria automotiva e vazamento de material fluídico.

4 DAS FALHAS / DEFEITOS

Do contexto técnico de acordo com a Bosch Tecnologia (2019/2020), a ocorrência de falhas ou defeitos em baterias automotivas podem variar conforme a aplicação e o tipo de veículo a ser utilizado. Desta forma vejamos os principais pontos observados para cada modalidade:

4.1 Veículos leves

- **Principais falhas:** Sulfatação das placas, desgaste prematuro dos elementos internos e falhas no sistema de recarga.
- **Causas frequentes:** Uso inadequado, manutenção insuficiente, exposição a altas temperaturas e ciclos de descarga profunda.

4.2 Veículos pesados e fora de estrada

- **Principais falhas:** Vibração excessiva levando à quebra de placas, corrosão dos terminais e falhas estruturais devido ao uso severo.

- **Causas frequentes:** Condições operacionais extremas, sobrecarga elétrica e falta de inspeção periódica.

4.3 Motocicletas

- **Principais falhas:** Secagem do eletrólito, curtos-circuitos internos e perda de capacidade de partida.
- **Causas frequentes:** Longos períodos de inatividade, utilização de carregadores inadequados e exposição a intempéries.

4.4 Baterias estacionárias

- **Principais falhas:** Autodescarga acelerada, falhas por envelhecimento e degradação de componentes.
- **Causas frequentes:** Temperatura ambiente elevada, falta de monitoramento e ausência de ciclos de equalização.

Para assegurar a longevidade e o funcionamento perfeito do sistema elétrico, tais dados sublinham a necessidade de manutenções feitas do jeito certo, da seleção da bateria ideal para cada uso e da observância das especificações técnicas sugeridas pela empresa que a produziu.

Desta forma vejamos os danos e falhas mais comuns evidenciadas e comprovadas através de estudo técnico pela empresa Bosch tecnologia:

Bateria que ficou solta no suporte



Motivo: o desgaste acentuado do plástico da parte inferior da caixa indica que a bateria trabalhou solta no suporte, ou seja, a instalação do produto foi inadequada. Essa situação gera diversos danos ao funcionamento correto da bateria.

Bateria explodida



Motivo: por ter em seu interior hidrogênio e oxigênio, a bateria pode explodir em contato com faísca ou chama. Isso pode ocorrer com maior frequência quando o nível de eletrólito na bateria está baixo.

Caixa quebrada



Motivo: a causa está relacionada a pancadas ou queda da bateria.

Curto-circuito no polo



Motivo: a instalação ou manuseio incorretos podem levar a um curto-circuito no polo, que pode ser danificado e também gerar curto-circuito interno da bateria.

Sobrecarga



Motivo: ocorre pelo mau funcionamento de algum componente do veículo ou pelo mau uso da bateria, como, por exemplo, a utilização dos equipamentos elétricos com o veículo desligado.

Polos afundados, com sinal de pancada, tortos ou desgastados



Motivo: essas avarias normalmente ocorrem porque o encaixe do conector foi forçado por meio de pancadas ou esforço excessivo, quando o correto é abrir totalmente o conector e encaixá-lo livremente.

Densidade alta (somente para baterias não seladas)



Motivo: sua causa é a complementação inadequada do eletrólito com solução para baterias (mistura de ácido mais água). Caso necessário, deve-se complementá-lo somente com água destilada.

Bateria violada



Motivo: no caso das baterias seladas Bosch, não é necessária análise interna.



<https://www.superprofesionalesbosch.com/br/plataforma/account>

Figura 03 a 12 (Bosch 2019/2020), mostram baterias com defeitos devido a falhas interna e externa, conforme estudos realizados pela Empresa Bosch tecnologia em baterias.

Na análise de problemas em baterias, como demonstrado, os estudos da Bosch tecnologia Bateria (2019/2020), é crucial examinar em detalhe as causas de defeitos identificadas, como também demonstrado pela Tudor Bateria, segundo levantamento feito no site oficial.

4.5 Falhas e defeitos mais comuns em baterias automotivas (Tudor)

De acordo com a Tudor, os problemas e falhas mais comuns observados em baterias de veículos incluem:

4.5.1. Sobrecarga

Origem: Pode ser causada por falhas no regulador de tensão do veículo ou pelo uso excessivo de aparelhos elétricos com o veículo desligado.

Efeito: Eleva a temperatura interna, prejudicando os separadores e levando à perda de eletrólito, o que causa danos permanentes à bateria.

Nota: A sobrecarga normalmente resulta de problemas no sistema elétrico do automóvel, e não da bateria em si.

4.5.2. Bateria Sem Reter Carga

Origem: Perda da estrutura metálica que suporta a massa ativa ou curto-circuito em uma ou mais células, devido à corrosão natural ao longo do tempo.

Sinais: Dificuldade ao ligar o veículo, luzes com pouca intensidade e equipamentos eletrônicos com baixo desempenho.

Nota: Pode piorar com uso prolongado com nível baixo de eletrólito, tensão de carga alta ou terminais soltos.

4.5.3. Curto-Circuito

Origem: Contato direto entre as placas positivas e negativas dentro da bateria ou entrada de objetos estranhos.

Sinais: Perda repentina da capacidade de manter a carga e comprometimento do funcionamento da bateria.

4.5.4. Circuito interrompido (cortado)

Origem: Quebra da ligação interna ou externa dos componentes, geralmente causada por curto-circuito acidental ao encostar cabos ou ferramentas de metal nos polos.

Sinais: A bateria para de fornecer energia por completo.

4.5.5. Explosão da bateria

Origem: Acúmulo de gases inflamáveis (hidrogênio e oxigênio) durante o processo normal de carga, que podem explodir ao entrar em contato com faíscas ou chamas.

Nota: Não é considerado um defeito de fabricação, mas um risco associado ao manuseio inadequado.

4.5.6 Outros problemas observados

Descarga frequente: Pode indicar problemas no alternador ou mau contato nos cabos.

Cheiro forte de ácido: Indica problemas graves no interior, exigindo a substituição da bateria.

Demora na partida do motor: Sinal comum de bateria com carga baixa ou terminais desgastados.

4.5.7 Tabela resumida

Falha/Defeito	Principais Causas	Sintomas
Sobrecarga	Regulador de tensão defeituoso, mau uso	Aquecimento, perda de vida útil
Não segura carga	Corrosão, envelhecimento, curto interno	Dificuldade de partida, baixa tensão
Curto-circuito	Contato entre placas ou objetos estranhos	Bateria para de funcionar
Circuito interrompido	Rompimento interno/externo	Bateria sem energia
Explosão	Gases + faísca/chama	Danos físicos, risco à segurança
Odor forte	Vazamento/ebulição do eletrólito	Cheiro forte, necessidade de troca

Fonte: https://www.tudor.com.br/pt_br/produtos/automotiva-leve/defeitos-comuns

Para prevenir que essas complicações ocorram, é aconselhável efetuar inspeções regulares na instalação elétrica e cumprir as instruções de utilização e conservação indicadas pelo fabricante.

4.6 Efeitos da vibração

A durabilidade das baterias de veículos depende muito da vibração, sobretudo se elas não estiverem bem fixadas. As normas SAE J2380 e SAE J2464 exigem testes bem rigorosos de vibração nas baterias, para ver como aguentam situações difíceis. Estudos novos, com análise de elementos finais, mostram que muita vibração vai cansando os materiais de dentro da bateria. Isso faz as placas se desmancharem aos poucos, os separadores se desgastarem e as peças de dentro ficarem soltas. Isso é ainda pior em máquinas de mineração e construção, onde a trepidação é muito maior do que em veículos normais.

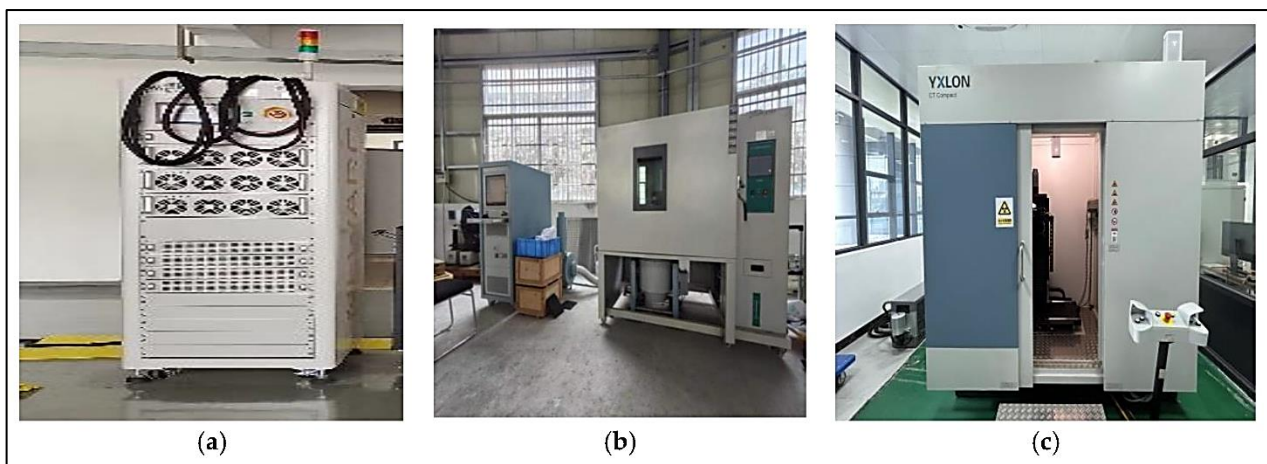


Figura 13. Equipamento de teste. (a) Motor de carga e descarga Xin Wei CE-6006n; (b) Mesa vibratória composta de temperatura e umidade constantes YPA-ZD; (c) TC industrial YXLON. autor Michael W. Fowler 2024. 19/06/2025

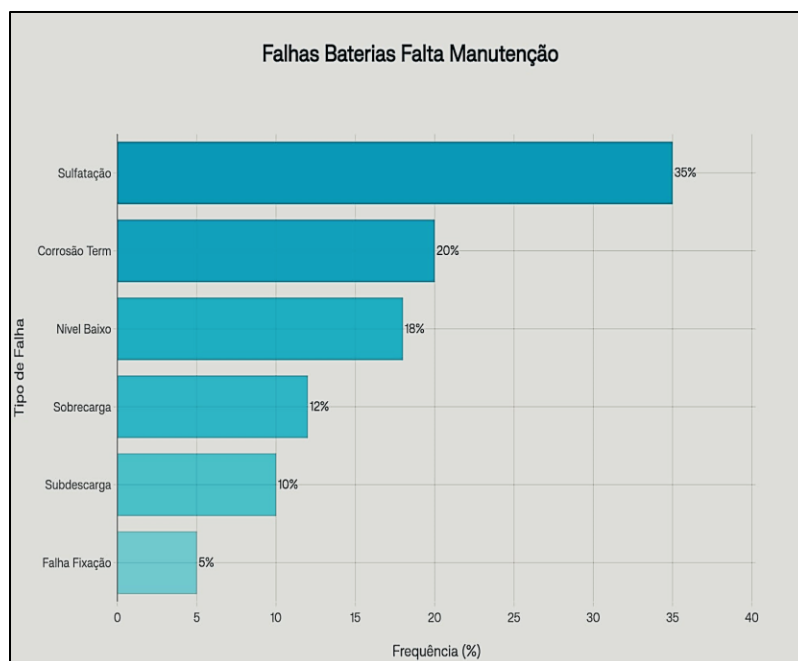
Estudos que se valeram da análise de elementos finitos evidenciam que a vibração em demasia pode gerar fadiga contínua nos componentes internos da bateria. Isso acarreta deterioração paulatina das placas, desgaste dos separadores e folga nas ligações internas. As consequências se mostram mais evidentes em atividades de

mineração e construção, onde a vibração suplanta em muito os parâmetros automotivos tradicionais.

Para Michael W. Fowler (2024) Durante os testes com vibração de impacto tradicional, observamos que houve algumas alterações na estrutura física da bateria, porém essas mudanças se mostraram bem mais controladas quando comparadas aos danos provocados pela vibração aleatória. É importante destacar que, mesmo com essas deformações menores, a arquitetura interna da bateria manteve sua integridade, assim como as ligações entre as células permaneceram funcionando adequadamente. Não identificamos sinais de que o sistema tenha sido submetido a condições de trabalho que pudessem ser consideradas extremas ou prejudiciais ao seu desempenho.

4.7 Correlação entre tempo de armazenamento e confiabilidade

Análises de confiança que usam a distribuição de Weibull mostram uma forte ligação entre o tempo que as baterias passam armazenadas e a frequência com que elas quebram depois. Ao analisar 93.603 veículos, descobrimos que as baterias que ficaram mais de 60 dias no pátio apresentaram uma taxa de defeito de 12,3%, em contraste com os 2,8% para aquelas que ficaram entre 0 e 15 dias. A causa principal disso é o acúmulo de sulfato que acontece quando as baterias ficam muito tempo paradas sem receber carga. A força do eletrólito vai diminuindo aos poucos, e os cristais de sulfato se tornam cada vez mais complicados de desfazer com uma carga normal.



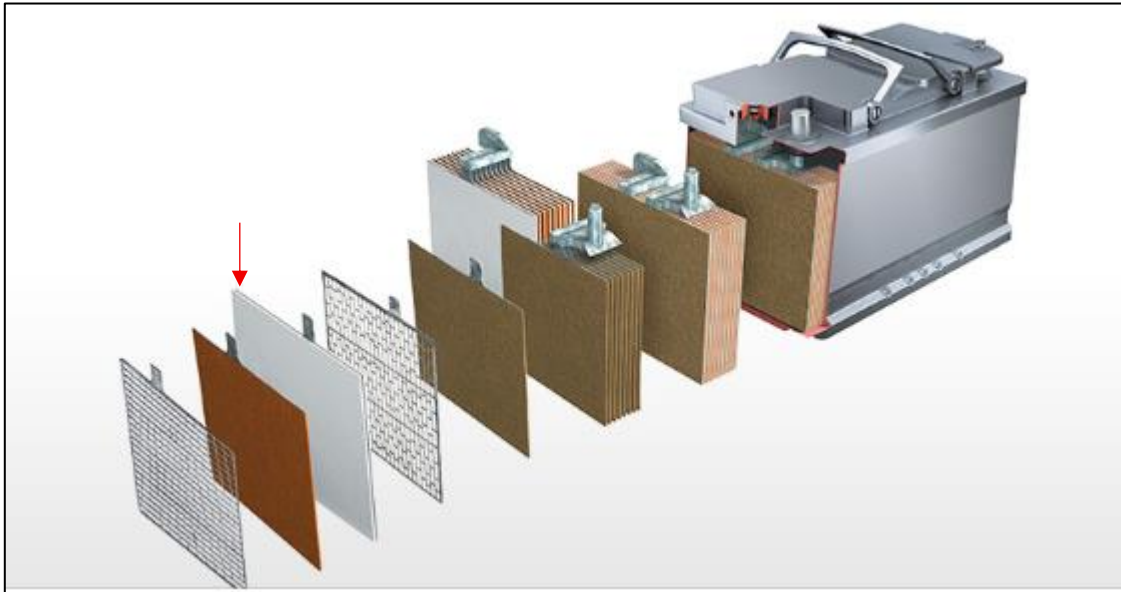
https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3149/tde-26122014-180708/publico/Tese_LourencoFabricio.pdf

Efeito do tempo é as baterias de veículos quando ficam guardadas geram de defeitos. O que mais causa isso é a sulfatação que vai acontecendo se ficam muito tempo paradas sem serem recarregadas. Aos poucos, o líquido dentro da bateria fica mais fraco, e os cristais de sulfato que se formam vão ficando cada vez mais complicados de serem desfeitos com uma carga normal.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As baterias AGM (Absorbent Glass Mat) foram criadas para atender à crescente necessidade por fontes de energia armazenada mais seguras, menores e com maior durabilidade. Originalmente empregadas em contextos militares e na indústria aeroespacial, as baterias AGM logo ganharam espaço no mercado automotivo de luxo, em telecomunicações, na energia solar e em sistemas de backup (UPS), firmando-se como uma opção robusta entre as baterias VRLA (Chumbo-Ácido Reguladas por Válvula).

