

A QUÍMICA NA ROTINA DO BOMBEIRO MILITAR – ALGUNS DESTAQUES PARA A COMPREENSÃO DA SUA IMPORTÂNCIA

Marcel Silveira¹

<https://orcid.org/0009-0002-6695-8839>

Tadeu Luiz Alonso Pelozzi²

<https://orcid.org/0009-0006-1646-3773>

RESUMO

Este artigo propõe uma reflexão da importância do estudo da química na formação de bombeiros militares, assim como na educação continuada. Os conhecimentos de química estão em algumas atividades inerentes à profissão bombeiro militar como o combate a incêndio estrutural e florestal, operações com produtos perigosos, espaço confinado, resgate veicular e perícias de incêndio. Os conhecimentos específicos variam para cada área, mas tópicos como estudos da combustão, de combustíveis, de transferência de calor e de compostos orgânicos são comuns e imprescindíveis para todas as áreas. Neste trabalho são destacados alguns exemplos da química aplicada na carreira do bombeiro militar. Sabe-se da peculiaridade da atividade bombeiro militar em relação aos riscos, mesmo que calculado, em seu dia a dia. Contudo, quando se trata de produtos químicos os riscos aumentam quando procedimentos não são tomados em tempo hábil ou nem sequer tomados ou ainda quando ações são realizadas erroneamente. Um sólido conhecimento básico em química auxilia no desenvolvimento e aprimoramento da prevenção, proteção e resposta operacional.

Palavras-chave: Química; Carreira militar; Incêndios; Produtos perigosos; Educação continuada.

¹ Doutor em engenharia química. Laboratorista químico - Centro de Pesquisa e Inovação do CBMSC.

² Graduado em Química. Especialista em Administração em Segurança Pública com Ênfase na Atividade Bombeiro Militar. Chefe da Divisão de Investigação de Incêndio.

**THE CHEMISTRY IN THE DAILY ROUTINE OF A MILITARY FIRE
FIGHTER - KEY POINTS FOR UNDERSTANDING ITS
IMPORTANCE.**

ABSTRACT

This article proposes a reflection on the importance of the study of chemistry in the training of military firefighters, as well as in their continuing education. Knowledge of chemistry is required for some of the activities inherent in the military firefighting profession, such as fighting structural and forest fires, operations with hazardous products, confined space operations, vehicle rescue and fire investigation. Specific knowledge varies for each field, but topics such as combustion, fuels, heat transfer and organic compound studies are common and essential to all. This work highlights some examples of chemistry applied in the career of a military firefighter. The specific nature of military firefighting is well known in terms of the risks, albeit calculated, involved in their daily work. However, when it comes to chemical products, the risks increase if procedures are not carried out in time or at all, or if they are carried out incorrectly. A solid basic knowledge of chemistry helps to develop and improve prevention, protection and operational response.

Keywords: Chemistry; Military career; Fires; Dangerous products; Continuing education.

Artigo Recebido em 05/09/2024
Aceito em 22/12/2024
Publicado em 26/12/2024

1. INTRODUÇÃO

A preocupação da evolução dos combatentes do fogo, provavelmente, remete ao ano de 1666, quando um gigantesco incêndio em Londres tomou conta da cidade por 4 dias. Após esta fatídica ocorrência, desenvolveu-se uma bomba de pistão sobre rodas (Merrimack Fire Rescue, 2024). Este evento ocorrido há 358 anos é um exemplo histórico que nos traz uma observação sobre as ciências do fogo (destaca-se que, na época do grande incêndio de Londres, a própria química era incipiente como ciência, embora já se havia estudos de gases feito por Robert Boyle). Grandes perdas econômicas e vidas perdidas causadas por grandes incêndios são razões para constantes aperfeiçoamentos, revisões de protocolos, busca de maiores recursos tecnológicos, entre outros fatores que podem evoluir para que desastres não sejam repetidos ou que sejam drasticamente reduzidos em intensidade. Isto ocorre de maneira exemplar na aviação comercial: uma investigação é aberta a cada acidente ou quase acidente aéreo. A investigação pode levar a conclusões de mudanças de protocolos, atualizações nos treinamentos ou até mesmo a paralisação total do modelo de avião investigado por meses (Federal Aviation Administration, 2024).

Na filosofia, o aprendizado após experiências vividas é comumente associado ao empirismo. A corrente empirista tem como prerrogativa que o conhecimento do sujeito vem das suas experiências vividas, ou seja, o meio em que se vive influencia o desenvolvimento do ser humano (da Silveira, 2002). Nagel afirma peremptoriamente que, ainda hoje, o empirismo é a posição segundo a qual a experiência é a única fonte de garantia para afirmações acerca do mundo (Nagel, 2006, p. 235, apud Gava, 2016, p. 72).

Trazendo o empirismo para a atividade bombeiro militar, pode-se citar as diversas instruções normativas que definem a segurança contra o incêndio (SCI) levando em conta a particularidade de cada estado da federação. Após

um período de alguns anos, as instruções normativas são discutidas e atualizadas, em razão das experiências acumuladas em cima de inovações tecnológicas e aperfeiçoamentos a partir de falhas ou lacunas constatadas. Na atividade operacional, o atendimento pré-hospitalar é também um ótimo exemplo do empirismo aplicado. Atualmente, com base em dados obtidos a partir de diversas ocorrências envolvendo o uso do KED (Kendrick Extrication Device) em acidentes veiculares, discute-se sua eficácia em determinadas situações. Há também questionamentos sobre o risco de agravamento de lesões na coluna cervical devido à manipulação durante o procedimento, ressaltando a necessidade de mais pesquisas para avaliar a recomendação de seu uso (Bucher *et al.*, 2015).

Contudo, o conhecimento não pode ser construído apenas pelo empirismo. Esta vertente caminha com outra corrente filosófica do conhecimento que é o racionalismo. O racionalismo diverge do empirismo, pois a evidência de parte não é, de modo algum, a evidência sensível e empírica. Segundo essa corrente, os sentidos humanos enganam-se, suas indicações são confusas e obscuras, só as ideias da razão são claras e distintas. O ato da razão que percebe diretamente os primeiros princípios é a intuição (Descartes, 1999, p. 41, apud Portugal, 2002, p. 12). As ciências matemáticas, a lógica e ideias inatas (conceitos químicos, por exemplo, como substância) são exemplos de racionalismo. A lógica é uma ferramenta essencial para o bombeiro militar chegar a conclusões e resolver problemas durante uma ocorrência. Na atividade de resgate e salvamento, as decisões frequentemente precisam ser tomadas em questão de segundos. Não por acaso, muitos concursos, tanto militares quanto civis, incluem raciocínio lógico como parte do conteúdo programático das provas escritas.

2. VISÃO GERAL DA DISCIPLINA DE QUÍMICA PARA INGRESSO NA CARREIRA BOMBEIRO MILITAR

Em diversos concursos para entrar na carreira bombeiro militar há como pré-requisito conhecimento básico de química. Para se ter um panorama nacional sobre quais concursos estaduais se exige o conhecimento de química, realizou-se um levantamento através das páginas oficiais das instituições e na ausência de dados, consultou-se páginas especializadas em concursos públicos para se ter acesso ao edital. A Tabela 1 expõe os estados da federação que exigem na prova objetiva questões da disciplina de química.