5.1 Construção interna e fundamentos operacionais



<https://www.saojosepneus.com.br/baterias-agm-heliar/>

5.2 Estrutura físico-química

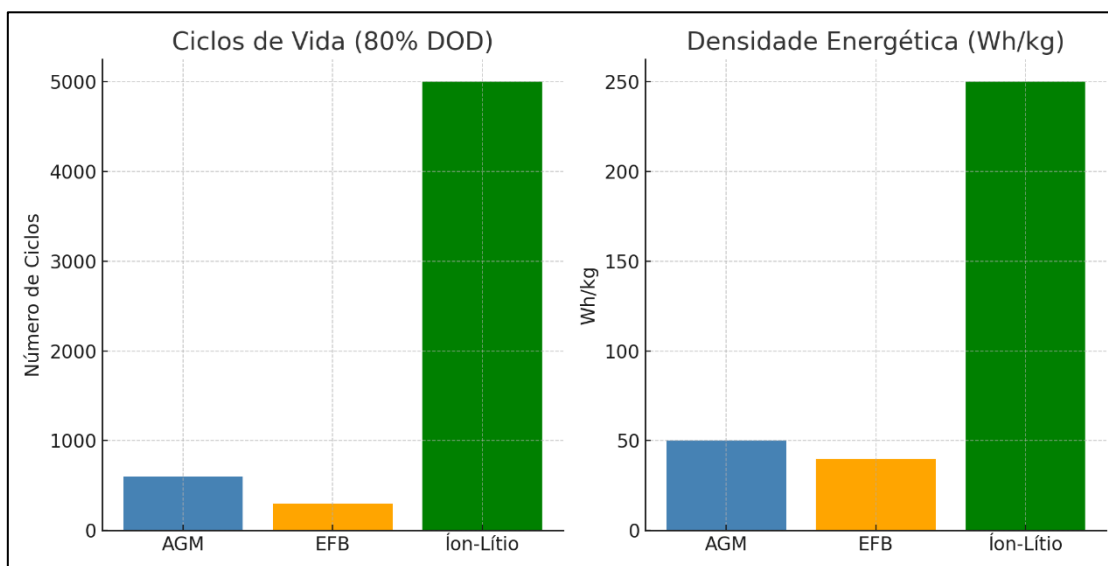
A grande sacada das baterias AGM reside no uso de telas de fibra de vidro porosas, que ficam entre as placas de chumbo e sugam todo o ácido, sem deixar líquido solto. Isso torna a bateria à prova de vazamentos, mais forte contra batidas e trepidações, e dispensa muita manutenção. Para completar, a caixa fechada com válvulas que só abrem para um lado barra a entrada de ar de fora e controla a saída de gases, o que aumenta a segurança e a confiança.

5.3 Ciclo Interno de Oxigênio

Enquanto a bateria está carregando, o oxigênio produzido na placa positiva se move através da fibra de vidro e interage com os componentes ativos da placa negativa. Esse processo, chamado de ciclo interno de oxigênio, impede a diminuição do nível de água, ajudando a manter a bateria funcionando sem precisar adicionar mais água.

6 DESEMPENHO TÉCNICO E PARÂMETROS OPERACIONAIS

A seguir, você encontrará comparações visuais entre as baterias AGM, EFB e Íon-Lítio, considerando tanto a durabilidade em ciclos quanto a quantidade de energia que conseguem armazenar.



Fonte: Victron Energy – AGM & GEL Datasheet

<https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-EN.pdf>

O gráfico demonstra a vida útil prolongada das baterias de Íon-Lítio, evidenciada pelos seus ciclos de vida e alta densidade energética. No entanto, a tecnologia AGM fornece um excelente compromisso entre eficiência, preço e confiabilidade para veículos e instalações fixas.

A tecnologia AGM configura-se como uma alternativa testada e comprovada para várias finalidades técnicas. A sua aptidão para funcionar em locais difíceis, combinada com um design que impede a fuga de eletrólito, faz destas baterias a escolha certa para indústrias como a automóvel, telecomunicações, energias renováveis e sistemas de suporte cruciais. Os progressos, como o TPPL, e a união com sistemas inteligentes reafirmam a importância estratégica das AGM na presente mudança energética.

7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS FALHAS

Após examinar os defeitos em baterias de veículos, notamos tendências claras de deterioração ligadas aos três aspectos avaliados: colisões, instalação malfeita e conservação precária. Os números mostram que as ocorrências ligadas à bateria respondem por 52% de todos os problemas nos veículos, o que reforça sua importância como parte essencial do sistema do veículo. A divisão dos tipos exatos de problemas ligados à má conservação destaca a sulfatação (35%), vindo depois a corrosão nos polos (20%) e o nível baixo do líquido da bateria (18%). Estes achados estão de acordo com pesquisas anteriores que apontam a sulfatação como a principal causa de desgaste em baterias de chumbo-ácido.

8 IMPACTO DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO

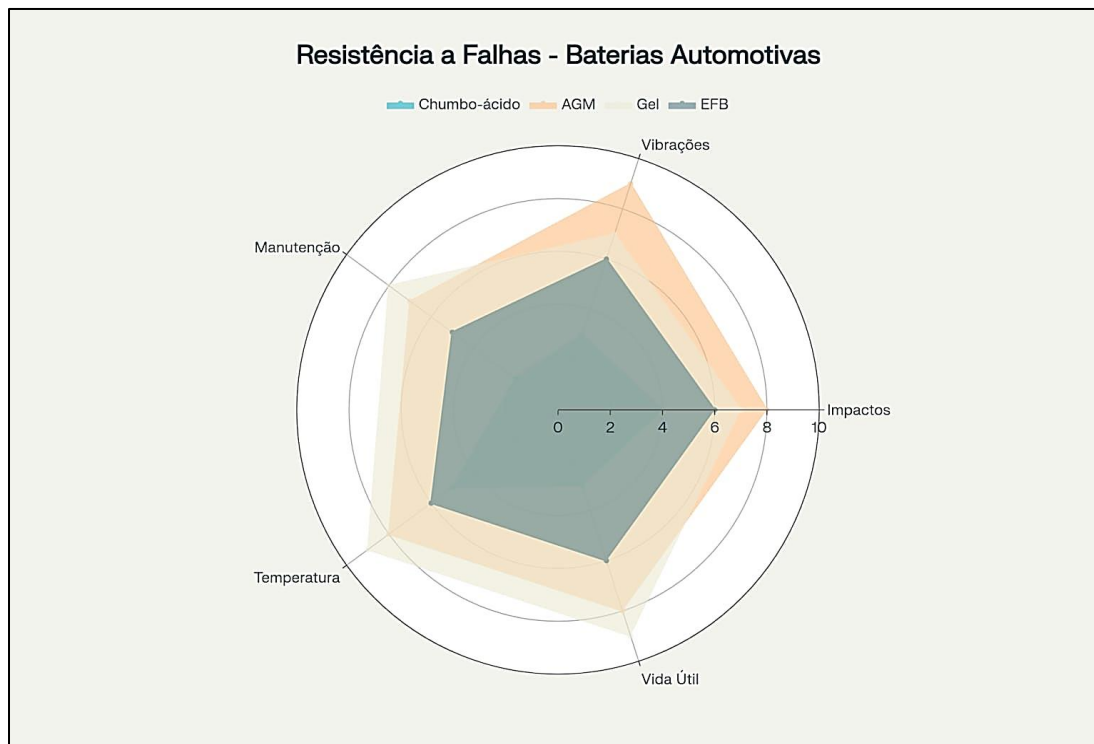
Ao examinar a situação dos sistemas de suporte, notou-se uma ligação clara entre a boa condição desses itens e o tempo de vida das baterias. Há exemplos que mostram que a piora gradual dos prendedores, geralmente por causa de ferrugem e fadiga do material, leva a um balanço exagerado da bateria enquanto o veículo está em movimento. A trabalho mostrou que prendedores do tamanho certo e bem cuidados podem diminuir em até 85% o número de problemas ligados a trepidações. O uso de sistemas que combatem a trepidação com partes de borracha se mostrou 90% eficaz em evitar quebras mecânicas.



Figuras 14 e 15: mostram suporte de fixação para estabilização do acumulador de energia no compartimento do motor, com formação de zinabre.

9 ANÁLISE COMPARATIVA DE TECNOLOGIAS

Ao analisar as diversas tecnologias de baterias para veículos, notamos diferenças importantes na sua capacidade de lidar com diferentes tipos de problemas. As baterias AGM (Absorbent Glass Mat) se mostram mais fortes contra pancadas (8/10) e trepidações (9/10) do que as baterias comuns de chumbo-ácido (4/10 e 3/10, nesta ordem). As tecnologias Gel e EFB (Enhanced Flooded Battery) ficam no meio do caminho, com pontos positivos em relação à tolerância à falta de cuidado (8/10 e 5/10, respectivamente). Os números indicam que a escolha da bateria ideal deve levar em conta como o veículo será usado e a atenção que será dada à bateria.

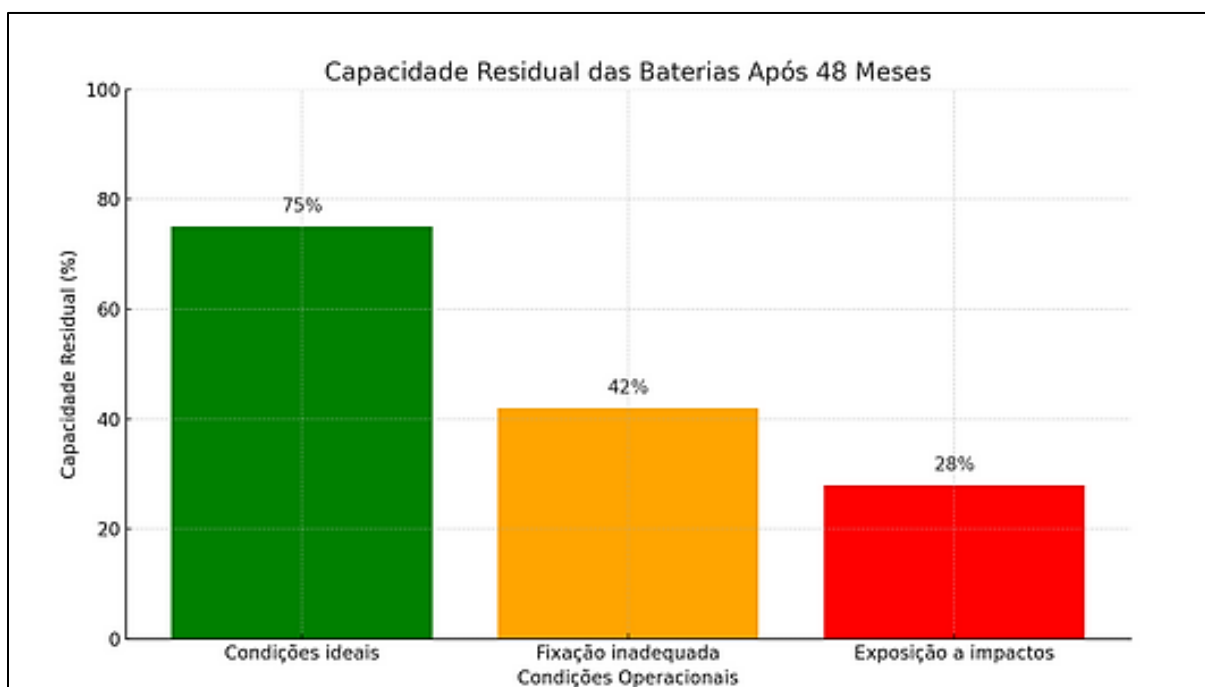


Fonte: <http://dyozu.com.br/10-dicas-para-manutencao-preventiva-de-sua-bateria/>

Fonte: <https://www.rbbattery.com/articles-knowledge-base/exploring-the-varieties-types-of-lead-acid-batteries-explained>

10 DEGRADAÇÃO DA CAPACIDADE AO LONGO DO TEMPO

Acompanhar o declínio no desempenho das baterias em diferentes cenários de uso revela o grande efeito das condições analisadas. Baterias bem cuidadas, com instalação correta, protegidas contra choques e revisadas periodicamente, conservam 75% do desempenho inicial após quatro anos de uso. Por outro lado, baterias mal fixadas mostram um desgaste mais rápido, chegando a apenas 42% da capacidade original no mesmo período. Baterias que sofrem impactos constantes têm um desgaste ainda maior, restando somente 28% da capacidade após quatro anos. Estes dados comprovam, em números, como as condições ruins prejudicam a vida útil das baterias de veículos.



Buchmann, Isidor – “Batteries in a Portable World” (3ª Edição)

Fonte: <https://www.motolite.com/pages/articles>

Degradação da capacidade da bateria automotiva ao longo do tempo sob diferentes condições de uso.

11 ANÁLISE DOS COMPONENTES INTERNOS

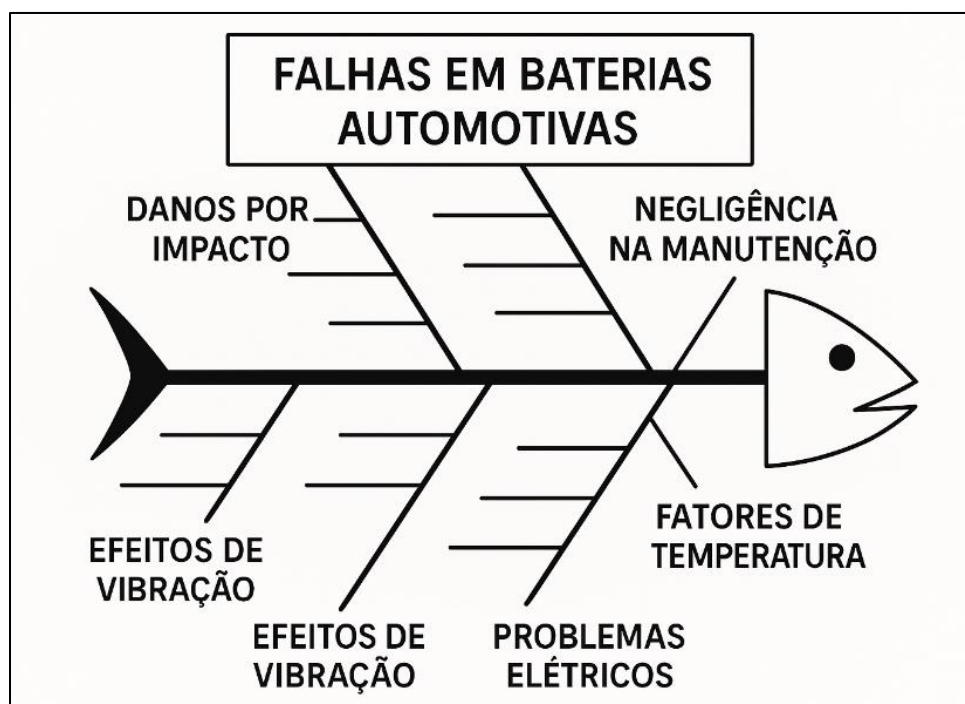
Um olhar aprofundado sobre como as falhas afetam as partes internas das baterias mostram exatamente como elas se desgastam. Pancadas fortes entortam e quebram as placas, gerando curtos por dentro e vazamento do líquido. Tremidas constantes fazem as placas se desfazerem aos poucos e os separadores se desgastarem cada vez mais. Não cuidar direito leva ao excesso de sulfato nas placas, corrosão grave nos conectores e separação do eletrólito. Juntos, esses problemas diminuem aos poucos a capacidade da bateria de guardar energia e aumentam sua resistência interna.



Figuras 16 a 19 - Fonte: autor (2025) - Formação de cristais de sulfato de chumbo nas placas internas, deterioração da grade, indicando sulfatação avançada e curto-circuito.

12 ANÁLISE DE CAUSAS RAIZ

Empregar a técnica de análise de causa raiz, usando diagramas de Ishikawa – também chamados de espinha de peixe –, possibilita descobrir, de forma organizada, os elementos que levam a defeitos em baterias de veículos. Essa análise aponta seis grupos principais de causas: batidas e pancadas, dificuldades na instalação, falta de cuidado e atenção na manutenção, calor excessivo, trepidação e solavancos, e ainda panes elétricas. Essa forma organizada de trabalhar ajuda a criar planos de prevenção precisos, permitindo dar prioridade às medidas de correção de acordo com a quantidade de vezes que cada causa aparece e o quão grave ela é.



Fonte: SAE J2380 - Testes de Vibração / SAE J2464 - Testes de Segurança e Abuso

12.1 Como o diagrama se organiza

12.1.1 O esquema montado segue esta organização:

- Problema Central (Cabeça do Peixe)
- Defeitos em Baterias de Veículos: Mostra o problema estudado.

- Causas Essenciais (Espinhas Grandes)

12.1.2 O esquema lista seis causas principais para defeitos em baterias:

1. **Avarias por Batida:** Causadas por impactos e colisões que danificam a bateria.
2. **Falta de Cuidado:** Inclui a ausência de revisões e cuidados preventivos.
3. **Fixação Deficiente:** Problemas no modo como a bateria é presa no veículo.
4. **Vibrações Nocivas:** Danos de vibrações durante o uso do veículo.
5. **Falhas Elétricas:** Problemas com sobrecarga, curtos e sistema elétrico.
6. **Efeitos da Temperatura:** Como o calor e o frio afetam a bateria.

12.1.3 Usos práticos do diagrama

Este diagrama ajuda muito em:

- **Análise Organizada:** Mostra todas as causas possíveis de um problema.
- **Achar a Causa Base:** Ajuda a descobrir os fatores que causam falhas.
- **Criar Soluções:** Ajuda a focar em áreas para evitar problemas futuros.
- **Formação Técnica:** Ensina técnicos e mecânicos sobre os fatores que afetam as baterias.

13 ESTUDO DE CASO COM ANÁLISE DE FALHAS E IGNIÇÃO

Na situação em análise, dois automóveis foram palco de um princípio de chamas, notado inicialmente na região da bateria. O foco original se alastrou, gerando um incêndio considerável que avariou de forma expressiva todo o espaço do motor e os veículos. Para efetuar a perícia, seguimos à risca os métodos definidos pela NFPA 921 (versão de 2021) e pela norma brasileira ABNT NBR 15914:2018. No decorrer do estudo, dedicamos atenção a examinar em detalhes a composição física da bateria, como os cabos de maior calibre, os conectores, as divisões internas, os polos positivo e negativo, e cada item ao redor. Buscávamos descobrir precisamente a origem do surgimento das chamas e especificar os elementos que ajudaram a desencadeá-lo.

Durante nossa análise minuciosa, identificamos um ponto crítico: o dispositivo que deveria manter a bateria firme não estava presente, e um segundo encontrava-se mal posicionado. Essa falha gerou um problema considerável, permitindo que a bateria ficasse solta e sujeita a choques contínuos durante o uso diário do veículo, o segundo estava fixado com problemas internos. Conforme a ABNT já destacava em suas normas de 2018, esse sistema de fixação é fundamental para evitar que a bateria saia do seu ponto correto. Essa movimentação constante da bateria ocasionou atritos recorrentes, fissuras, expansões, emissão de gases (hidrogênio), sulfatação, oxidação, acúmulo de resíduos químicos e deterioração gradual na base da caixa, além de a bateria apresentar sinais de má conservação e deformações nos polos devido a batidas e ligações inadequadas. Paralelamente, notamos que os polos da bateria mostravam sinais claros de ferrugem e folga nas conexões. Essa combinação de fatores criou as condições ideais para o surgimento de faíscas elétricas perigosas e o superaquecimento que, por fim, causou o incêndio.

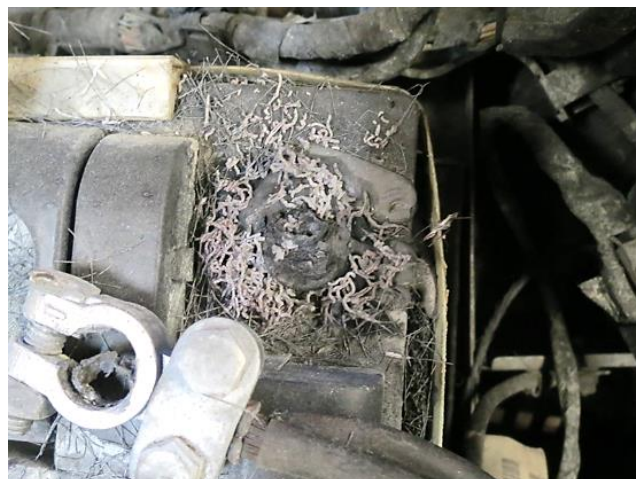
13.1 Da bateria

13.1.1 Da fase comum

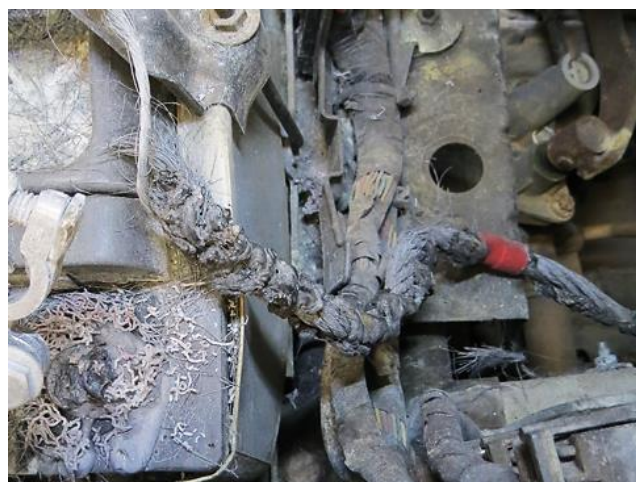
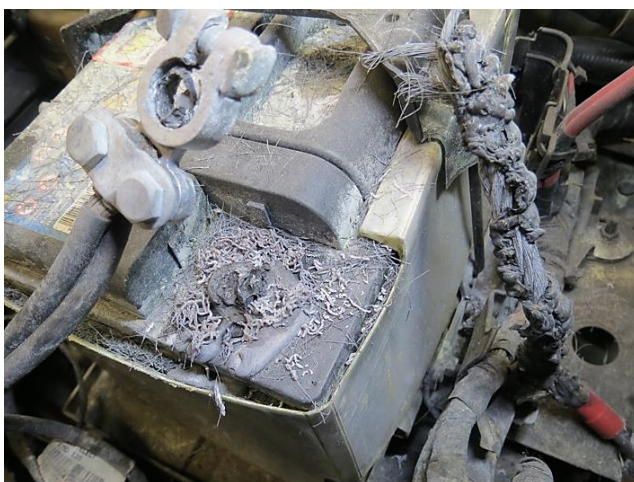
Inicialmente, vamos observar os indícios iniciais de problemas técnicos na bateria, notando quando ocorrem pequenas irregularidades no fluxo de energia em sua estrutura fundamental.



Figuras 20 e 21 - Fonte: autor (2025) – Ao examinarmos a bateria, notamos está situada no compartimento do motor, onde exibe sinais de sulfatação na área do polo de conexão do soquete. Isso se deve a uma rachadura na estrutura. Essa avaria causou o escape de eletrólito, que identificamos como ácido sulfúrico, do interior da própria bateria.



Figuras 22 e 23 - Fonte: autor (2025) – Analisando a bateria, notamos que a carcaça apresenta estufamento e o polo demonstra sinais de derretimento, com orientação de dentro para fora. Essa situação indica uma pane causada por excesso de carga elétrica. Esse tipo de avaria acontece por superaquecimento, resultante de uma corrente muito alta ou de uma conexão mal feita, o que gera resistência elétrica em um ponto específico.

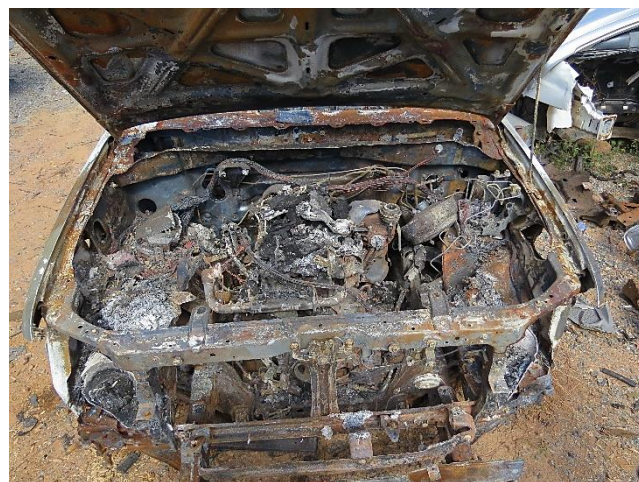


Figuras 24 e 25 - Fonte: autor (2025) – mostram uma gambiarra na parte elétrica, com fios mais finos do que o necessário e revestimentos derretidos pela ação térmica. A causa

do dano térmico é em decorrência de superaquecimento no terminal da bateria, provocado por uma ligação malfeita, frouxa e com muita resistência.

13.1.2 Da segunda fase

Nesta fase do estudo, vamos analisar ocorrências concretas de incêndios em veículos, que tiveram como causa problemas nas baterias automotivas ou acumuladores elétricos.



Figuras 26 a 29 - Fonte: autor (2025) – mostram compartimento veículo Frontier, danificado por incêndio, e compartimento do motor ocorreu a movimentação da bateria, por 5 cm (cinco centímetros) devido à ausência da trava / suporte.

Durante a análise, foi possível observar que a bateria estava desloca cerca de 5 centímetros dentro do compartimento do motor, consequência direta da ausência do

suporte ou trava responsável por mantê-la fixa. Esse detalhe, aparentemente simples, teve um papel crucial nos danos encontrados.



Figuras 30 a 33 - Fonte: autor (2025) – mostram compartimento veículo Frontier, danificado por incêndio, e compartimento do motor, onde ocorreu a movimentação da bateria, por 5 cm (cinco centímetros) devido à ausência da trava / suporte.

Ao inspecionar a fonte de energia, notamos que ela ainda não estava em seu local adequado, exibindo sinais óbvios de danos internos devido ao calor excessivo e a reações químicas intensas. O calor criado dentro da bateria causou o derretimento parcial das placas de chumbo, tornando-as mais duras e mudando sua estrutura. Além disso, observamos o acúmulo de resíduos e substâncias nocivas, resultado do tempo de uso e das reações químicas que ocorreram.

Entre os principais sinais, detectamos a presença de dióxido de chumbo (com cor marrom), óxido de chumbo (amarelo), pequenos orifícios causados pela liberação de gases (hidrogênio) e cristais esbranquiçados de sulfato de chumbo. Todos esses sinais são característicos do desgaste de baterias de chumbo-ácido expostas a condições inadequadas de fixação e conservação, como mostram os estudos sobre o funcionamento e defeitos desses dispositivos.

Essas provas reforçam a importância de manter a bateria sempre bem presa e de realizar inspeções regulares, para verificar as condições visuais da carcaça, vazamentos de material eletrolítico (ácido sulfúrico), inchaços, pois a movimentação excessiva e o envelhecimento podem acelerar processos de deterioração, causar curto-circuito e até mesmo colocar em risco a segurança do veículo.

Ao examinar a bateria do veículo, entramos em um verdadeiro laboratório de química, onde a reação termoquímica revela formações nas placas negativas: cristais com tons brancos e acinzentados (sulfato de chumbo) e depósitos amarelados (óxido de chumbo) que mostram o tempo de desgaste da bateria.

Durante o funcionamento normal da bateria, ocorre uma mistura química contínua que libera sulfato de chumbo. Com o tempo, esse composto se acumula e forma cristais nas placas de chumbo, como pequenas crostas que crescem a cada ciclo, perdendo flexibilidade e capacidade de armazenar energia. Quanto mais cristais se formam, mais difícil fica recarregar a bateria completamente. Após muitos ciclos de uso, esses cristais podem criar verdadeiras pontes entre as placas, causando curtos-circuitos e falhas completas.

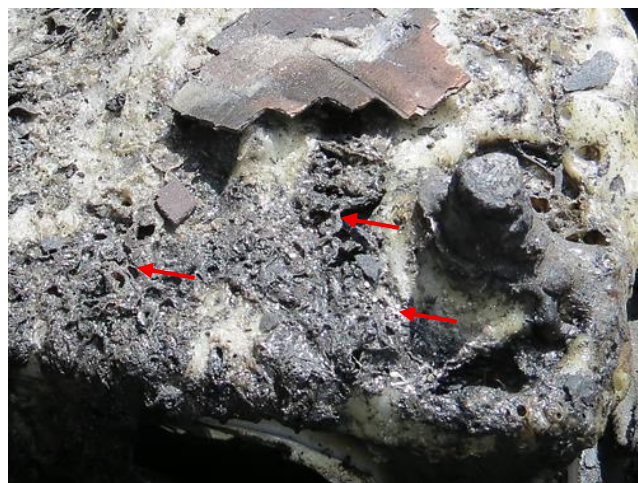
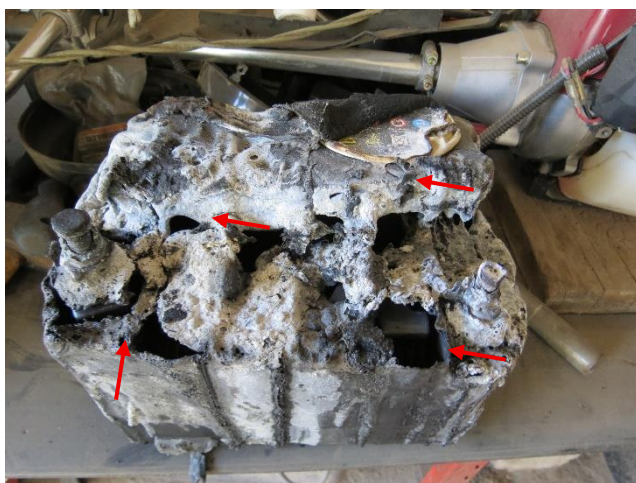
Nas imagens, a superfície do eletrodo negativo se parece com uma praia metálica onde moléculas de água se fixam. Quando aplicamos voltagem, algo incrível acontece: o hidrogênio atômico é liberado nessa superfície. Dependendo da intensidade da corrente elétrica, esses átomos de hidrogênio podem seguir caminhos diferentes - alguns se espalham pelo líquido da bateria (eletrólito), enquanto outros preferem ficar na superfície metálica, onde encontram outros átomos iguais e formam moléculas de H_2 , como demonstrado nos estudos de Oliveira (2018).

13.2 Consequências da Produção de Gás

Quando a bateria gera mais gás, notamos uma redução do eletrólito, quase como se a água estivesse sumindo aos poucos. Isso leva a um aumento gradual do ácido sulfúrico durante o uso. Estudos de Palov e colegas (2008) apontam que, quanto maior a concentração desse ácido, menor será a durabilidade da bateria.

Esse aumento do ácido não é o único problema; ele causa vários efeitos em sequência. As reações químicas internas se modificam, e o sulfato de chumbo age de forma distinta, dificultando a recarga. A estrutura interna começa a inchar, como uma massa que cresce demais. Surgem impurezas coloridas: o óxido de chumbo amarelado, o dióxido de chumbo marrom, e até vazamentos de ácido sulfúrico podem acontecer. Ao entrar em contato com metais menos resistentes no motor, esse ácido causa cristalizações que aceleram a corrosão.

Um ponto chave: a pureza do eletrólito é vital nesse processo. A presença de impurezas nesse líquido pode intensificar muito as reações que liberam hidrogênio, agindo como um catalisador indesejado que acelera o desgaste da bateria.



Figuras 34 e 35 - Fonte: autor (2025) – mostram parte externa das baterias com danos por queima interna e formação de microfuros, em decorrência da reação química e formação interna de gases inflamáveis (hidrogênio)

13.3 Da comparação técnica de queima externa e interna da bateria

Queima externa ação térmica



Queima interna reação química



Figuras 36 e 37 - Fonte: autor (2025) – mostram baterias com danos por origem externa e interna.