A maioria dos estados brasileiros julga importante incluir o conhecimento químico já na etapa de eliminação via prova objetiva. Um dado interessante a ser destacado é a diferença entre o conteúdo das provas objetivas entre as carreiras de praça e oficial. Os estados de Alagoas, Amazonas, Goiás, Paraíba, Pernambuco, Rio de Janeiro, Sergipe, São Paulo e Tocantins exigem a disciplina de química em suas provas para a carreira de oficialato, apenas. Aqui cabe uma reflexão: se levarmos em consideração que soldados e cabos são elementos de execução, e que esses elementos atenderão a população como resposta primária, não seria fundamental também a inclusão de, ao menos, noções de química já no certame de seleção? Se o aluno-soldado estuda química ao longo de seu curso de formação em algumas matérias como combate ao incêndio e produtos perigosos, qual a razão da diferença exigida para as duas carreiras?

Tabela 1. Concursos estaduais para ingresso na carreira militar em que se exige disciplina de química na prova objetiva.

Estado	Ano do edital	Carreira	Exigência
AC	2022	Praças	Sim
	2015	Oficiais	
AL	2021	Oficiais	Sim
	2021	Praças	Não
AM	2022	Oficiais	Sim
	2022	Praças	Não
AP	2022	Praças	Sim
	2012	Oficiais	
CE	2013	Praças	Sim
	2013	Oficiais	
DF	2016	Oficiais	Sim
	2016	Praças	
BA	2022	Oficiais	Não
	2022	Praças	
ES	2022	Praças	Sim
	2018	Oficiais	Não
GO	2022	Oficiais	Sim
	2022	Praças	Não
MA	2012	Praças	Sim
	2023	Oficiais	Sim
MG	2024	Oficiais	Sim
	2024	Praças	Sim
MS	2022	Praças	Sim
	2022	Oficiais	Sim
MT	2022	Praças	Sim
	2022	Oficial	Sim
PA	2023	Praças	Sim
	2023	Oficiais	Sim
PB	2023	Praças	Não
	2022	Oficiais	Sim
PE	2023	Oficiais	Sim
	2023	Praças	Não
PI	2023	Praças	Não
	2014	Oficiais	
PR	2020	Praças	Sim
	2023	Oficiais	
RJ	2024	Oficiais	Sim
	2014	Praças	Não
RN*	2022	Praças	Sim
	2017	Oficiais	
RO	2022	Oficiais	Não
	2022	Praças (temporário)	
RR	2013	Oficiais	Sim
	2013	Praças	
RS	2018	Oficial - Capitão	Não
	2017	Praças	
SC	2022	Praças	Sim
	2022	Oficiais	
SE	2023	Oficiais	Sim
	2023	Praças	Não

SP	2024 2021	Praças Oficiais	Não Sim
TO	2022 2022	Oficiais Praças	Sim Não

*Prova usa o termo “ciências exatas”.

Também é interessante o caso do estado de Espírito Santo. Encontrou-se para a carreira de praças a disciplina de química na prova objetiva do concurso público, mas sem essa exigência para o oficialato. Entretanto, o edital do CFO-ES mais recente disponível é de 2018, para o curso de formação de soldados é de 2022. Logo, é possível que haja alterações para futuros concursos. Observa-se que concursos nos estados da Bahia, Piauí, Rondônia, e Rio Grande do Sul não relatam na ementa da prova objetiva disciplina de química em quaisquer carreiras. Nota - seque é para a carreira de praças que não se exige conteúdos de química no certame de seleção em maior proporção. Entre os 26 estados brasileiros e o Distrito Federal, 48% dos concursos públicos para ingresso na carreira militar de praças exigem conhecimentos em química. Já para a carreira de oficiais, esse percentual sobe para 81%.

Estes dados nos indicam uma tendência para a inclusão de conhecimentos de química no certame de seleção para a carreira bombeiro militar dentro do oficialato, independente de o estado exigir curso superior ou não ou se há exigência de formação em bacharel em direito para o oficialato. Já para a carreira de praças, os quais são os primeiros combatentes, resgatistas ou socorristas na cena, não temos nem a metade dos estados com esta exigência.

3. ALGUNS DESTAQUES DA QUÍMICA NOS INCÊNDIOS

Combater um incêndio é combater a um fogo descontrolado. Mas o que é o fogo? O fogo possui massa? Qual a sua origem e seu comportamento diante do que está sendo queimado? E, finalmente, o que seria o “combater ao fogo”? Tais questionamentos são respondidos com química básica, vista ao longo do ensino médio. O fogo não possui estado físico, não possui massa. É comum associar que todo fogo é o resultado de uma combustão, e nesse processo há o desprendimento de luz e calor (liberar calor e emitir luz é uma definição muito encontrada em materiais didáticos para definir fogo). Entretanto, nem toda combustão emite luz e calor sob a forma de chamas. Um exemplo é a oxidação do ferro (Eq. 1)



Esta oxidação é uma combustão lenta e que enfraquece o produto metálico composto de ferro (adentrar em um incêndio onde se observa o aço estrutural exposto com algum grau de corrosão é um perigo iminente de instabilidade da estrutura da edificação). Um fator importante para a diferença de ocorrer chama ou não é a cinética da reação. Essa cinética afeta diretamente as operações que bombeiros militares atuam. A oxidação de uma página de um livro pode ocorrer ao longo de anos de exposição aos raios solares. A oxidação em uma combustão de um gás, em geral, ocorre em uma velocidade maior que em líquidos. Logo, a partir do momento em que há vazamento de gás inflamável em alguma ocorrência de incêndio que estava sob controle da guarnição, a natureza da ocorrência se altera drasticamente. A oxidação extremamente rápida de um gás inflamável pode favorecer a liberação repentina de energia que resulta em pressões potencialmente perigosas. (CBPMESP, 2004; O'Connor, 2023). O bombeiro militar não precisa saber de imediato se o gás em questão é inflamável ou não, mas deve saber

que os riscos inerentes ao estado físico gasoso são maiores, portanto, muda-se a estratégia de combate ao incêndio.

Ainda sobre oxidação, aprende-se no ensino médio que existem combustões completas e incompletas. As combustões completas são caracterizadas por apenas ter produtos o dióxido de carbono (CO_2) e água. Para o bombeiro, os riscos à saúde a longo prazo estão associados às combustões incompletas. Esses processos geram compostos adicionais além dos produtos da combustão completa, sendo o mais conhecido o monóxido de carbono (CO). Diferentemente do dióxido de carbono, o qual em baixas concentrações tem pouco efeito toxicológico (Langford, 2005), o monóxido de carbono (CO) apresenta uma taxa de mortalidade que varia de 1 a 3% em pacientes intoxicados por CO nos Estados Unidos. Um número significativo de pacientes que sobrevivem ao envenenamento por CO sofre de sequelas neurológicas e afetivas de longo prazo (Rose *et al.*, 2017). Alguns são mais tóxicos do que os compostos originais que estão a ser oxidados, como os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), dioxinas e furanos (Vallero, 2020). Essa reação, por exemplo, pode ocorrer quando a mistura de combustível e comburente não é adequada ou quando a temperatura mínima para que o combustível se oxide é menor que a ideal.