Uma análise detalhada das imagens revela, sem margem para dúvidas, que a bateria do veículo em questão sofreu danos consideráveis, resultado de um forte processo de deterioração interna. Logo de cara, na primeira imagem, notamos as placas totalmente deformadas pela ação do fogo, que as deixou maleáveis e esbranquiçadas

devido ao calor, além de muito fáceis de quebrar. Já a segunda imagem expõe placas derretidas, com um tom amarelado e depósitos esbranquiçados, sinais característicos de reações químicas avançadas no interior da bateria.

Percebe-se também uma superfície rugosa e disforme, com áreas da estrutura metálica exibindo bolhas e resíduos, o que aponta para um superaquecimento e derretimento dos componentes, provavelmente causados por um curto-circuito interno ou excesso de carga. Essa espécie de estrago geralmente é causada por defeitos nas placas de chumbo, que, ao reagirem quimicamente em altas temperaturas, soltam gases e originam cristais de sulfato de chumbo, que aparecem como pontos brancos na imagem.

Ademais, o agrupamento de resíduos amarelados (óxido de chumbo) e marrons (dióxido de chumbo) reforça a constatação de que o dano veio de dentro para fora, consequência de reações químicas descontroladas ao longo do tempo. Tal processo prejudica toda a estrutura da bateria, tornando-a dura, quebradiça e impossibilitada de cumprir sua função.

Em suma, a imagem mostra uma bateria que passou por um processo de combustão interna, com indícios claros de derretimento das placas, surgimento de resíduos químicos e perda completa das propriedades físicas do material – um cenário típico de falha grave decorrente de reação química interna, frequentemente intensificada pela ausência de cuidados ou condições de uso inapropriadas.

13.4 Dos cabos elétricos





Figuras 38 a 41 - Fonte: autor (2025) – mostram compartimento veículo Frontier, danificado por incêndio, e compartimento do motor cabo elétrico positivo e soquete com danos por ação térmica, com fusão, formação de perola e superaquecimento.

Ao analisar a imagem exibida, nota-se imediatamente um contexto comum de uma falha elétrica significativa relacionada ao cabo positivo de uma bateria de automóvel. O cabo, que possui uma espessura considerável, exibe indícios evidentes de um curto-circuito por perolamento e traço de fusão.

Entre os principais indícios, destacam-se:

- **Derretimento dos cabos elétricos:** O metal dos fios se fundiu, criando protuberâncias e bolinhas, uma consequência direta do calor intenso provocado pela corrente elétrica excessiva. Isso acontece quando a temperatura alcança ou ultrapassa o ponto de fusão do metal, resultando na completa alteração das características originais do fio.
- **Mudança na cor e aparência:** É notável uma grande diferença na tonalidade dos fios, que apresentam cores escuras, azuis e avermelhadas, juntamente com uma superfície áspera e cheia de bolhas. Tais sinais são comuns em situações de rápida oxidação e exposição a temperaturas muito altas.
- **Sujeira e acúmulo na superfície:** A existência de resíduos claros e escuros ao redor do cabo indica a emissão de gases e o depósito de substâncias químicas provenientes da deterioração do isolamento e do próprio metal.

- **Danos na estrutura do material:** O cabo já não é tão maleável e forte, ficando frágil e duro, o que mostra que suas qualidades físicas foram bastante afetadas.

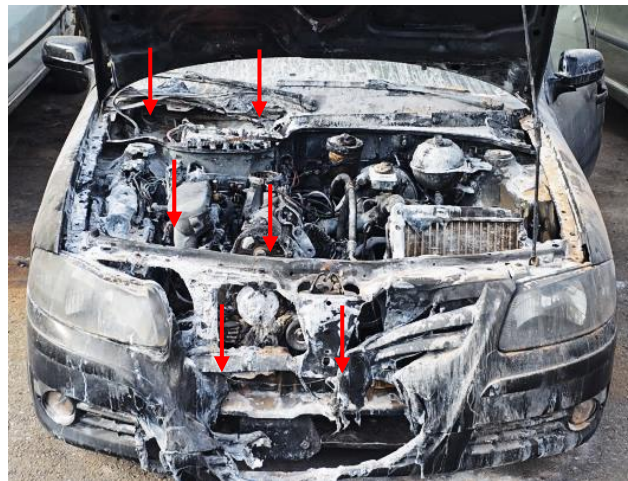
Uma pane acontece quando, em um sistema elétrico, a tensão nos pontos de início e fim da eletricidade se igualam, criando um caminho para a corrente sem resistência. [...] Assim, o fio que conduz a eletricidade esquentava bastante por causa do efeito Joule.”
Brasil Escola, 2022

O defeito em baterias com curto se dá por uma falha na parte elétrica que surge quando os polos positivo e negativo se conectam sem querer. Isso pode gerar muita corrente, aquecendo demais, estragando a bateria e, até mesmo, explodindo.”

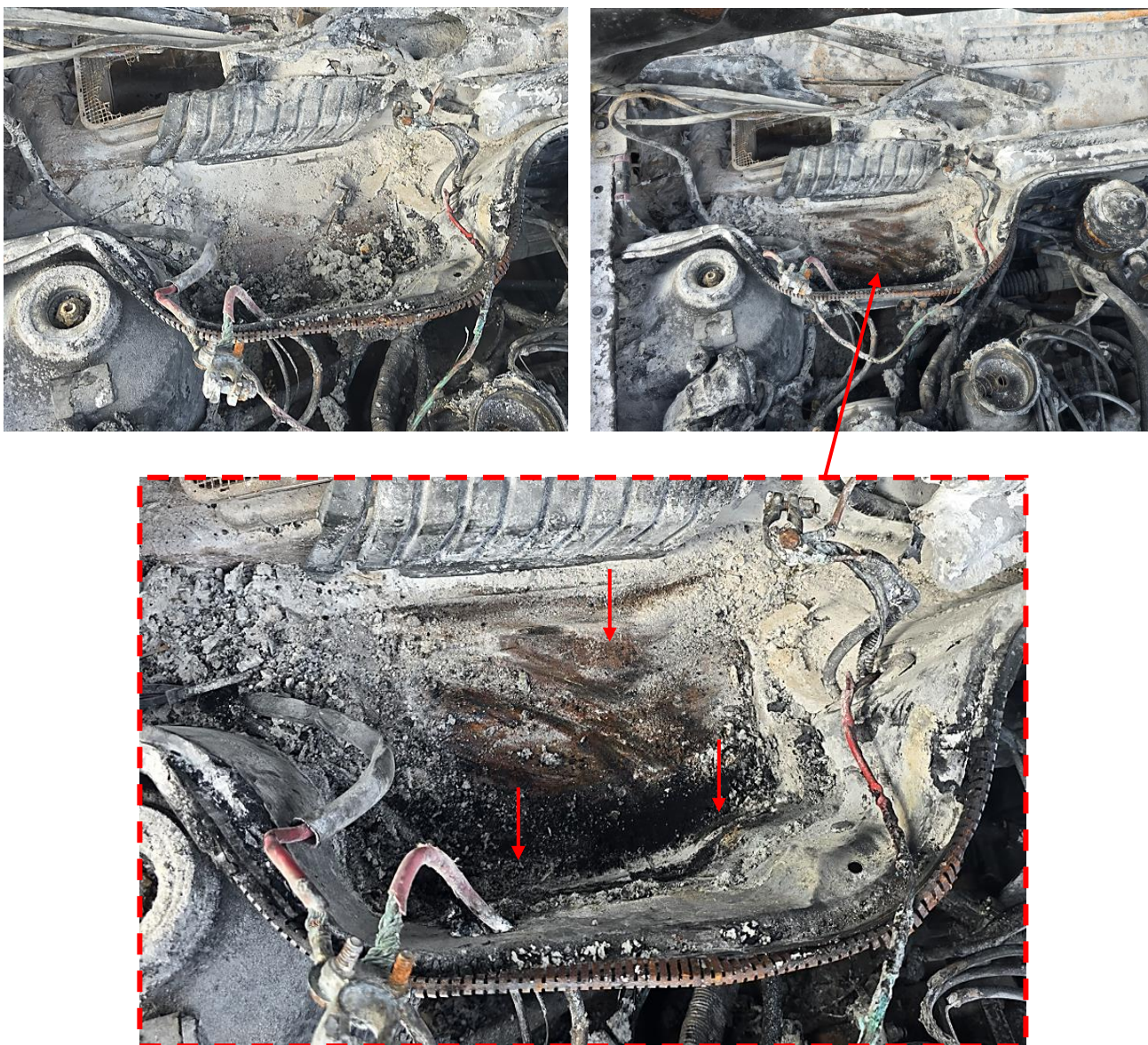
Hertzel Elétrica, 2024

Ademais, a NFPA 921 indica que, ao examinar danos em fios, deve-se procurar por partes derretidas, bolhas de metal ("pérolas") e perda das qualidades do material, sinais comuns de curto-circuito causado por arcos elétricos:

14 DO HABITÁCULO DO MOTOR



Figuras 42 e 43 - Fonte: autor (2025) – Setas vermelhas mostram motor com danos por queima e concentração do lado direito, com orientação de trás para frente.



COMENTÁRIOS DE ORDENS TÉCNICAS

Figuras 44 e 45 - Fonte: autor (2025) – Setas vermelhas mostram evidência técnica do compartimento da bateria danificado pela ação térmica, com carbonização, derretimento de isolamentos térmicos e resíduos de combustão, sendo constatados cabos expostos e vestígios de calor intenso concentrado na região de fixação da bateria.

Link probatório da ausência do suporte de bateria: <https://youtu.be/MZx1ImSAE3U>

14.1 Consequências técnicas da não utilização da trava de segurança:

Curto-Circuito Iminente: Caso a bateria se mova, os polos podem tocar em partes metálicas do veículo, gerando curto-circuito. Isso pode levar a incêndios, como mostram os sinais de calor e o material queimado na foto.

Problemas nos Fios e Conexões: O balanço contínuo pode quebrar ou desgastar fios, isolamentos e conectores, aumentando o perigo de problemas elétricos e acidentes.

Bateria Durando Menos: Trepidações e pancadas constantes aceleram o desgaste dentro da bateria, podendo quebrar as placas internas e vazar o líquido de dentro, produzindo gases que pegam fogo fácil (hidrogênio), o que diminui muito o tempo de vida dela.

Vazamento do Líquido da Bateria: Uma bateria que não está firme tem mais chances de vazar ácido sulfúrico, que pode estragar peças do motor e ser perigoso para a saúde e o meio ambiente.

Veículo Não Funcionando Direito: Se a bateria ou os fios estiverem danificados, o motor pode não ligar, os sistemas eletrônicos podem falhar e o veículo pode parar de funcionar de vez.

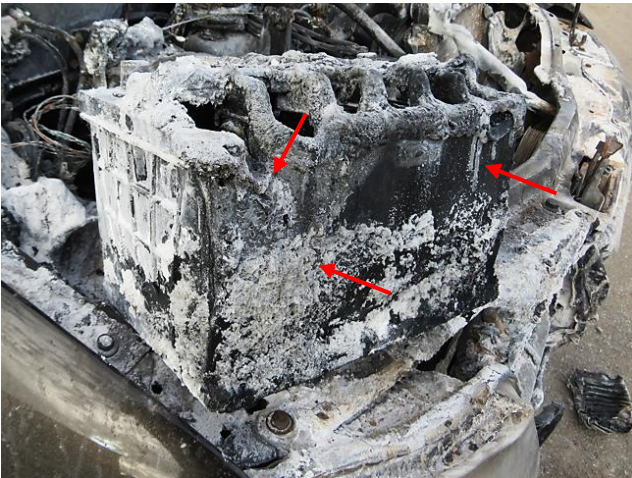
Perigo de Explosão: O hidrogênio que sai da bateria pode se acumular em lugares fechados. Se houver uma faísca ou um contato errado, pode haver uma explosão, principalmente se a bateria estiver solta e mal conectada.

Os manuais dos fabricantes exigem a trava de segurança para garantir que a bateria fique bem afixada, evitando que se mova e cause problemas elétricos e incêndios. Não seguir essa regra é considerado um erro grave na instalação, sendo frequentemente notado em investigações de incêndios em veículos.

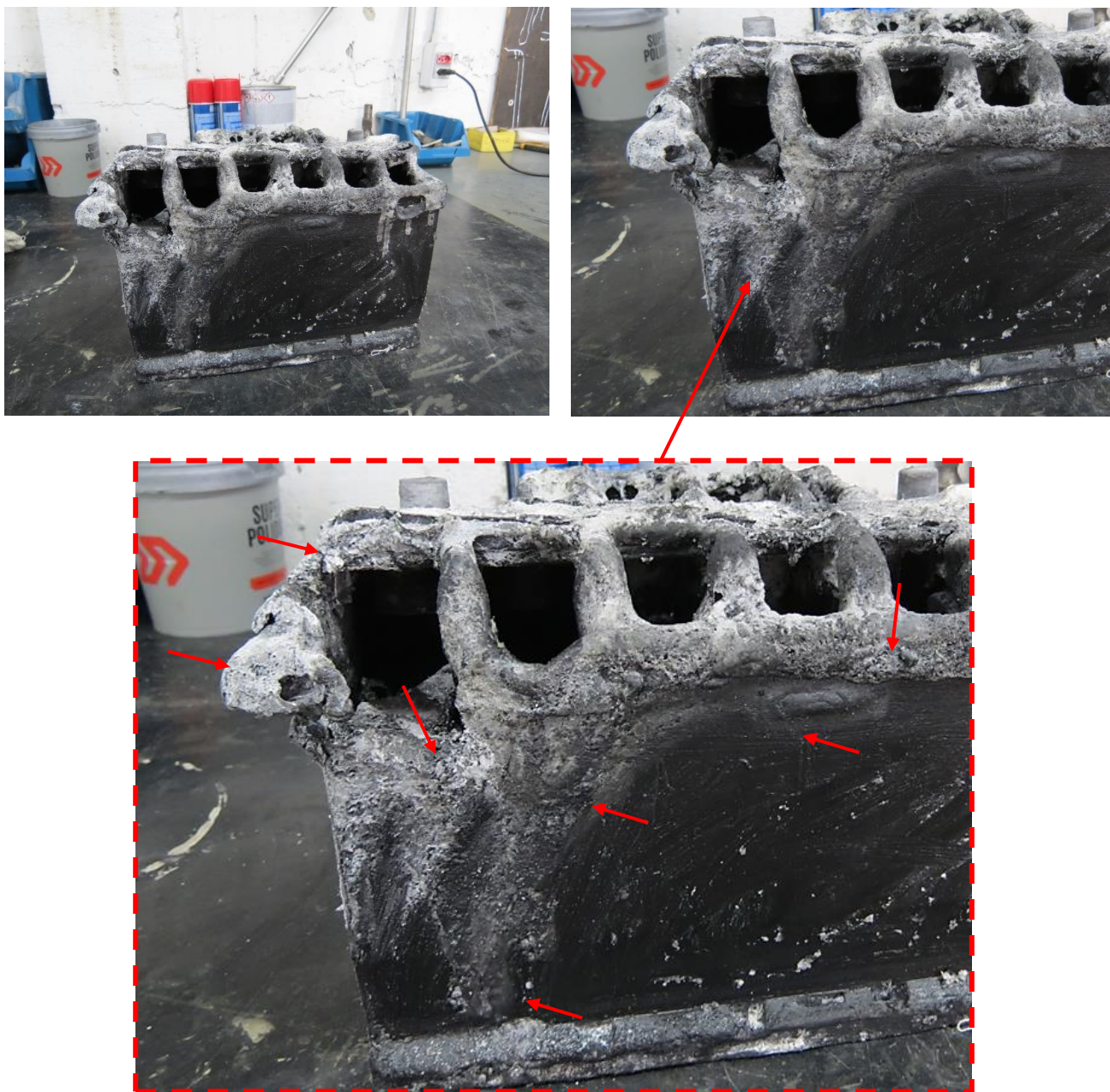
A NBR 15914, feita pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define as regras de segurança, os símbolos e as instruções obrigatórias para baterias de chumbo-ácido em veículos.