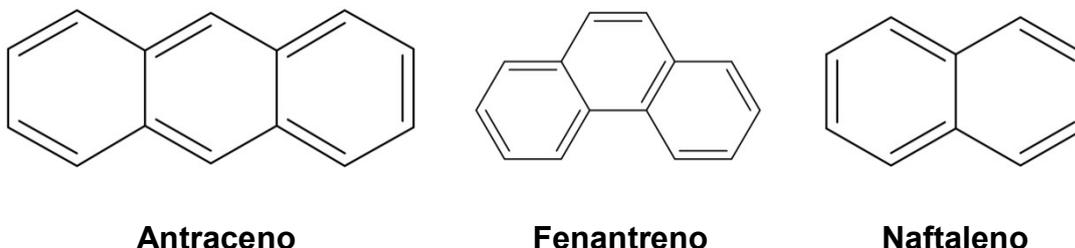
Os incêndios tendem a produzir queimas completas ou incompletas? Em um estudo realizado por Da Mata *et al.* (2020) simulando incêndio em containers, os autores observaram que a máxima temperatura no compartimento atingiu 883°C . Contudo, um dado interessante obtido foi a diferença das temperaturas registradas entre os termopares usados no estudo. A menor temperatura do incêndio foi registrada no termopar inserido a 80 cm do solo, cuja temperatura registrada foi 600°C menor que a máxima. Quando se deseja a combustão completa de um material em ambiente industrial é utilizado ar em excesso. Para combustíveis sólidos o excesso de ar deve se situar entre 30 e 60 % maior que a quantidade de ar teórica (Lopes, 2003).

Toma-se como exemplo a queima da madeira: a primeira combustão, após a expulsão da umidade, ocorre acima de 280°C e vai até 480°C, aproximadamente. Nesse estágio, também são liberados diversos compostos pela combustão incompleta da madeira como o metano e o metanol. Para a combustão completa, há necessidade de temperaturas maiores de 590°C e com fornecimento de ar suficiente (Vogel, 2005). Em um incêndio há um consumo grande de oxigênio para se ter uma quantidade de ar atmosférico suficiente para a combustão completa, mesmo em regiões próximas do solo (80 cm), conforme estudo de Da Mata citado anteriormente, a quantidade de oxigênio pode ser drasticamente diminuída pelo acúmulo de gases oriundos da combustão e pela ventilação deficiente da estrutura física da edificação.

Compostos orgânicos voláteis como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), bifenilos policlorados (PBCs), entre outros compostos inorgânicos como ácido cianídrico são altamente tóxicos e comumente encontrados em incêndios (Brandt-Rauf et al., 1988; Bolstad-Johson et al., 2000; Schechter et al., 2002; Eldeman et al., 2003; Shaw et al., 2013). Seguem abaixo alguns destaques sobre alguns compostos gerados na combustão incompleta.

i) Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos - HPAs. Os HPAs são formados durante a combustão incompleta de matéria orgânica em altas temperaturas. As principais fontes incluem escapamentos de veículos, incineração de resíduos, queima de madeira doméstica, e incêndios florestais (Garcia-Jarez, Barro; Llompart, 2012; Moorthy; Chu; Carlin, 2015). Os HPAs constituem a maior classe de produtos químicos causadores de câncer e ocupam o nono lugar entre os compostos químicos que ameaçam os seres humanos (Ifegwu; Anyakora, 2015). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos considera como prioritários 16 HPAs para estudos ambientais. A Figura 1 exibe a estrutura molecular de três deles (Environmental Protection Agency – US EPA, 1998).

Figura 1. Exemplos de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos.



Fonte: Estrutura feita no site molview.org.

Um estudo realizado por pesquisadores alemães (Taeger et al., 2023) em 77 bombeiros de 3 cidades alemães concluiu que ocorreram maiores absorções de HPAs em combatentes em incêndios de interiores equipados com EPI/EPR quando comparado ao período anterior ao incêndio. A maior absorção desses compostos ocorreu em um bombeiro atuando em um incêndio sem equipamento de proteção respiratória. Este bombeiro atuou fora da área do perigo imediato ao incêndio por um intervalo de 30 minutos. Combatentes que atuaram em incêndios ao ar livre ou em veículos não apresentaram aumento médio das concentrações de HPAs no organismo, somente para incêndios em edifícios residenciais foi observada uma mudança estatisticamente significativa nas concentrações medianas. A exposição a HPA foi reduzida, mas não extinta, com a utilização da proteção respiratória, sugerindo que a absorção dérmica ocorre. Houve casos durante o combate ao incêndio em que as concentrações excederam os níveis de referência utilizados na Alemanha. Portanto, a possibilidade de um risco individualmente aumentado de câncer devido ao combate a incêndios não pode ser descartada.

ii) Bifenilos policlorados – PCBs. Esses compostos apresentam evidências suficientes para o desenvolvimento de melanoma em humanos (Cao *et al.*, 2019). Há evidências epidemiológicas e toxicológicas disponíveis

para associar a atividade de bombeiro e desenvolvimento de melanoma devido à exposição a esses compostos. O melanoma foi reconhecido pelo Serviço Norueguês de Trabalho e Bem-Estar como uma doença ocupacional em um bombeiro após 33 anos de serviço (Brinchmann, 2022). Os PCBs são usados como aditivos em tintas, em isolantes, em borrachas, em resinas sintéticas ou em revestimentos retardantes de chama devido às suas propriedades de não inflamabilidade, estabilidade e altas constantes dielétricas (OMS, 2023; apud Fiolet *et al.*, 2021). Vistas estas aplicações em materiais comumente encontrados em incêndios, permite-nos observar a importância da proteção respiratória em incêndios, inclusive em rescaldos.

iii) Ácido cianídrico – HCN. Este composto é encontrado em produtos da combustão de filmes de raios X, lã, seda, náilon, papel, nitrilas, borracha, poliuretanos e outros produtos sintéticos. Ao lado do monóxido de carbono, é uma causa comum de mortes em incêndios industriais e domésticos (Dobbs, 2009). O cianeto de hidrogênio é um gás ou líquido incolor, de ação rápida e altamente tóxico que tem um odor de amêndoas amargas. A toxicidade se deve à inibição do citocromo oxidase, que impede a utilização celular de oxigênio. Exposições frequentes ou crônicas resultaram em hipotireoidismo. Estudos de inalação resultando em efeitos subletais, como incapacidade, e alterações respiratórias e cardíacas foram descritos para o macaco, cachorro, rato e camundongo (National Research Council – US, 2002). O diagnóstico de envenenamento por cianeto apresenta um dilema para o serviço de emergência de primeira resposta. Os médicos são capazes de diagnosticar a intoxicação por monóxido de carbono por meio de amostragem do sangue, medindo a carboxiemoglobina ou por oximetria, embora esta última possa não ser confiável (Weaver *et al.*, 2006). Diagnosticar a intoxicação por cianeto continua sendo um desafio no cenário de emergência. O tratamento imediato é de extrema importância (Lawson-Smith, Jansen, Hyldegaard, 2011). Um caso amplamente estudado foi o incêndio da boate Kiss, em 2013. O poliuretano

expandido, sob pirólise, libera ácido cianídrico, que é extremamente letal. Estudos forenses descobriram que o ácido cianídrico foi a principal causa de morte para as vítimas desse incêndio (Moncada, 2023).

3.2 A química na atividade pericial

Não só na atividade de combate ao incêndio que se observa a importância do conhecimento químico, mas como também na atividade pericial após o incêndio. A identificação de agentes acelerantes e a possibilidade de analisar amostras suspeitas de possuírem contaminação por combustíveis, por exemplo, via cromatografia gasosa é um exemplo. O Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina possui, desde 2021, um laboratório de análises químicas para auxiliar o perito de incêndio nesse tipo de situação. A caracterização de amostras desconhecidas e suspeitas de auxiliar o início ou a propagação de chamas pode ser feita por espectroscopia de infravermelho.