Figuras 46 e 47 - Fonte: autor (2025) – Setas vermelhas mostram polos positivo e negativo da bateria, sem anormalidades técnicas por derretimento.



Figuras 48 e 49 - Fonte: o autor (2025) – Setas vermelhas mostram bateria apresentando anormalidades técnicas por escoamento de material eletrólito, devido ao aquecimento interno.



Figuras 50 e 51 - Fonte: autor (2025) – Setas vermelhas mostram bateria apresentando anormalidades técnicas por derretimento dos vasos, da carcaça e estufamento lateral por formação de gases altamente inflamáveis (hidrogênio), em decorrência de curto-circuito interno, promovendo o vazamento severo do material eletrolítico e gerando sulfatação por lapso temporal devido à vibração e impactos excessivos, pela ausência do suporte de fixação, o que ocasionou a modificação termoquímica.

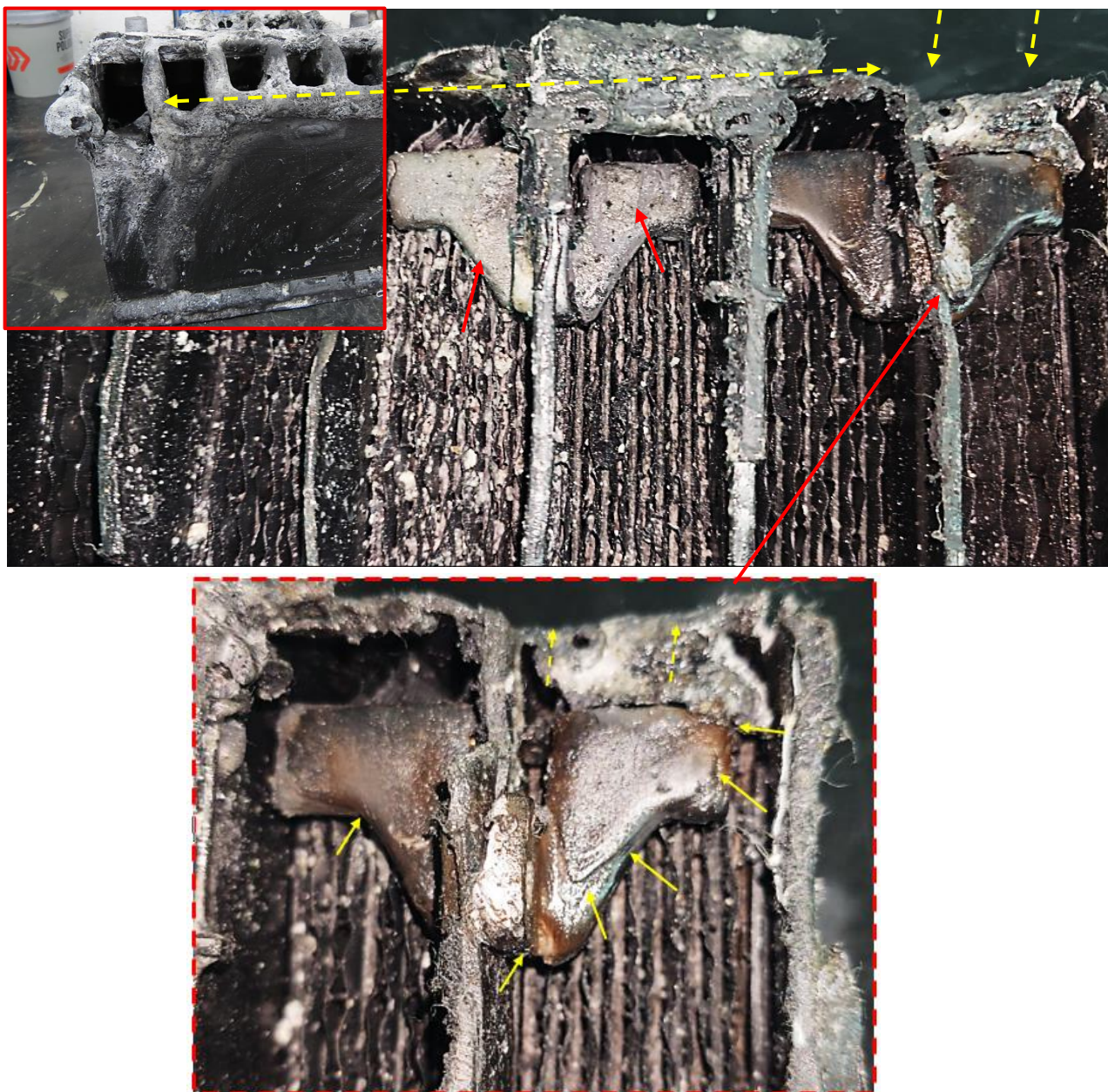
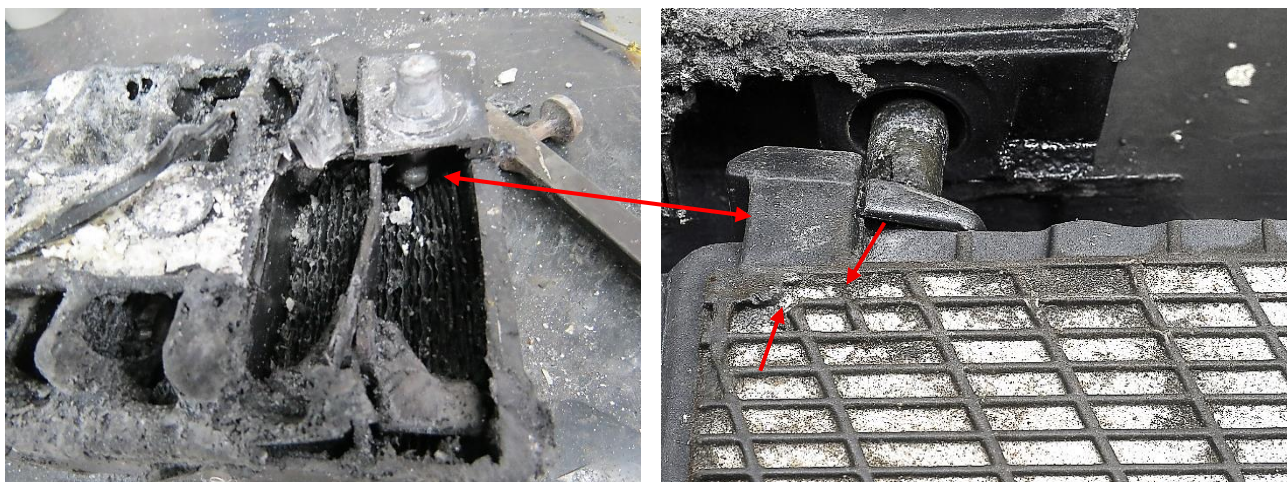


Figura 52 - Fonte: autor (2025) – Setas vermelhas mostram conectores das células sem anormalidades técnicas. **Setas amarelas tracejadas** mostram derretimento da carcaça. **Setas amarelas** mostram conector positivo apresentando anormalidades técnicas por superaquecimento, modificando as propriedades físico-químicas da estrutura.

- Placas internas com perda de material e sinais de corrosão avançada.
- Depósitos cristalinos, indicativos de vazamento e secagem de eletrólito.

- Deformação e escurecimento das conexões, sugerindo exposição a calor excessivo, possivelmente devido a curto-circuito ou sobrecarga.
- Estrutura interna comprometida, o que afeta diretamente a capacidade de armazenamento e fornecimento de energia da bateria.



Figuras 53 e 54 - Fonte: autor (2025) – Setas vermelhas mostram vaso/placa positiva da bateria apresentando anormalidades técnicas por ruptura na parte interna e ausência/ressecamento do material eletrolítico.

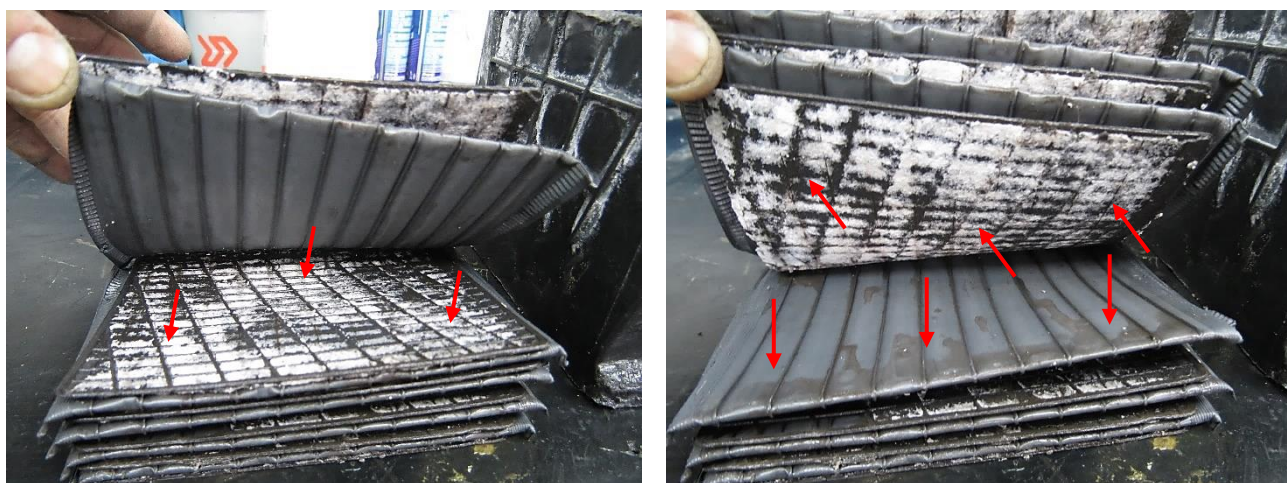


Figura 55 e 56 - Fonte: autor (2025) Setas vermelhas mostram vaso/placa positiva da bateria apresentando anormalidades técnicas por formação de material esbranquiçado (sulfato de chumbo).



Figura 57 e 58 - Fonte: autor (2025) – Setas vermelhas mostram anormalidades técnicas por descolamento das placas de chumbo do vaso positivo, evidenciando a degradação e ruptura parcial da estrutura.

Análise de uma placa positiva de bateria chumbo-ácido que se encontra bastante danificada, mostrando sinais claros de que sua estrutura não está mais intacta e de que o material ativo está se deteriorando. O estado atual da placa não atende aos requisitos de segurança e desempenho necessários para seu funcionamento adequado.

- Perda de material ativo (observa-se um pó branco na superfície), reduzindo a capacidade da bateria de gerar eletricidade;
- As grades de chumbo estão deformadas e tortas, provavelmente devido ao calor excessivo, uso intenso ou sobrecarga;
- A estrutura interna está exposta e possivelmente corroída, o que pode causar curtos-circuitos e diminuir a eficiência da bateria;
- As placas estão desalinhadas e amontoadas, indicando que a bateria sofreu um colapso interno.

14.2 Como a Química Atua

Em uma bateria de chumbo-ácido, a principal reação química envolve o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e as placas de chumbo (Pb) e dióxido de chumbo (PbO_2). Quando a bateria está descarregando:

- O chumbo (Pb) da placa negativa se junta aos íons sulfato (SO_4^{2-}), criando sulfato de chumbo (PbSO_4).
- O dióxido de chumbo (PbO_2) da placa positiva também reage com os íons sulfato, formando sulfato de chumbo (PbSO_4) e água (H_2O).

Ao recarregar a bateria, essas reações são invertidas, trazendo o chumbo e o dióxido de chumbo de volta às placas e refazendo o ácido sulfúrico na solução. Causas Técnicas da Sulfatação

A sulfatação acontece quando o sulfato de chumbo, criado ao descarregar a bateria, não se transforma totalmente de volta nas substâncias originais quando a recarregamos. Vários problemas técnicos podem causar isso:

14.2.1 Recarga Insuficiente

Se a bateria não carrega por completo, ou se só recebe cargas parciais com frequência, os cristais de sulfato de chumbo não se desfazem por completo durante a recarga. Isso faz com que eles se acumulem nas placas, causando a sulfatação.

14.2.2 Carga Excessiva ou Insuficiente

Carregar a bateria de forma incorreta, seja com carga demais ou de menos, pode levar à sulfatação. Se a corrente de recarga for fraca, não consegue quebrar os cristais de sulfato, enquanto o excesso de carga pode superaquecer, evaporando o eletrólito e desequilibrando as reações químicas.

14.2.3 Inatividade Prolongada

Se uma bateria fica descarregada por um longo período sem ser recarregada ou mantida em carga lenta, o sulfato de chumbo nas placas começa a se cristalizar de forma irreversível, tornando muito difícil sua reversão durante a recarga.

14.2.4 Eletrólito Pouco Concentrado

Se a solução de ácido sulfúrico (o eletrólito) estiver abaixo do nível ideal, a eficácia das reações químicas pode diminuir, favorecendo a formação de cristais de sulfato nas partes expostas das placas.

14.2.5 Temperaturas Muito Altas ou Baixas

Calor ou frio extremo podem mudar a velocidade das reações químicas dentro da bateria, incentivando o acúmulo de sulfato de chumbo. O calor evapora o eletrólito mais rápido, enquanto o frio deixa as reações de recarga mais lentas.

Consequências da Sulfatação

Quanto mais tempo esses cristais de sulfato de chumbo permanecem nas placas, mais difícil fica dissolvê-los. Com o tempo, eles se tornam permanentes, aumentando a resistência interna da bateria, diminuindo sua capacidade e eficiência, e, por fim, levando à sua completa inutilização.

As baterias automotivas, especialmente do tipo chumbo-ácido, estão sujeitas a uma série de falhas que comprometem seu desempenho e segurança. Entre os problemas mais recorrentes, a formação externa de zinabre (cristais esverdeados) nos polos positivo, negativo e soquetes dos cabos, bem como, destaca-se a sulfatação das placas internas, processo em que cristais de sulfato de chumbo (PbSO_4) se formam e aderem às superfícies condutoras, dificultando a reversibilidade eletroquímica e reduzindo significativamente a capacidade de carga. Segundo Linden e Reddy (2002), esse fenômeno se agrava quando a bateria permanece por longos períodos sem recarga ou é submetida a ciclos incompletos de carga, tornando o sistema propenso ao superaquecimento durante a operação.

O surgimento daquele depósito esverdeado (zinabre) nas baterias dos veículos acontece quando o ácido sulfúrico da bateria reage com o ar e os metais dos polos, principalmente se tiverem cobre. Essa sujeira, chamada zinabre, aparece como uma casquinha azul ou verde nos terminais e cabos, sendo feita basicamente de sulfato de cobre, mas pode ter outros sulfatos também.

14.2.6 Algumas formas que ajudam o zinabre a se formar são:

- Quando vaza ácido sulfúrico, seja porque tem muito eletrólito, o metal tem poros, rachaduras entre a caixa e o polo, ou o polo foi apertado demais.
- A umidade do ar, principalmente perto do mar, faz os terminais enferrujarem mais rápido.
- O calor e deixar o veículo parado por muito tempo também ajudam o zinabre a aparecer.
- A saída de gases da bateria, como hidrogênio, que se juntam com o ar e fazem as partes de metal enferrujarem.

Se o zinabre aparece, pode causar:

- Dificuldade para ligar o veículo por causa do mau contato elétrico.
- A bateria descarrega e os sistemas elétricos do veículo falham.
- Estraga a caixa de fusíveis e outras peças de metal perto da bateria se não for removido.

Dá para ver o zinabre facilmente, porque parece uma areia azulada ou uma crosta esverdeada nos polos e conectores da bateria.