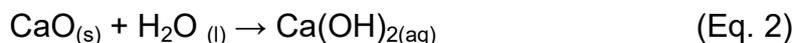
Em 2021, um incêndio em Santa Catarina ocorreu em uma fábrica que possuía um tipo de borracha no local onde se iniciaram as chamas (Figura 2). O investigador solicitou a análise do sólido, o qual foi caracterizado como o polímero polibutadieno (98% cis). Na literatura é encontrado um efeito chamado “polímero popcorn”. Geralmente, a existência de oxigênio, ferrugem e/ou água no processo em que há butadieno leva à iniciação de radicais peróxidos. A interação entre radicais peróxidos, butadieno e polímeros pode gerar radicais hidrocarbonetos (Alsaadi, 2023). Este material cresce através de uma via semelhante à polimerização catalisada por 2 radicais livres, mas se forma de uma maneira que há um acúmulo de tensão molecular considerável. Logo, ocorre a quebra das ligações, gerando radicais livres. Quando o polímero de pipoca (*popcorn effect*) se acumula em uma seção do equipamento, a liberação da tensão molecular e a expansão que a acompanha podem resultar em danos ao equipamento, daí a associação com o nome “pipoca” (Levin, et al., 2004).

Figura 2. Polímero polibutadieno encontrado no local do incêndio.



Figura: do autor.

Em outro incêndio em Santa Catarina, uma fábrica utilizava sacos para óxido de cálcio (cal virgem). Estes sacos possuíam sujida desde um pó branco e o investigador solicitou análises laboratoriais para a sua caracterização e se haveria probabilidade de o pó ter correlação com o incêndio. A análise por espectroscopia de infravermelho confirmou a natureza do pó branco como sendo óxido de cálcio. Este composto é muito conhecido por ter a sua hidratação altamente exotérmica, conforme a Eq. 2 abaixo:



No laboratório de análises químicas do CBMSC, alguns ensaios simples foram realizados hidratando a cal virgem com 1 mL de água, a temperatura ambiente, em intervalos de 5 segundos, aproximadamente (Figura 3). Ao usar 30 g de cal virgem em um béquer, o frasco de vidro quebrou após alguns minutos de ensaio. A mesma quantidade de massa foi usada em um ensaio

similar com copo plástico de poliestireno (PS) e rapidamente iniciou a deformação visível do polímero até o seu rompimento. A deflexão do PS, ou seja, a sua deformação com a temperatura é por volta de 80°C (Luna *et al.*, 2015). O ensaio realizado em uma caneca cerâmica com 30 g de CaO alcançou a temperatura de 193°C, a qual é próxima de 225°C, a temperatura de ignição do óleo diesel (Popa, Negurescu, Pana, 2003 apud Cernat *et al.*, 2015).

Figura 3—As imagens ilustram os ensaios realizados em frascos diferentes e a temperatura máxima obtida na hidratação.



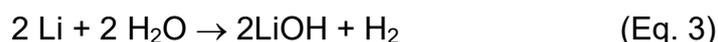
Fonte: dos autores.

Ao consultar fichas de segurança de papel tipo kraft comerciais, encontra-se uma faixa de autoignição entre (204,44 e 300)°C (Dontar, 2015; Georgia-Pacific, 2017; International Paper, 2019). Considerando que os sacos sejam de papelão, e interpolando os dados para o papel tipo kraft, os quais são de fibras de celulose como o papelão, pode-se deduzir que seja plausível o início das chamas a partir da precipitação de chuvas com sacos de resíduos de

óxido de cálcio. Na cidade de Arcos, Minas Gerais, um incêndio em uma fábrica que possuía sacos de cal virgem cobertos por uma lonateve que ser combatido apenas por extintores de pó químico (G1 Centro-Oeste de Minas, 2024). Tatner (2019) documenta um incêndio em um aviário. Os funcionários espalharam cal virgem para desinfecção do chão e o cobriram com palhas. Chamas foram vistas no aviário há pouco menos de três horas. O investigador do incêndio registrou uma temperatura máxima de 370°C em um ensaio com 500 g de cal virgem, palhas e água.

3.3 Incêndio em carros elétricos

Recentemente, há uma demanda crescente da venda de veículos elétricos no Brasil. Segundo a revista Forbes (2024), o ano de 2023 registrou um número recorde de quase 94 mil veículos elétricos licenciados. Diferentemente dos motores movidos a combustíveis como gasolina, Diesel e GNV (gás natural veicular), os veículos elétricos e híbridos são constituídos de baterias de lítio (Li-íon), hidreto metálico de níquel enxofre de lítio (Li-S) (Iclodean *et al.*, 2017 apud Dorz, Lewandowski, 2021). A natureza dos incêndios em veículos elétricos é muito diferente de carros equipados com motores de combustão interna, o que representa um importante problema de pesquisa (Dorz, Lewandowski, 2021). Essa natureza se baseia na produção de gás hidrogênio (gás inflamável) quando o lítio metálico, por exemplo, reage com a água formando também o hidróxido de lítio, conforme a Eq.3 abaixo:



Em veículos elétricos (EVs), as baterias de íon-lítio liberam gases tóxicos durante o incêndio, principalmente da combustão do eletrólito. A liberação de gases da bateria é resultado de sobrepresão causada, por

exemplo, do aquecimento externo, de curto-circuito, da sobrecarga ou falha da célula. Em baterias de íon-lítio, atualmente, o eletrólito contém hexafluorofosfato de lítio (LiPF_6) que favorece a emissão de HF (ácido fluorídrico) durante a combustão (Wilstrand *et al.*, 2020). O ácido fluorídrico é altamente tóxico, penetra no tecido causando necrose liquefativa e a liberação de produtos celulares. A inalação de vapores com exposições não intencionais e intencionais de ácido fluorídrico provoca queimaduras dérmicas, lesão ocular, sintomas respiratórios agudos, bem como causa toxicidade sistêmica com flúor, incluindo sintomas cardiovasculares, pulmonares, renais e neuromusculares, desequilíbrio eletrolítico e inibição enzimática que pode levar a arritmias cardíacas e morte (Schwerin, Hatcher, 2023).

Concluiu-se, em um estudo realizado por Sturm e colaboradores (2022) sobre o comportamento do fogo em baterias de veículos elétricos, de que a água pode ser eficiente somente quando se chega no interior da bateria. Nos demais casos não se mostrou um combate eficaz. Os autores mediram uma taxa de liberação de calor maior que incêndio em veículos convencionais. A partir altura de 1,60 m do solo que a fumaça do incêndio contendo ácido fluorídrico permaneceu abaixo do limite aceitável para a saúde humana. Em relação ao combate às chamas, o uso de cobertores de fogo não foi bem-sucedido após a bateria já estar em chamas. Uma ação que se mostrou muito eficaz foi a utilização de cloreto de sódio líquido inundando a bateria de 80 kWh. Isto resultou em um curto-circuito em boa parte das células da bateria e o fogo se desenvolveu por alguns minutos e com apenas 30 L de água, aproximadamente, foi possível parar a fuga térmica (reação descontrolada onde a temperatura aumentará incontrolavelmente).

Para se ter a noção da dificuldade do combate ao incêndio em veículo elétrico, uma reportagem no canal CNBC (Kolodny, 2021), dos EUA, reporta um incêndio em um Tesla modelo S Plaid enquanto o condutor estava dirigindo. O combate durou por mais de três horas e mais de 25.000 galões de água

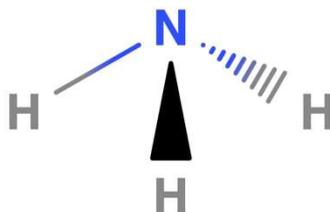
(≈95.000 L) foram utilizados. Em um veículo comum se gasta aproximadamente 300 galões (≈1.100 L).

3.4. Incêndio com produtos perigosos

De acordo com a Agência Nacional de Transportes Terrestres é considerado produto perigoso todo aquele que represente risco à saúde das pessoas ou ao meio ambiente. Essa categorização de perigoso está de acordo com a classificação e numeração indicadas nas Recomendações para o Transporte de Produtos Perigosos das Nações Unidas, contidas na Relação de Produtos Perigosos aprovada no âmbito do Mercosul (ANTT, 2022).