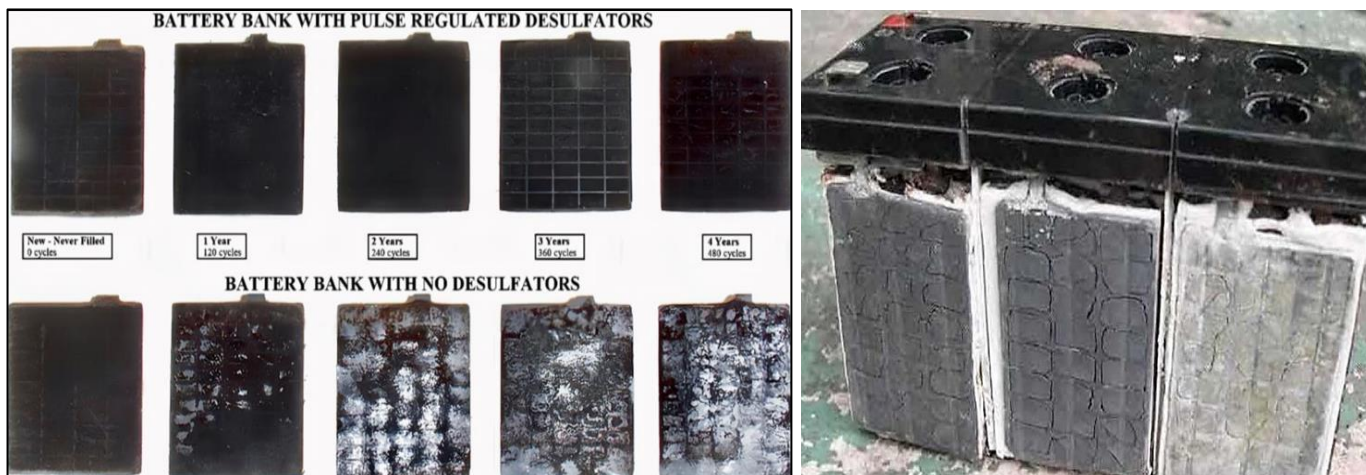
"O zinabre é aquela camada verde que surge em peças com cobre e outras ligas metálicas... Parece uma crosta de pó azul ou verde..."
<https://www.moura.com.br/blog/zinabre>

A **Figura 59** mostra o zinabre: uma crosta azul-esverdeada nos terminais da bateria. É importante desligar o veículo antes de limpar.



FONTE: <https://www.moura.com.br/blog/zinabre>

Outra falha crítica envolve o curto-circuito interno, geralmente causado por degradação dos separadores entre as placas ou por acúmulo de material condutivo no fundo dos vasos. Conforme Costa (2021), essas falhas geram corrente descontrolada, aumento súbito de temperatura e liberação de gases inflamáveis, como o hidrogênio, criando um ambiente altamente propenso à ignição espontânea. A continuidade do uso em tais condições pode levar à explosão da bateria ou ao início de focos de incêndio nos compartimentos próximos.



Fonte: <https://www.researchgate.net/profile/> (2025) Fonte: <https://www.fastbatt.net>

Figuras 60 e 61 - ilustra alguns dos danos típicos em baterias automotivas, como placas deformadas, curto-circuito interno e marcas de superaquecimento, conforme destacados por fabricantes e manuais técnicos especializados.

A oxidação dos polos e conexões também constitui uma falha comum e silenciosa. A presença de umidade e a má vedação dos terminais aceleram processos corrosivos que elevam a resistência elétrica nos contatos, provocando perda de eficiência e geração localizada de calor, fator determinante para o desenvolvimento de pontos quentes. Esse aquecimento pode, inclusive, comprometer a integridade dos cabos de alimentação e causar derretimentos de revestimentos isolantes (Cunha e Oliveira, 2019 p. 02).

A expansão da carcaça é outro sinal de falha operacional grave. Em situações de sobrecarga ou falha no sistema regulador de tensão do alternador, ocorre a eletrólise exagerada do eletrólito, acumulando hidrogênio no interior do invólucro. Ramos (2023) ressalta que a ausência de ventilação adequada ou de válvula de alívio em baterias seladas agrava esse quadro, resultando em deformações físicas que indicam risco iminente de explosão.

A instalação incorreta ou ausência de travamento da bateria contribui significativamente para falhas mecânicas. A vibração contínua e os impactos durante o uso veicular causam desgaste por atrito entre os componentes internos, rompimento das conexões intercelulares e microfissuras na caixa plástica. Segundo a ABNT NBR

14482(2017) item 2.2, o suporte fixador é essencial para garantir a estabilidade do acumulador de energia e sua ausência compromete a função estrutural da bateria, aumentando os riscos de curto-circuito e vazamento de eletrólito em ambientes críticos.

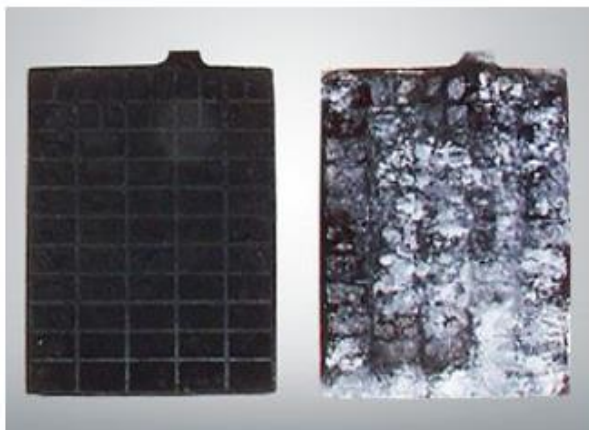
15 DIAGNÓSTICO PERICIAL DE CURTO-CIRCUITO E SULFATAÇÃO

A investigação pericial de baterias automotivas exige metodologia rigorosa e análise sistemática das condições físicas e eletroquímicas do acumulador de energia. O diagnóstico de curto-circuito interno é realizado, inicialmente, por observação macroscópica de deformações, derretimentos localizados nos vasos ou tampa, manchas escuras de carbonização e vestígios de material fundido. Segundo a NFPA (2021), esse tipo de dano é um dos mais perigosos por ser de rápida evolução, normalmente silencioso até o momento da ignição, e altamente destrutivo.

De acordo com Costa (2021), os indícios técnicos de curto-circuito são reforçados pela análise dos polos cátodos (positivo) e ânodo (negativo), cujas extremidades podem apresentar sinais de fusão, oxidação ou enrijecimento anormal devido ao aquecimento excessivo. A peritagem recomenda desmontagem controlada da bateria, quando possível, para inspecionar a integridade das grades de chumbo e a presença de resíduos condutores entre placas adjacentes, que indicam falha nos separadores ou infiltração de material metálico.



Fonte: Baterias Bosch - Figura 4



Fonte: <https://quizlet.com/ca/784676024/4b8-steve-exam-2-flash-cards/> - Figura 5

Figuras 62 e 63 ilustram visualmente os sinais típicos de sulfatação e curto-circuito interno em baterias automotivas, conforme discutido anteriormente. Tais evidências visuais são fundamentais para o diagnóstico pericial preciso dessas falhas.

A sulfatação, por sua vez, é diagnosticada por meio da coloração esbranquiçada nas placas, densidade eletrolítica reduzida e baixa reatividade química mesmo após tentativas de recarga. Segundo Linden e Reddy (2002), a presença de cristais de sulfato de chumbo (PbSO_4) representa um estágio avançado de degradação, causado por longos períodos de inatividade, sobrecarga sistemática ou funcionamento parcial. Esse tipo de falha compromete a eficiência do sistema e pode levar à ignição indireta por aquecimento localizado durante a recarga.

Para a Luffe (2025), o exame das placas internas pode revelar padrões de cristalização simétrica, indicando sulfatação natural, ou distribuições irregulares e endurecidas, sinalizando falha crítica por descarga profunda e ausência de manutenção. Em ambientes forenses, a identificação da sulfatação costuma ser associada à análise do histórico do veículo, da qualidade do alternador e do padrão de uso do proprietário, permitindo traçar o nexo causal entre o uso e a degradação do sistema.

Cunha e Oliveira (2019) afirmam que a conjugação de curto-circuito interno com placas sulfatas intensifica a propagação térmica do incêndio, visto que a resistência interna da bateria aumenta exponencialmente, elevando a temperatura em ciclos de recarga e descarga. A perícia, nesse caso, deve integrar dados visuais, elétricos e químicos, aliando inspeção física com o uso de instrumentos de medição e cruzamento de informações técnicas, para consolidar uma conclusão segura quanto à causa da ignição.



Figuras 64 e 65 - Fonte: autor (2025) – fragmentação da placa negativa de chumbo, o que promove o curto-circuito interno.



Figuras 66 e 67 - Fonte: autor (2025) detalha como se formam os cristais de sulfato de chumbo ($PbSO_4$) nas placas internas positivas da bateria (dióxido de chumbo). Esse surgimento revela um estágio já avançado do processo de sulfatação, ligado a um curto-circuito interno e também ao depósito de uma substância pastosa / borra de composição química complexa. Tal material consiste em resíduos originados da deterioração das placas, incluindo sulfato de chumbo ($PbSO_4$), óxido de chumbo (PbO), chumbo metálico (Pb), dióxido de chumbo (PbO_2) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), prevalecendo a cor marrom.

Para Broussely e Archdale (2004), a degradação com o tempo, as baterias de chumbo-ácido sofrem alterações químicas, como a criação de sulfato de chumbo

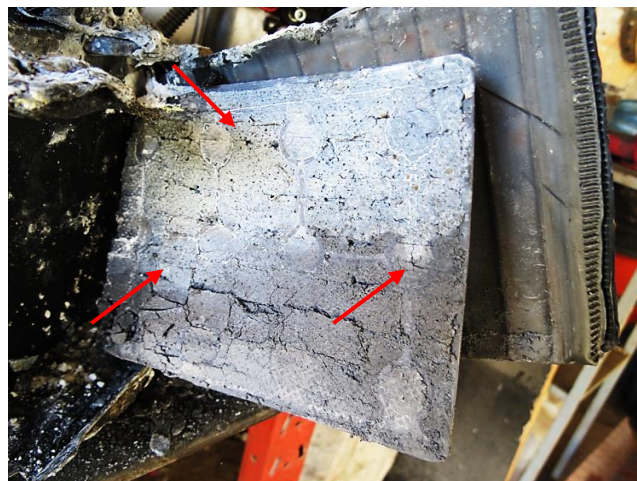
(PbSO_4), a diminuição da água, o desgaste dos componentes e o endurecimento do ácido.

Os principais componentes da química são:

- Chumbo sulfato (PbSO_4) é o principal composto formado durante a descarga;
- Dióxido de chumbo (PbO_2), a fonte da placa positiva;
- Chumbo esponjoso (Pb): a fonte da placa negativa;
- Chumbo Óxidos (PbO , PbO_3 , etc.) — subprodutos da oxidação e redução;
- Resíduos da eletrólise (H_2SO_4), reagidos ou absorvidos;

15.1 Fragmentos do material ativo das placas.

Este material é depositado na parte inferior da bateria e pode causar circuitos internos entre as placas, diminuição da capacidade de carga da bateria, aumento da resistência interna ou até mesmo falhas térmicas ou explosivas se houver ruído excessivo ou movimento brusco da bateria.

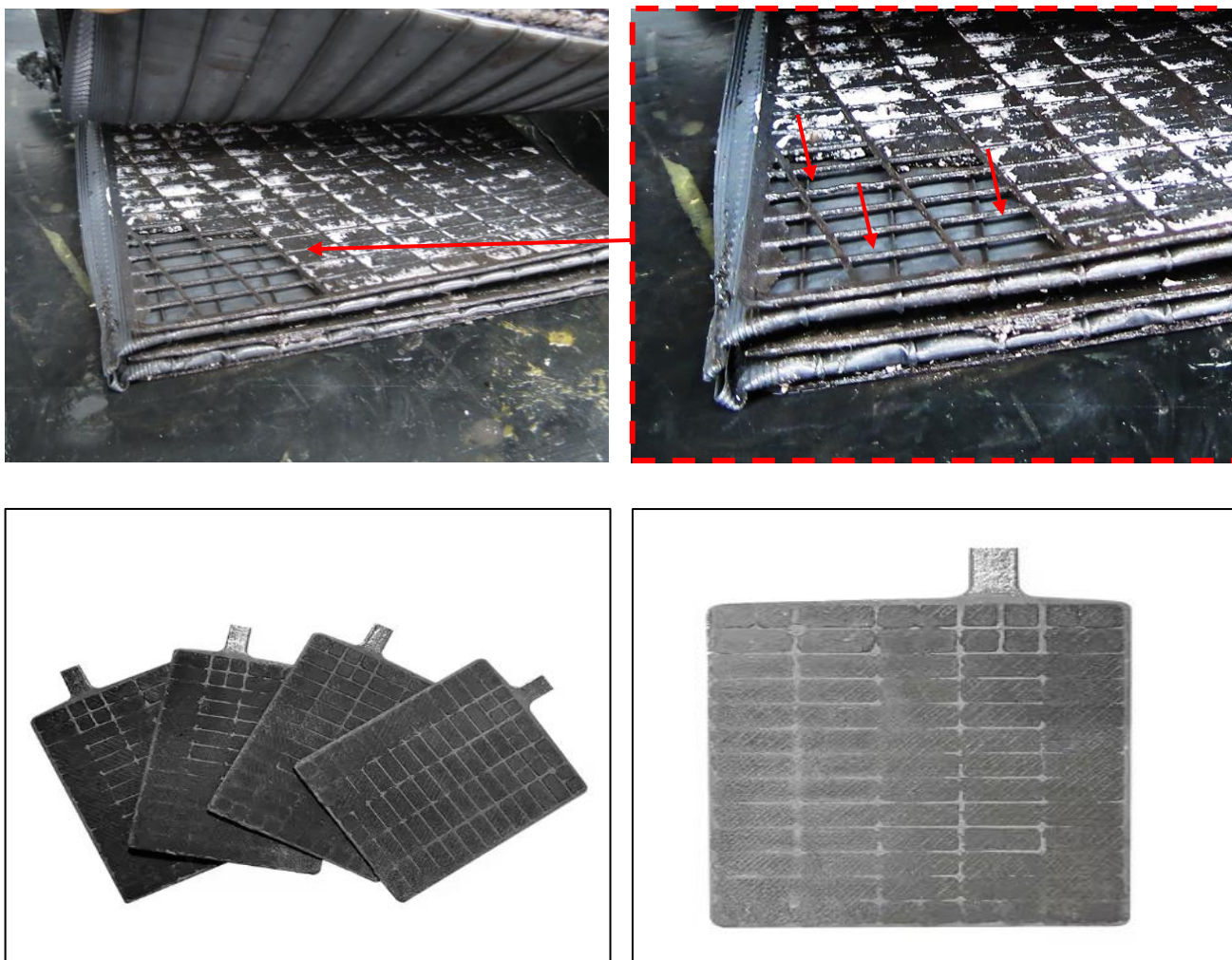


Figuras 68 e 69 - Fonte: autor (2025) - Formação de cristais de sulfato de chumbo em placas internas, indicando sulfatação avançada e curto-circuito.

Os fios de alimentação que partiam da bateria apresentavam derretimento localizado do isolamento, revelando a ocorrência de um curto-circuito progressivo, que

serviu como ponto de ignição do evento. Este foco térmico rompeu a barreira isolante, permitindo o contato direto com o material fibroso do forro de proteção do capô, o qual, ao entrar em combustão, facilitou a propagação vertical das chamas para a parte superior do motor. A dissipação térmica intensa contribuiu para o alastramento do fogo, conforme documentado na análise fotográfica e nos resíduos coletados.

15.2 Da comparação técnica



Fonte: Curso bateria Automotiva Bosch nível I e II / Análise físico-química / Imagem Google.

Artigo científico: <https://doi.org/10.29327/7547573>



16 DA PROVA PRÁTICA (DIA 15 DE MARÇO DE 2025) AUTOR:

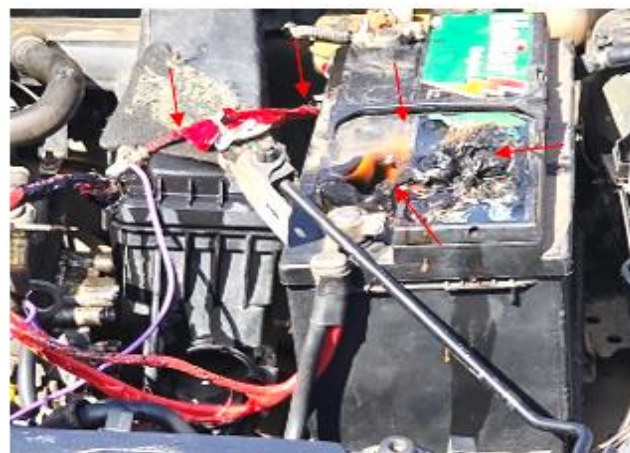
No dia 15 (quinze) de março de 2025 (dois mil e vinte e cinco), a prova prática teve início às 08h00min (oito horas), sob a coordenação do Engenheiro Thales Michel Molinari, em terreno situado na zona rural de Itajaí, no bairro Brilhante II. Os inscritos foram divididos em quatro grupos e tiveram como objetivo periciar dois veículos incendiados: um veículo Ford Ka, ano 2010, com queima total; e um Peugeot 206, ano 2010, com queima parcial. Os participantes foram incumbidos de identificar a zona de origem e, se possível, a causa do incêndio em cada um dos veículos. A atividade prática teve duração até as 10h30min (dez horas e trinta minutos).

Após a perícia de análise técnica em campo, os participantes retornaram ao auditório do Rotary Club de Itajaí-Porta do Vale. A apresentação dos resultados da prova prática ocorreu entre as 14h00min (quatorze horas) e as 16h30min (dezesseis horas e trinta minutos), **seguida de um debate aprofundado sobre as análises e conclusões apresentadas pelos grupos**. Os organizadores também expuseram detalhes sobre a dinâmica e as causas dos incêndios nos veículos utilizados na prova prática, proporcionando um rico ambiente de aprendizado.

Foram realizados testes **com geração e queima de hidrogênio, simulando vazamento em baterias de chumbo ácido**, permitindo a observação dos padrões de propagação do fogo e dos riscos associados a esse tipo de ocorrência.



- **(Peugeot 206, com queima parcial): Figura 70 e 71 - Fonte: autor (2025),** Neste veículo, que já apresentava queima parcial, mas com o motor íntegro, foram realizados testes com curtos-circuitos no motor e danos na bateria de chumbo ácido, gerando hidrogênio (fumaça esbranquiçada). Contudo, nenhum desses testes resultou em propagação de chamas, evidenciando a importância de outros fatores para o início e desenvolvimento de um incêndio.



- **(Peugeot 207 SW ano 2012 e 206): Figura 72 a 75 - Fonte: autor (2025),** foram realizados diversos testes forçados com curtos-circuitos, inclusive com o uso de uma bateria de maior capacidade que a original. Nesses testes, foi possível identificar que a bitola do cabo e dos materiais próximos (como borrachas e plásticos), ocorreu a geração de chamas que se manteve por um longo período e na sequência a carcaça da bateria entrou em combustão, gerando ignição.

Para verificação de padrão de queima de forma geral, um veículo Ford ka, foi incendiado sem utilização de material acelerante para verificação de danos específicos em acumulador de energia / bateria:



Figura 76 e 77 - Fonte: autor (2025), veículo Ford Ka, com danos por queima.

16.1 Do acumulador de energia / bateria

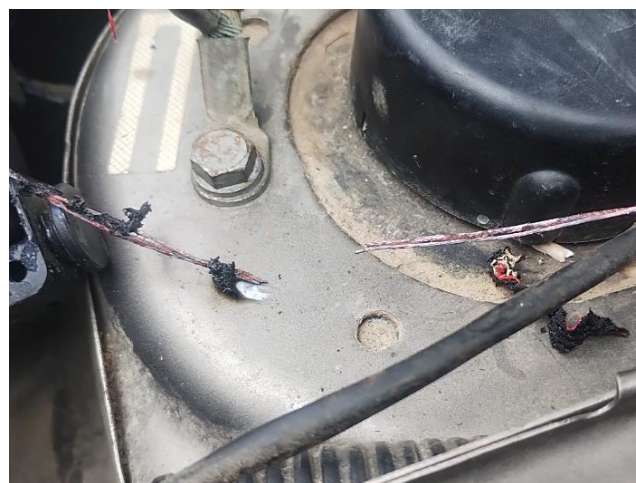




Figura 78 a 81 - Fonte: autor (2025), mostram partes internas das placas de chumbo da bateria, após queima total do veículo, onde apresentam fusão, curto-circuito interno e formação de contaminantes.

Durante o processo de queima, foi dada atenção específica à região do acumulador de energia (bateria), onde foram constatados danos térmicos compatíveis com exposição direta à fonte de calor e propagação subsequente, sem evidências de explosão ou ignição autônoma do referido componente. O experimento foi documentado em vídeo e acompanhado por testemunhas técnicas para fins de validação dos resultados.

16.2 Do curto-circuito



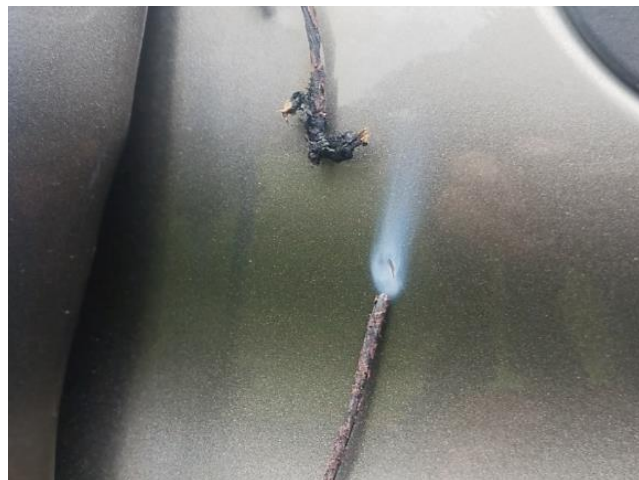


Figura 82 a 85 - Fonte: autor (2025): Teste foram realizados na fiação, para verificação da capacidade de aquecimento por resistência, condução e ruptura por arco, ocorrendo danos no isolamento e a perda de propriedades físicas materiais, gerando traço de fusão.

17 DO CURTO-CIRCUITO ADVERSO

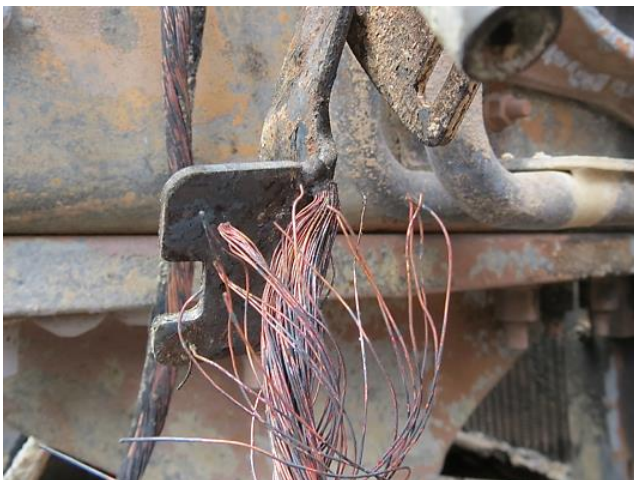
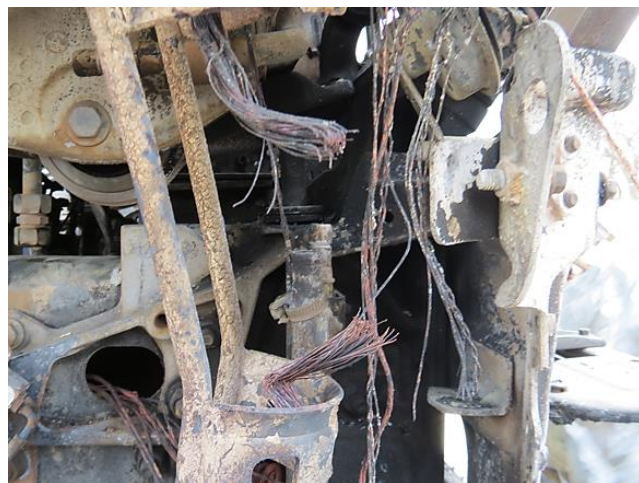


Figura 86 a 89 - Fonte: autor (2025) – mostram fiações positivas adversas com anormalidades técnicas por curto-circuito, por contato a massa / negativa, gerando traço e perolas de fusão, conforme preconiza NPFA 921 / 304 e 308.

17.1 Análise Técnica – Indício de Curto-Circuito:

17.2 Exposição dos Condutores:

A fiação está sem o isolamento, revelando os condutores internos de cobre.

Indícios de conexão direta com a estrutura metálica, o que representa curto-circuito entre o condutor positivo e a massa.

17.3 Fusão Térmica:

As imagens evidenciam fusões (esferas, gotas nos fios):

O circuito em estado energizado durante o contato, promoveu superaquecimento e modificação da coloração das estruturas na tonalidade avermelhada.

17.4 Oxidação e Deposição de Partículas:

A presença de sujeira e oxidação nos componentes metálicos e fios devido uma exposição prolongada à umidade e/ou evento térmico.

Os cabos apresentam indícios claros de carbonização severa típica de um arco elétrico sustentável, o que sustenta a ideia de curto intermitente em seus estágios terminal da fusão e perda de propriedades físicas materiais.

A imagem mostra potencial curto-circuito fonte de ignição, incipiente devido ao contato direto entre a fiação positiva e a estrutura negativa (massa do veículo). A falha apresenta-se em decorrência de desgaste mecânico ou má fixação da fiação, resultando na perda do isolamento e contato com a parte metálica, gerando sobrecarga. (NFPA 921 – *Guide for Fire and Explosion Investigations* (2021), Cap. 26.pg.308)

18 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO E PREVENÇÃO

18.1 Protocolos de Manutenção Preventiva

Para fazer com que as baterias do veículo durem mais, é crucial criar um plano de manutenção preventiva bem definido. Examinar visualmente como a bateria está presa a cada 5.000 km ou a cada três meses é muito importante para evitar problemas causados por batidas e trepidações. Checar os polos e os conectores com a mesma frequência ajuda a impedir panes elétricas que afetam o funcionamento do veículo. Limpar os polos a cada 10.000 km, mesmo que não seja tão constante, é fundamental para prevenir a corrosão, que pode aumentar bastante a resistência elétrica.

18.2 Verificação dos Níveis de Eletrólito

Para as baterias tradicionais, que não são do tipo selado, é fundamental checar o nível do líquido interno, algo que deve ser feito a cada dez mil quilômetros rodados ou a cada seis meses. Manter esse nível correto é superimportante para que as partes internas não estraguem e para que tudo funcione bem do ponto de vista químico. Olhar os visores que mostram o nível ajuda a perceber se algo está errado, permitindo que se corrija antes que o estrago seja grande demais. E, atenção: complete sempre com água destilada, para não sujar o líquido da bateria.

18.3 Medidas Preventivas Específicas

A adoção de estratégias de precaução distintas para cada classe de problema mostra resultados diversos, influenciados pela dificuldade de aplicação. Presilhas de suporte mais robustas mostram-se 95% eficazes ao evitar problemas causados por choques, sendo fáceis de instalar. O uso de bases de borracha antivibração alcança 90% de sucesso ao evitar falhas por trepidação, mas exige um esforço razoável para ser colocado em prática, já que necessita ajustes. A inspeção mensal do nível do eletrólito revela-se a mais bem-sucedida (95%) para evitar problemas por falta de manutenção.

18.4 Sistemas de Fixação Adequados

Criar e colocar em prática sistemas de fixação que funcionem bem é crucial para evitar problemas por causa de pancadas e trepidações. Esses sistemas precisam obedecer a regras rígidas sobre o aperto certo, o uso de peças que reduzem a vibração e a posição exata, seguindo o que o fabricante indica. Checar sempre os parafusos e apertá-los do jeito certo é muito importante para que tudo continue funcionando bem com o passar do tempo. Usar materiais que não enferrujam nas partes de fixação ajuda muito a aumentar o tempo de vida do sistema.

19 NORMAS TÉCNICAS E REGULAMENTAÇÕES

19.1 Normas Brasileiras

O Brasil conta com um sistema robusto de normas técnicas para baterias de veículos, e a ABNT NBR 15914 é a principal fonte de consulta para entender a simbologia e os critérios de segurança. Essa norma define os padrões básicos para a produção, identificação e montagem de baterias chumbo-ácido em veículos com quatro ou mais rodas. A NBR 15940 funciona como um complemento, trazendo especificações aprofundadas sobre os métodos de teste e avaliação do funcionamento. Por fim, a NBR 15745 uniformiza os termos usados no ramo, o que simplifica a troca de informações entre fabricantes, instaladores e consumidores.

19.2 Normas Internacionais

As diretrizes da SAE (Sociedade de Engenheiros Automotivos) fornecem referências globais para exames de trepidação e durabilidade sob condições severas. A SAE J2380 detalha métodos exatos para testes vibratórios, reproduzindo situações de uso real de um automóvel durante 160.934 quilômetros. A norma SAE J2464 trata de forma particular casos de uso indevido, englobando choques físicos, aquecimento excessivo e estados de descarregamento agudos e NFPA 921 (Guia para Investigações de Incêndio e Explosão) Capítulo 4 Metodologia Básica, para as investigações de incêndios.

20 TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

20.1 Tecnologias Emergentes

A criação de baterias automotivas de ponta, como as AGM, EFB e de modelos híbridos, proporciona uma maior capacidade de suportar os tipos de problemas analisados. As baterias AGM se destacam pela ótima tolerância a trepidações e batidas, resultado da fixação do eletrólito numa estrutura de fibra de vidro. As tecnologias EFB (Bateria Inundada Aprimorada) utilizam componentes adicionais nas placas negativas, o que aumenta a proteção contra a sulfatação e possibilita o uso em condição de carga parcial. Essas inovações são muito importantes para veículos com sistemas start-stop e grande consumo de eletricidade.

20.2 Sistemas de Monitoramento Inteligente

Com soluções de monitoramento avançadas, é possível identificar, logo no início, situações que podem resultar em problemas futuros. A inteligência artificial possibilita a análise de como os equipamentos são usados, das condições do ambiente e dos dados elétricos, prevendo falhas antes que elas causem grandes transtornos. Pesquisas atuais mostram que esses sistemas conseguem detectar o desgaste de baterias com dois ou três meses de antecedência, o que facilita a manutenção preventiva e a troca programada. Essa estratégia diminui bastante os gastos gerados por quebras repentinas.

21 RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

21.1 Para Fabricantes de Veículos

As montadoras precisam seguir regras bem firmes ao projetar como as baterias ficam presas nos veículos, usando materiais que não enferrujem fácil e garantindo que o tamanho seja adequado para aguentar a trepidação do dia a dia. O lugar onde a bateria fica guardada tem que ser fácil de abrir para dar uma olhada e fazer a manutenção quando precisar. Ao escolher as baterias, é importante pensar não só na parte elétrica, mas também em como elas se comportam quando algo dá errado, dependendo de onde o veículo vai rodar. Se o veículo for usado muito ou em lugares difíceis, investir em baterias melhores, como as de tecnologia AGM, pode valer a pena.

21.2 Para Proprietários de Veículos

É crucial que os donos de veículos criem um cronograma fixo para verificar visualmente a bateria e como ela está presa, seguindo as orientações de frequência. Manter o nível de líquido nas baterias tradicionais é superimportante e precisa ser feito todo mês se o veículo for muito usado. Limpar os terminais com produtos que combatem a acidez ajuda a evitar a ferrugem, que pode atrapalhar a parte elétrica. Se a ferrugem estiver muito forte, a caixa da bateria estiver torta ou as peças que a seguram estiverem ruins, é preciso resolver logo.

21.3 Para a Indústria de Baterias

Para enfrentar as fragilidades já mapeadas, o setor industrial precisa aplicar recursos em inovação e aprimoramento tecnológico, como no uso de componentes que minimizem a sulfatação e na criação de estruturas mais reforçadas. A criação de plataformas de acompanhamento contínuo pode enriquecer consideravelmente os produtos. Unificar os protocolos de comunicação desses sistemas de monitoramento tornaria a disseminação mais simples e diminuiria os gastos com criação. É fundamental que instaladores e técnicos de manutenção recebam treinamento especializado para otimizar o uso das novas tecnologias.