Ao se realizar uma busca por notícias envolvendo acidentes com produtos perigosos em sites de buscas, percebe-se uma quantidade relevante com vazamento de gás amônia (Figura 4). O gás amônia é tóxico e corrosivo, e inflamável em certas condições, e pode ser exacerbado se outros agentes inflamáveis, como gases de compostos derivados do petróleo ou substâncias oxidantes, como gás oxigênio ou compostos de alta reatividade, como gás cloro, bromo e iodo, estiverem presentes. O gás de amônia é perigoso mesmo em baixas concentrações, inalá-lo ou a contaminação da pele pode causar queimadura e até a morte (Duijm, Market, Paulsen, 2005; Anjana, Amarnath, Harindranathan, 2018 apud Yarandi *et al.*, 2021). A amônia é um gás frequentemente usado na indústria química como agente de resfriamento (Cheng, Tan, Liu, 2014).

Figura 4. Estrutura molecular do gás amônia.



Fonte: Estrutura feita no site molview.org.

Um dado importante para o atendimento de vazamento a este gás é a sua alta solubilidade em água, 482 gramas por litro (Dean, 1985 apud National Center for Biochnology Information, 2024). Isto significa que pode ser utilizada uma cortina de água com a mangueira da viatura para remover a fase gasosa de amônia, solubilizando-a, gerando como produto o hidróxido de amônio (NH_4OH). Esta iniciativa pode ser vista em um vídeo bastante divulgado na plataforma Youtube (link do vídeo [aqui](#)). A ocorrência trata-se de um acidente veicular com tanque de amônia, o qual foi perfurado, iniciando o vazamento. O primeiro respondedor ao acidente foi vítima do vazamento. Um breve tempo depois, chega o resgate fazendo uso da solubilidade da água para a amônia, afastando o gás tóxico da equipe.

No Brasil, um incêndio com vazamento de gás amônia em uma fábrica de alimentos mobilizou os bombeiros militares do estado de Goiás, no município de Rio Verde, no ano de 2009. Esta ocorrência foi relatada em um estudo específico sobre ocorrências envolvendo amônia em Goiás, realizado por Winck; Cardoso; Oliveira (2021). Inicialmente, todos os funcionários foram removidos do local. Utilizaram-se vários caminhões para reduzir a emissão de gás tóxico para o ambiente. Como se trata de um gás tóxico e corrosivo para a pele, utiliza-se nestas ocorrências roupas encapsuladas com proteção respiratória autônoma.

Outro composto que merece destaque é o nitrato de amônio (NH_4NO_3) Este composto é amplamente utilizado como fertilizante e reagente para

explosivos (Zigmunt, Buczkowski, 2007). Decompõe-se por volta de 230°C a uma pressão de 1 atm. Se confinado, o nitrato de amônio pode explodir entre 260 e 300°C (Fedroff, 1960 apud Oommen, Jain, 1999). O NA está envolvido em dezenas de incidentes no século XX em todo o mundo durante todas as etapas de transporte, produção e armazenamento (Pittman et al., 2014). O combate a incêndios com nitrato de amônio deve ser combatido apenas com água em grandes quantidades (aplicada com cuidado para não espalhar o material) e com máscaras adequadas para uso em tais ocorrências. Estes incêndios podem gerar grandes quantidades de óxidos de nitrogênio, que são extremamente tóxicos (Fire Prevention and Engineering Bureau of Texas; The National Board of Fire Underwriters, 1947). Se aplicado pouco volume de água, a maior parte irá vaporizar. O próprio nitrato pode fornecer oxigênio suficiente para sustentar o incêndio. O vapor aumentará o risco de explosão à medida que a temperatura das chamas aumenta (Pittman *et al.*, 2014).

Em setembro de 2021, Tolouse, França, uma explosão de nitrato de amônio vitimou fatalmente 30 pessoas e 2.242 ficaram feridos. A explosão foi equivalente a 20-40 toneladas de trinitrotolueno (TNT). As investigações revelaram que a sua origem não foi um incêndio, nem uma primeira explosão seguida de uma explosão em massa. Os estudos se concentraram na incompatibilidade química. Podem ocorrer reações perigosas entre nitrato de amônio e produtos como compostos halogenados e materiais combustíveis/orgânicos. Uma nova legislação foi implementada após a catástrofe, inclusive o fortalecimento de diretrizes a nível de União Europeia (Dechy *et al.*, 2004).

No Brasil, em 2013, um incêndio onde estavam estocadas 10 mil toneladas de fertilizantes ocorreu na cidade de São Francisco do Sul-SC. Aproximadamente, 50 mil moradores fugiram de carro pela imensa fumaça que persistiu na cidade visualmente por 10 dias. Apesar de a Defesa Civil do estado ter divulgado que a fumaça não era tóxica, o nitrato de amônio é irritante para

os olhos, nariz, garganta e membranas mucosas. A inalação deste composto pode causar congestão pulmonar grave, tosse, dificuldade em respirar e aumento da acidez na urina. A exposição a grandes quantidades pode causar acidose sistêmica e nível de hemoglobina anormal (Jornal Nacional, 2013; Encyclopedia of Toxicology, 2005).

3.5 Combustão espontânea – um perigo oculto

A combustão espontânea é uma reação de oxidação que acontece sem a colaboração de uma fonte externa de calor. Entre os compostos que podem se queimar espontaneamente estão o carvão, os minérios de sulfeto, os compostos de enxofre-ferro, o algodão, a madeira, o óleo vegetal, a poeira metálica, entre outros (Liu et al., 2020).

Como o bombeiro investigador poderia chegar à conclusão de que um incêndio poderia ter sido provocado por combustão espontânea? É prudente avaliar todas as demais hipóteses, como a presença de fonte externa de calor, pois, provavelmente, trata-se de causa majoritária em todos os incêndios. Se o aquecimento espontâneo leva ou não à ignição depende de algumas variáveis, a saber:

- (a) a taxa na qual o calor é gerado e removido do material que está sendo oxidado;
- (b) a temperatura de ignição do material combustível fibroso, hidrocarboneto ou qualquer gás liberado pela oxidação;
- (c) a área específica (cm^2/g) do hidrocarboneto exposto a um oxidante; e
- (d) a quantidade de umidade presente na atmosfera e no material fibroso (Speight, 2011).

Elenca-se logo abaixo alguns casos interessantes:

i) Combustão espontânea em lavanderias

Em um estudo realizado por Daéid, Maguire e Walker (2001), os autores relataram investigações de incêndio entre o período de 1993 a 1999 em lavanderias. Fato comum em todos os casos foi a lavagem de materiais como panos de cozinha, os quais foram secados e empilhados imediatamente após a secagem. O material empilhado ou na secadora permaneceu assim durante a noite. As investigações concluíram que foi possível recuperar ácido linoleico e ácido oleico dos panos, mesmo após lavagens a 90°C. Estes compostos são oriundos de óleos vegetais como óleo de linhaça, azeite, entre outros. A conclusão de que a combustão espontânea para os casos só ocorreu após afastar hipóteses de incêndio criminoso, falha elétrica e vazamento de gás.