22 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Ao analisar os resultados obtidos neste estudo, é importante estar ciente de certas restrições. A pesquisa priorizou baterias de chumbo-ácido tradicionais, explorando menos as opções mais modernas, como AGM e EFB. A análise dos dados coletados pode conter imprecisões, já que problemas graves são mais frequentemente relatados do que a queda gradual no desempenho. Para confirmar os modelos de desgaste sugeridos, pesquisas futuras devem acompanhar os equipamentos por um período mais longo.

23 CONCLUSÕES

Estudos revelam que a maior parte dos problemas em baterias automotivas de chumbo-ácido surge de erros na instalação e nos cuidados diários como: Avarias nos polos ao apertar os conectores, montagens feitas de forma errada e falta de atenção visível pelo surgimento de zinabre (cristais esverdeados) que afetam a performance dos cabos e facilitam o aquecimento excessivo, curtos-circuitos e danos à estrutura / carcaça, onde em mais da metade das falhas vistas em veículos aparecem sendo a sulfatação a razão mais comum (35%), seguida pela corrosão nos polos (20%) e nível baixo do líquido interno (18%) o que promove a geração de borras químicas internas nas placas e separadores, promovendo a fragmentação de chumbo ativado da grade, o que promove alterações termoquímicas nos vasos internos, ocasionando superaquecimento dos polos e condutores (cabos) conectados, surgindo a ignição da queima térmica do material plástico volátil (revestimento dos cabos e carcaça da bateria).

Em relação à força e resistência, as baterias AGM levam vantagem por aguentarem melhor pancadas (nota 8/10) e trepidações (9/10) do que as normais (4/10 e 3/10, respectivamente), sendo uma boa escolha para situações mais pesadas e adversas. A vida útil ao longo do tempo depende muito de como ela é afixada e do ambiente: baterias afixadas de qualquer jeito mantêm só 42% da capacidade depois de quatro anos, contra 75% quando bem instaladas, conforme avaliação técnica. A perícia identificou que problemas em baterias podem se transformar em incidentes graves de incêndio, como ilustrado no caso analisado. A falta de fixação adequada, verificação diária, manutenções, sulfatação interna, a eletrólise com vazamentos e o acúmulo de gases (hidrogênio) geraram curto-circuito dentro da bateria, o que provocou a queima repentina no espaço do motor.

A análise seguiu as normas NFPA 921 (2021) e ABNT NBR 15914:2018, 14482:2017, confirmando a inconformidade técnica nas baterias que podem ser o ponto de partida de incêndios.

Desta forma, os achados mostram a necessidade de medidas de prevenção, para evitar incêndios automotivos onde deve.

- Utilizar baterias com válvulas de escape funcionando bem;
- Acompanhar a voltagem da recarga da bateria;
- Checar sempre as instalações elétricas;
- Usar suportes fortes e que sigam as normas;
- Treinar bem os profissionais de manutenção e perícia.

Em suma, fica claro que combinar o conhecimento técnico e de engenharia, o respeito às normas técnicas e uma manutenção bem feita conforme manual do fabricante é a melhor forma de evitar incêndios provocados por baterias de veículos. Esta pesquisa enriquece os estudos técnicos e de perícia ao destacar como é importante juntar diferentes áreas e agir preventivamente, mostrando que a perícia técnica é essencial para garantir a segurança e a justiça em casos de incêndios veiculares, em busca do nexo de causalidade.

24 REFERÊNCIAS

ADAC. *Pannensstatistik Jahresbericht*. Berlim: ADAC, 2024. Disponível em: <https://www.adac.de>. Acesso em: 22 abr. 2025.

BATTMOBILE. *Can a bad car battery affect the engine performance?* 2024. Disponível em: <https://battmobile.ae/blog/can-a-bad-car-battery-affect-the-engine-performance/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

BATERIAS HELIAR. *Detalhamento de normas CCA, C20 e RC e principais dúvidas*. YouTube, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=a-oHe8B5wmA>. Acesso em: 22 abr. 2025.

BATERIAS ROZINELI. *Dicas de como deve realizar manutenção da bateria automotiva*. Disponível em: <https://bateriasrozineli.com.br/noticias/2-dicas-de-como-deve-realizar-manutencao-da-bateria-automotiva-c-12>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CAMPEÃO DAS BATERIAS. *O impacto das baterias de veículo no desempenho do veículo*. 2024. Disponível em: <https://campeaodasbaterias.com.br/como-as-baterias-de-veiculo-impactam-o-desempenho-do-veiculo/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CHESELDINE AUTO. *Can a bad battery damage my vehicle*. 2024. Disponível em: <https://www.cheseldineauto.com/can-a-bad-battery-damage-my-vehicle>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CONTINENTAL BATTERY. *Por que as baterias de chumbo-ácido falham? 5 causas comuns de falha prematura de baterias*. 2025. Disponível em: <https://www.continentalbattery.com/blog/why-do-lead-acid-batteries-fail-5-common-causes-of-premature-battery-failure>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CRYSTAL INSTRUMENTS. *Four popular electric vehicle battery vibration testing profiles*. 2019. Disponível em: <https://www.crystalinstruments.com/blog/2019/8/27/four-popular-ev-battery-vibration-testing-profiles>. Acesso em: 22 abr. 2025.

DYOZU. *10 dicas para manutenção preventiva de sua bateria*. Disponível em: <http://dyozu.com.br/10-dicas-para-manutencao-preventiva-de-sua-bateria/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

EF AUTOMOTIVA. *Os riscos de andar com uma bateria fora dos padrões*. 2024. Disponível em: <https://efautomotiva.com.br/blog/diagnosticos/os-riscos-de-andar-com-uma-bateria-fora-dos-padroes-mantenha-seu-veiculo-seguro-e-confiavel/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ENGE CASS. *Confira 4 dicas de manutenção de bateria automotiva*. 2023. Disponível em: <https://blog.engecass.com.br/dicas-de-manutencao-de-bateria-automotiva/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ESTADÃO MOBILIDADE. *Como saber a hora de realizar a manutenção da bateria do veículo?* 2023. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/como-saber-a-hora-de-realizar-a-manutencao-da-bateria-do-veiculo/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

EVEN3. *O impacto das baterias automotivas como fonte de ignição*. 2025. Disponível em: <https://publicacoes.even3.com.br/preprint/o-impacto-das-baterias-automotivas-como-fonte-de-ignicao-5475737>. Acesso em: 22 abr. 2025.

FORTE BATERIAS. *Quais são os riscos associados a uma bateria de veículo defeituosa*. 2025. Disponível em: <https://fortebaterias.com.br/site/quais-sao-os-riscos-associados-a-uma-bateria-de-veiculo-defeituosa/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

HINSDALE AUTO. *Understanding auto battery issues and repair indicators*. 2024. Disponível em: <https://hinsdaleauto.com/understanding-auto-battery-issues-and-repair-indicators/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

INMETRO. *Requisitos de avaliação da conformidade para baterias*. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001770.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2025.

JP BATERIAS. *Como aumentar vida útil bateria automotiva: dicas e cuidados*. 2024. Disponível em: <https://jpbaterias.com.br/aumentar-vida-util-bateria-automotiva/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

JUSTOS. *Problemas na bateria do veículo: como saber se está descarregada?* 2023. Disponível em: <https://www.justos.com.br/blog/problemas-na-bateria-do-veiculo>. Acesso em: 22 abr. 2025.

KARHUB. *Suporte de fixação da bateria - universal*. 2025. Disponível em: <https://www.karhub.com.br/p/suporte-de-fixacao-da-bateria-universal-42332-7952909>. Acesso em: 22 abr. 2025.

LOURENÇO, F. *Estudo de confiabilidade de baterias de chumbo-ácido e o impacto do tempo de pátio na sua confiabilidade*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-15092010-154738/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

Mazda Field. (2014). Battery mount failure. Disponível em: Acesso em: 22 abr. 2025.

MDPI. *Lithium iron phosphate battery failure under vibration*. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2032-6653/15/12/548>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MERCADÃO DAS BATERIAS. *Quais os tipos de bateria automotiva?* 2024. Disponível em: <https://mercadaodasbateriaspr.com.br/quais-os-tipos-de-bateria-automotiva/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MIDTRONICS. *Addressing 5 battery problems heavy-duty vehicles can face*. 2024. Disponível em: <https://www.midtronics.com/blog/addressing-5-common-hd-battery-problems/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

TECNOLOGIA DE MINERAÇÃO. *Vibrações ruins: a causa comum de falhas de baterias na indústria de mineração*. 2019. Disponível em: <https://www.mining-technology.com/contractors/data/pressreleases/common-causes-battery-failure/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MOTOLITE. *Common car battery problems*. 2025. Disponível em: <https://www.motolite.com/blogs/news/car-battery-problems>. Acesso em: 22 abr. 2025.

NATAL BATERIA AUTOPEÇAS. *Fazer manutenção bateria automotiva passo a passo*. 2024. YouTube. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=9_eM8pZDIbs. Acesso em: 22 abr. 2025.

NORMAS.COM.BR. *NBR/NM > CB 005 automotivo > bateria automotiva*. 2019. Disponível em: <https://www.normas.com.br/produto/normas-brasileiras-e-mercosul/pesquisar/cb-005/automotivo/palavra/9243/1>. Acesso em: 22 abr. 2025.

QUALIBAT. *Problemas que uma bateria fora de conformidade pode causar no seu veículo*. 2023. Disponível em: <https://www.qualibat.org.br/blog/problemas-que-uma-bateria-fora-de-conformidade-pode-causar-no-seu-veiculo/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

QUALIBAT. *Segurança e padronização: a importância da NBR 15914 para a qualidade em baterias automotivas*. 2025. Disponível em: <https://www.qualibat.org.br/blog/seguranca-e-padronizacao-a-importancia-da-nbr-15914-para-a-qualidade-em-baterias-automotivas/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

RB BATTERY. *Exploring the varieties: types of lead acid batteries explained*. 2025. Disponível em: <https://www.rbbattery.com/articles-knowledge-base/exploring-the-varieties-types-of-lead-acid-batteries-explained>. Acesso em: 22 abr. 2025.

REDDIT. *Battery bracket broke and is caught under battery terminal*. Disponível em: https://www.reddit.com/r/autorepair/comments/uaknge/help_battery_bracket_broke_and_is_caught_under/. Acesso em: 22 abr. 2025.

REPARAÇÃO AUTOMOTIVA. *Baterias automotivas: as falhas por falta de conhecimento ainda são um grande problema*. 2023. Disponível em: <https://reparacaoautomotiva.com.br/2023/03/22/baterias-automotivas-as-falhas-por-falta-de-conhecimento-ainda-sao-um-grande-problema/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

SUBAXTREME. *Heavy duty battery hold down bracket*. 2022. Disponível em: <https://www.subaxtreme.com/shop/heavy-duty-battery-hold-down-bracket/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

SWIFT BATTERY SPECIALIST. *O impacto de uma bateria fraca na economia de combustível do seu veículo*. 2024. Disponível em: <https://swiftbatteryspecialist.sg/blog/impact-of-weak-battery-on-cars-fuel-economy/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

TARGET NORMAS. *Baterias para veículos devem obedecer às normas técnicas*. 2016. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/artigo-tecnico/2879/baterias-para-veiculos-devem-obedecer-as-normas-tecnicas>. Acesso em: 22 abr. 2025.

TARGET NORMAS. *A segurança de baterias chumbo-ácido de partida de veículos automotores*. 2018. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/artigo-tecnico/3409/a-seguranca-de-baterias-chumbo-acido-de-partida-de-veiculos-automotores>. Acesso em: 22 abr. 2025.

TARGET NORMAS. *ABNT NBR 15745 NBR15745: baterias chumbo-ácido para veículos automotores – terminologia*. 2024. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/41203/nbr15745-baterias-chumbo-acido-para-veiculos-automotores-terminologia>. Acesso em: 22 abr. 2025.

TARGET NORMAS. *ABNT NBR 15914 NBR15914: baterias tipo chumbo-ácido para uso em veículos automotores de quatro ou mais rodas – simbologia e requisitos de segurança*. 2024. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/42172/nbr15914-baterias-tipo-chumbo-acido-para-uso-em-veiculos-automotores-de-quatro-ou-mais-rodas-simbologia-e-requisitos-de-seguranca>. Acesso em: 22 abr. 2025.

TUDOR BATERIAS. *Defeitos comuns*. 2014. Disponível em: https://www.tudor.com.br/pt_br/produtos/automotiva-leve/defeitos-comuns. Acesso em: 22 abr. 2025.

ULI POWER. *Electric vehicle battery failure rates have dropped significantly*. 2024. Disponível em: <https://www.uli-power.com/news/electric-vehicle-battery-failure-rates-have-dropped-significantly/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

BRASIL ESCOLA. *Bateria de chumbo dos automóveis*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/bateria-chumbo-dos-automoveis.htm>. Acesso em: 22 abr. 2025.

BATTERY UNIVERSITY. *BU-808: How to prolong lithium-based batteries*. Disponível em: <https://batteryuniversity.com/article/bu-808-how-to-prolong-lithium-based-batteries>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CBM/DF – CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. *Artigo: Débora Chaves*. Disponível em: <https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/bitstream/123456789/73/1/1088>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CBMSC – CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. *Os desafios da perícia nos incêndios em veículos – Marcos Luciano Colla, Charles Fabiano Acordi*. Disponível em: <https://www.cbm.sc.gov.br/index.php/biblioteca/trabalhos-academicos/tcc-outros-cursos/category/86-cpi-curso-de-pericia-de-incendio-e-explosao-2015?download=637%3Aos-desafios-da-pericia-nos-incendios-em-veiculos-marcos-luciano-colla-1-charles-fabiano-acordi-2&start=20>. Acesso em: 22 abr. 2025.

DIALÉTICA. *Capítulo V*. In: _____. *Publicação Revista Editora Dialética*. 2025. p. 67.

DOI: 10.48021/978-65-270-7633-9-C5. Disponível em:

<https://drive.google.com/file/d/19t3mBtPJhIDJtEbh51SZMAAn1ggz9Wm/view?usp=drivesdk>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ENERSYS. *NexSys TPPL – Ciclo de vida AGM avançado*. Disponível em:

<https://www.enersys.com/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

HERTZ ELÉTRICA. *Problemas em baterias em curto-circuito: guia completo*. Disponível

em: <https://www.hertzeletrica.com.br/glossario/problema-baterias-em-curto-circuito-guia-completo/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

LOURÊNÇO, F. *Estudo de confiabilidade de baterias de chumbo-ácido e o impacto do tempo de pátio na sua confiabilidade*. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Automotiva) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Disponível em:

https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3149/tde-26122014-180708/publico/Tese_LourencoFabricio.pdf. Acesso em: 22 abr. 2025.

MM Cofap. *Manual de baterias estacionárias MM*. Disponível em:

<https://mmcofap.com.br/Arquivos/Manual-Estacionaria-MM.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MOURA. *Bateria em curto*. Disponível em: <https://www.moura.com.br/blog/bateria-em-curto>.

Acesso em: 22 abr. 2025.

POWER-SONIC. *The complete guide to AGM batteries*. Disponível em:

<https://www.power-sonic.com/blog/the-complete-guide-to-agm-batteries/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

REDWAY TECH. *Is a lithium battery better than an AGM?*. Disponível em:

<https://pt.redway-tech.com/is-a-lithium-battery-better-than-an-agm/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

REVISTA BRASILEIRA DE INCÊNDIOS

Revista técnica da ciência do fogo
Artigo Publicado Vol. 01 – Primeira Edição 21 julho 2025
Versão online www.revistabrasileiraincendios.com.br

SUPERPROFISSIONAIS BOSCH. *Plataforma de acesso*. Disponível em: <https://www.superprofesionalesbosch.com/br/plataforma/account>. Acesso em: 22 abr. 2025.

VICRON ENERGY. *AGM & GEL datasheet*. Disponível em: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-EN.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2025.

W.S.N. PERÍCIA. *Incêndio automotivo e transportes*. Disponível em: <https://www.wsnpericia.com.br/servicos/incendio-automotivo-e-transportes/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

SCRIBD. *Catálogo 2020 – Baterias Bosch Brasil*. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/459265772/Catalogo-2020-Baterias-Bosch-Brasil>. Acesso em: 22 abr. 2025.