Ressalta-se ao investigador observar, para um incêndio similar ao caso acima, se os materiais com sujidades de óleos vegetais e gorduras animais não estavam empilhados após a secagem, ou ainda, questionar se o local realiza algum programa de resfriamento dos tecidos após a secagem. Qual seria o perigo envolvido especialmente para óleos e gorduras? Bowes (1984 apud Peterson, 1996) relata que quanto maior o grau de insaturação, maior a tendência de um óleo aquecer espontaneamente. Hidrocarbonetos saturados (como os alcanos) não apresentam tendência para combustão espontânea. Demais estudos envolvendo a combustão espontânea envolvendo óleos vegetais podem ser consultados nos trabalhos de Coulombe, 2002; Stauffer, 2005; Guo, Tang, 2022.

ii) Combustão espontânea em silos

Matrizes diversas quando estocadas em silos emanam calor devido a processos biológicos e de oxidação como a serragem, grãos e cereais e o pó de carvão. No processo da silagem de um material vegetal ainda vivo, há contínua respiração e consumo de oxigênio. Quando se esgota o oxigênio, as

bactérias anaeróbicas se multiplicam e consomem nutrientes, acarretando aquecimento espontâneo, podendo gerar ignição. Se a silagem estiver muito seca quando armazenada, não estiver densamente compactada, e se houver oxigênio disponível devido a más condições estruturais, a ignição espontânea é possível (Clarck, Kimbal, Stambaugh, 1998). Em 2023, no estado de MT, um armazém contendo milho e soja, suspeita-se que por fermentação natural, tenha entrado em combustão espontânea. Mais de 30 mil litros de água foram utilizados (Alencar, 2023). Um incêndio persistiu por semanas em Beirute em um silo de grãos, em 2022. Este silo resistiu a enorme explosão de nitrato de amônio, em 2020, e estava com a estrutura enfraquecida. A queima produziu mau cheiro que se espalhou na cidade. O governo libanês decidiu demolir os silos, mas suspendeu a decisão após protestos de familiares das vítimas da explosão. Eles afirmam que os silos poderiam conter evidências úteis para a investigação judicial (The Guardian, 2022; Chehayeb, 2022).

4. CONCLUSÕES

A compreensão básica e avançada de química por parte dos bombeiros é essencial para identificar rapidamente e com precisão os riscos associados a diferentes substâncias químicas. Esse conhecimento capacita o bombeiro a estar mais bem preparado para enfrentar uma ampla gama de emergências, desde o combate a incêndios até vazamentos com produtos perigosos. Reconhecer os perigos específicos de cada substância pode fazer a diferença entre uma resposta eficaz e a ampliação do perigo para a equipe de resgate e a população.

A segurança dos bombeiros militares e da população em geral é uma preocupação central quando se trata do manuseio e da resposta a incidentes envolvendo produtos químicos. Esses materiais, presentes em fábricas, indústrias e até em ambientes urbanos, podem representar riscos significativos,

não apenas devido a seus efeitos imediatos, como intoxicações e queimaduras, mas também pelos danos cumulativos a longo prazo. Exposição prolongada a certos produtos químicos pode resultar em problemas respiratórios, cardíacos, dermatológicos e até mesmo no desenvolvimento de câncer, afetando a qualidade de vida de todos os envolvidos.

Além disso, o papel da química na atividade de investigação de incêndio não pode ser subestimado. Nas investigações de incêndios e outros incidentes que envolvem produtos químicos, um sólido conhecimento de química pode facilitar a identificação das causas e a elaboração de conclusões mais robustas. Isso não apenas contribui para a justiça, mas também para a prevenção de futuros acidentes, permitindo que os Corpos de Bombeiros Militares (CBMs) evoluam continuamente e aprimorem suas estratégias de prevenção, proteção e resposta operacional.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, Suelen. Portal G1 Mato Grosso. **Incêndio atinge armazém de empresa de soja e milho em MT. 2023.** Disponível em: <https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2023/12/07/incendio-atinge-armazem-de-empresa-de-soja-e-milho-em-mt.ghtml>. Acesso em 19 jul 2024.

ANJANA N.S.; AMARNATH A.; HARINDRANATHAN, Nair M.V. Toxic hazards of ammonia release and population vulnerability assessment using geographical information system. **Journal of Environmental Management**, v. 10, p.201-209, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.021>.

ANTT. **Cartilha: O transporte terrestre de produtos perigosos no MERCOSUL.** Classificação. Rótulos de Risco e Painéis de Segurança. Interface com o Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Substâncias Químicas – GHS. 2022. Disponível em: http://tri-leg.antt.gov.br/OutrosDocumentos/LXII%20ANE07_PT_Cartilha%20Informativa%202022_Br.pdf. Acesso 3 jul 2024.

ALSAADI, Osama. Popcorn Polymers in Butadiene Extraction Units. **International Annals of Science**, v. 13, p. 14-21, 2023. <https://doi.org/10.21467/ias.13.1.14-21>.

BOLSTAD-JOHSON, D. M.; BURGESS, J. L.; CRUTCHFIELD, C. D.; STORMENT, S.; GERKIN, R.; WILSON, J. R. Characterization of firefighter exposures during fire overhaul. **American Industrial Hygiene Association**, v. 61, n. 5, p. 636-641, 2000.

BOWES, P. C. **Self-Heating: Evaluating and Controlling the Hazards**. New York: Elsevier Publishing, 1984.

BRANDT-RAUF, P. W.; FALLON Jr, L. F.; TARANTINI, T.; IDEMA, C.; Andrews, L. Health hazards of fire fighters: exposure assessment. **British Journal of Industrial Medicine**, v. 45, n. 9, p. 606-612, 1988. <https://doi.org/10.1136/oem.45.9.606>.

BRINCHMANN, Bendik C.; BUGGE, Merete D.; NORDBY, Karl C.; ALFONSO, José H. Firefighting and melanoma, epidemiological and toxicological associations: a case report. **Occupational Medicine**, v. 72, n. 2, p. 142-144, 2022. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqab183>.

BUCHER, Joshua; DOS SANTOS; Frank; FRAZIER, Danny; MERLIN, Mark A. Rapid Extrication versus the Kendrick Extrication Device (KED): Comparison of Techniques Used After Motor Vehicle Collisions. **Western Journal of Emergency Medicine**, v. XVI, n. 3, 2015. <https://doi.org/10.5811/westjem.2015.1.21851>.

CAO, Junjie; FAN, Tuanqi; LI, Weihong; XIAO, Shengxiang. Association study between plasma levels of polychlorinated biphenyls and risk of cutaneous malignant melanoma. **Environment International**, v. 126, p. 298-301, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.014>.

CBPMESP. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. **Instrução Técnica Nº 03/2004**. Terminologias de Segurança Contra Incêndio. 2004.

CERNAT, Alexandru; PANA, Constantin; NEGURESCU, Niculae; NUTU, Cristian. On vaporization of a single droplet of diesel fuel at LPG fuelled engine by diesel-gas method. **Energy Procedia**, v. 74, p. 1306-1313, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.777>.

CHEHAYEB, Kareem. Revista Time. **Large Section of Smoldering Beirut Port Silos Collapse, Reigniting Painful Memories of the 2020 Blast.** Disponível em: <https://time.com/6207985/beirut-port-silos-collapse/>. Acesso em 19 jul 2024.

CHENG, Chao; TAN, Wei; LIU, Liyan. Numerical simulation of water curtain application for ammonia release dispersion. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 30, p. 105-112, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.05.003>.

CLARCK, Alan; KIMBALL, John; STAMBAUGH, Hollis. **The Hazards Associated with Agricultural Silo Fires. Federal Emergency Management Agency.** United States Fire Administration. 1998. Disponível em: <https://ocgov.net/assets/FireCoordinator/Docs/ImportantInfoAndMutualAid/ImportantInfo/USFireAdminHazrdsOfSiloFires.pdf>. Acesso em 18 jul 2024.

COULOMBE, R. Chemical Analysis of Vegetable Oils Following Spontaneous Ignition. **ASTM Journal of Forensic Sciences**, v. 47, n. 1, p. 195-201, 2002. <https://doi.org/10.1520/JFS15224J>.

DAÉID, Niamh, N.; MAGUIRE, Caroline; WALKER, Alisa. An investigation into the causes of laundry fires – spontaneous combustion of residual fatty acids. **Problems of Forensic Sciences**, v. XLVII, p. 272-277, 2001.

DA MATA, Kamyla L.; CALDAS, Rodrigo B.; RODRIGUES, Francisco C.; DIAS, João V. F. Análise das temperaturas de um compartimento durante treinamentos de combate a incêndio. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 2, p. 245-250, 2020. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000200398>.

DEAN, J.A. (editor). **Lange's Handbook of Chemistry**. 13 ed. New York, NY: McGraw-Hill Book Co., 1985.

DECHY, Nicolas; BOURDEAUX, Thomas; AYRAULT, Nadine; KORDEK, Marie-Astrid; LE COZE, Jean-Christophe. First lessons of the Toulouse ammonium nitrate disaster, 21st September 2001, AZF plant, France. **Journal of Hazardous Materials**, v. 111, p.131-138, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.08.037>.

DESCARTES, R. **Discurso sobre o método**. Coleção Os Pensadores. Rio de Janeiro: Nova Cultural, 1999.

DOBBS, Michael R. Cyanide. Editor: MICHAEL R. Dobbs, **Clinical Neurotoxicology**, capítulo 46, W.B. Saunders, 2009, p. 515-522. <https://doi.org/10.1016/B978-032305260-3.50052-6>.

DOMTAR. Safety Data Sheet. Paper Domtar Copy Paper. 2015. Disponível em: https://content.oppictures.com/Master_Images/Master_PDF_Files/UNV11289_SDS.PDF. Acesso em 11 jul 2024.

DORZ, Adam; LEWANDOWSKY, Miroslaw. Analysis of Fire Hazards Associated with the Operation of Electric Vehicles in Enclosed Structures. **Energies**, v. 15, n. 1, 2022.

DUIJM N.J.; MARKERT F.; PAULSEN J. L. **Safety assessment of ammonia as a transport fuel**. Roskilde, Denmark: Risø National Laboratory. 2005.

EDELMAN, Philip; OSTERLOH, John; PIRKLE, James; CAUDILL, Sam P.; GRAINGER, James; JONES, Robert; BLOUNT, Ben; CALAFAT, Antonia; TURNER, Waymar; FELDMAN, Debra; BARON, Sherry; BERNARD, Bruce; LUSHNIAK, Boris D.; KELLY, Kelly; PREZANT, David. Biomonitoring of chemical exposure among New York City firefighters responding to the World Trade Center fire and collapse. **Environmental Health Perspectives**, v. 111, n. 16, p. 1906-1911, 2003. <https://doi.org/10.1289%2Fehp.6315>.

ENCYCLOPEDIA OF TOXICOLOGY. Editor Philip Wexler. 2ª edição. Academic Press: 2005.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – US EPA. **Locating and estimating air emissions from sources of polycyclic organic matter**. North Carolina: EPA, 1998. EPA-454/R-98/014.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. FAA Halts Boeing MAX Production Expansion to Improve Quality Control, Also Lays Out Extensive Inspection and Maintenance Process to Allow Boeing 737-9 MAX Aircraft to Return to Service. 2024. Disponível em: <https://www.faa.gov/newsroom/faa-halts-boeing-max-production-expansion-improve-quality-control-also-lays-out-extensive>. Acesso em 13 jun 2024.

FEDROFF, B. T. **Encyclopedia of Explosives and Related Items**, v. 1, Picatinny Arsenal, N. J, 1960, p. A311 – A379.

FERNANDO, Lang da Silveira. A teoria do conhecimento de Kant: o idealismo transcendental. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, p. 28-51, 2002.

FIOLET, Thibault; MAHAMAT-SALEH, Yahya; FRENOY, Pauline; KVASKOFF, Marina; MANCINI, Francesca R. Background exposure to polychlorinated biphenyls and all-cause, cancer-specific, and cardiovascular-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. **Environment International**, v. 154, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106663>.

FIRE PREVENTION AND ENGINEERING BUREAU OF TEXAS; The National Board of Fire Underwriters. Texas City, Texas, Disaster. 1947 Disponível em: <http://www.local1259iaff.org/report.htm>. Acesso em 20 jul 2024.

FORBES. Venda de carros elétricos no Brasil bate recorde em 2023. 2024. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbeslife/forbes-motors/2024/01/venda-de-carros-eletricos-no-brasil-bate-recorde-em-2023/>. Acesso em 1 jul 2024.

G1 Centro-Oeste de Minas. Sacos de PVC com cal virgem pegam fogo em pátio de empresa em Arcos. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/centro-oeste/noticia/2024/03/07/sacos-de-pvc-com-cal-virgem-pegam-fogo-em-patio-de-empresa-em-arcos.ghtml>. Acesso em 11 jul 2024.

GARCIA-JARES, C.; BARRO, R.; LLOMPART, M. 1.08 - **Indoor Air Sampling**, Editor: Janusz Pawliszyn, Comprehensive Sampling and Sample Preparation, Academic Press, p. 125-161, 2012. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381373-2.00008-9>.

GAVA, Alessio. Empirismo e observação: uma perspectiva histórica sobre a primazia da observabilidade no empirismo construtivo de van Fraassen. **Revista de Filosofia**, v. 13, p. 70-86, 2016. <https://doi.org/10.31977/grifi.v13i1.696>.

GEORGIA-PACIFIC. Safety Data Sheet. 2017. Disponível em: https://pacificpapertube.com/pdfs/MSDS_linerboard.pdf. Acesso em 11 jul 2024.

GUO, Qian; TANG, Yibo. Laboratory investigation of the spontaneous combustion characteristics and mechanisms of typical vegetable oils. **Energy**, v. 241, 122887, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122887>.

ICLODEAN, C.; VARGA, B.; BURNETE, N.; CIMERDEAN, D.; JURCHIȘ, B. Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles. **IOP Conference Series Materials Science and Engineering**, v.252, 012058, 2017.

IFEGWU, Okechukwu C.; ANYAKORA, Chimezie. **Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**: Part I. Exposure, capítulo seis. Editor: Gregory S. Makowski, *Advances in Clinical Chemistry*, Elsevier, v.72,p. 277-304, 2015. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2015.08.001>.

INTERNATIONAL PAPER. Kraft Pulp (bleached). 2019. Disponível em: <https://www.internationalpaper.com/sites/default/files/file/2023-02/kraft-pulp-bleached.pdf?cacheToken=EqxC3NtcwANzmd0A>. Acesso em 11 jul 2024.

JORNAL NACIONAL. Após explosão, nuvem de fumaça se espalha por quilômetros em SC.2013. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2013/09/apos-explosao-nuvem-de-fumaca-se-espalha-por-quilometros-em-sc.html>. Acesso em 20 jul 2024.

KOLODNY, Lora. Tesla Model S Plaid caught fire while driver was at the wheel, says fire chief. 2021. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2021/07/01/tesla-model-s-plaid-caught-fire-while-being-driven-fire-chief.html>. Acesso em 3 jul 2024.

LANGFORD, Nigel J. Carbon dioxide poisoning. **Toxicological Reviews**, v. 24, n. 4, p. 229-235, 2005. <https://doi.org/10.2165/00139709-200524040-00003>.

LAWSON-SMITH, Pia; JANSEN, Erik C.; Hyldegaard, Ole. Cyanide intoxication as part of smoke inhalation - a review on diagnosis and treatment from the emergency perspective. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, v. 19, n. 14, 2011. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-19-14>.

LEVIN, M. E.; Hil, A. D.; ZIMMERMAN, L. W.; PAXSON, T. E. The reactivity of 1,3-butadiene with butadiene-derived popcorn polymer. **Journal of Hazardous Materials**, v. 114, n. 1-3, p. 71-90, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.06.017>.

LIU, Hui; HONG, Rui; XIANG; CHENGLANG, Lv, CHEN; LI, Haihang. Visualization and analysis of mapping knowledge domains for spontaneous combustion studies. **Fuel**, v. 262, 116598, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116598>.

LOPES, R. P.; OLIVEIRA FILHO, D.; DONZELES, S. M. L; FERREIRA, W. P. M. Controle da combustão em fornalhas a lenha. In *Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural*, 2000, Campinas (SP, Brazil) [online]. 2003 [cited 27 June 2024]. Disponível

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Artigo Publicado no Vol.10 Nº32 II Edição Especial de 2024 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>.

em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000200023&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 27 jun 2024.

LUNA, Carlos B. B.; DA SILVA, Divânia, F.; ARAÚJO, Edcleide, M.; DE MELO, Tomás J. A.; DE OLIVEIRA, Amanda D. Estudo do Comportamento Mecânico, Termomecânico e Morfológico de Misturas de Poliestireno/Composto de Borracha Reciclada (SBR). **Revista Matéria**, v. 20, n. 2, p. 332-334, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150002.0033>.

MERRIMACK FIRE RESCUE. The History Of Firefighting. Disponível em: <https://www.merrimacknh.gov/about-fire-rescue/pages/the-history-of-firefighting>. Acesso em: 12 jun 2024.

MONCADA, Jaime A. Boate Kiss Revisited. **NFPA Journal**. The Online Magazine of the National Fire Protection Association. 2023. Disponível em: <https://www.nfpa.org/news-blogs-and-articles/nfpa-journal/2023/02/09/boate-kiss>. Acesso em 1 jul 2024.

MOORTHY, Bhagavatula; CHU, Chun; CARLIN, Danielle J. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: From Metabolism to Lung Cancer. **Toxicological Sciences**, v. 145, p. 5-15, 2015. <https://doi.org/10.1093%2Ftoxsci%2Fkfv040>.

NAGEL, Jennifer. The Empiricist Conception of Experience. **Philosophy**, v. 75, n. 3, p. 345-376, 2000. <https://doi.org/10.1017/s0031819100000449>.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION (2024). PubChem Compound Summary for CID 222, Ammonia. 2024. Disponível em <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ammonia>. Acesso em 4 jul 2024.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (US) Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels. Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 2. Washington (DC): National Academies Press (US); 2002. 5, HydrogenCyanide: AcuteExposureGuidelineLevels. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK207601/>. Acesso em 1 jul 2024.

O'CONNOR, Brian. NFPA - Explosions, Deflagrations, and Detonations. 2023. Disponível em: <https://www.nfpa.org/news-blogs-and-articles/blogs/2023/03/27/explosions-vs-deflagrations-vs-detonations>. Acesso em: 17 jun 2024.

OOMMEN, C.; JAIN, S. R. Ammonium nitrate: a promising rocket propellant oxidizer. **Journal of Hazardous Material**, v. A67, p. 253-281, 1999.

PETERSON, Charles, L. Test for spontaneous combustion of rapeseed biodiesel. Idaho Bioenergy Program. Universidade de Idaho. Departamento de Engenharia de Agricultura. 1996. 18p. Disponível em: https://biodieseleducation.org/Literature/Journal/1996_Peterson_Test_For_Spontaneous.pdf. Acesso 13 jul 2024.

PITTMAN, William; HAN, Zhe; HARDING, Brian; ROSAS, Camilo; JIANG, Jiaojun; PINEDA, Alba; MANNAN, M. Sam. Lessons to be learned from an analysis of ammonium nitrate disasters in the last 100 years. **Journal of Hazardous Materials**, v. 280, p. 472-477, 2014.

POPA, M. G.; NEGURESCU, N.; PANA, C. **Motoare diesel**. Procese, v. I e II, Editora Matrix Rom, Bucuresti, 2003.

PORTUGAL, C. A. Discussão sobre empirismo e racionalismo no problema da origem do conhecimento. **Diálogos & Ciência – Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana**, Ano I, n. 1, 2002.

ROSE, Jason J.; WANG, Ling; XU, Qinzi; MCTIERNAN, Charles F.; SHIVA, Sruti, TEJERO, J.; GLADWIN, Mark T. Carbon Monoxide Poisoning: Pathogenesis, Management, and Future Directions of Therapy. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 195, n. 5, p. 596-606, 2017. <https://doi.org/10.1164/rccm.201606-1275ci>.

SHAW, Susan D.; BERGER, Michelle L.; HARRIS, Jennifer, H.; YUN, Se H.; WU, Qian, LIAO, Chunyang; BLUM, Arlene; STEFANI, Anthony; KANNAN, Kurunthach A. Persistent organic pollutants including polychlorinated and polybrominated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in firefighters from Northern California. **Chemosphere**, v. 91, n. 10, p. 1386-1394, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.12.070>.

SCHECTER, A.; PAVUK, M.; AMIROVA, A.; GROSHEVA, E. I.; PAPKE, O.; RYAN, J. J.; ADIBI, J.; PISKAC, A. L. Characterization of dioxin exposure in firefighters, residents, and chemical workers in the Irkutsk Region of Russian Siberia. **Chemosphere**, v. 47, n. 2, p. 147-156, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00197-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00197-7).

SCHWERIN, D.L.; HATCHER J. D.; Hydrofluoric Acid Burns. [atualizado em 17 jul 2023]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441829/>. Acesso em 2 jul 2024.

SPEIGHT, James G. Chapter 10 - Combustion of Hydrocarbons, Editor: James G. Speight, Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes, Gulf Professional Publishing, 2011, p. 355-393, <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8632-7.10010-6>.

STAUFFER, E. A Review of the Analysis of Vegetable Oil Residues from Fire Debris Samples: Spontaneous Ignition, Vegetable Oils, and the Forensic Approach. **ASTM Journal of Forensic Sciences**, v. 50, n. 5, 2005. <https://doi.org/10.1520/JFS2004510>.

STURM, Peter; FÖßLEITNER, Patrick; FRUHWIRT, Daniel; GALLER, Robert; WENIGHOFER, Robert; HEINDL, Simon F.; KRAUSBAR, Stefan; HEGER, Oliver. Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels. **Fire Safety Journal**, v. 134, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103695>.

TAEGER, Dirk; KOSLITZ, Stephan; KÄFFERLEIN, Heiko U.; PELZL, Tim; Heinrich, Birgit; BREUER, Dietmar; WEISS, Tobias; HARTH, Volker; BEHRENS, Thomas; BRÜNING, Thomas. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons assessed by biomonitoring of firefighters during fire operations in Germany, **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 248, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2023.114110>.

TATNER, Ian. Case Study - Calcium oxide and its exothermic reaction. **Hawkins Forensic Investigation**. 2019. Disponível em: https://www.hawkins.biz/case_study/calcium-oxide-and-its-exothermic-reactions. Acesso em 11 jul 2024.

THE GUARDIAN. **Silos damaged in 2020 Beirut port explosion partly collapse after fire. 2022**. Disponível em: <https://www.theguardian.com/world/2022/jul/31/grain-silos-2020-beirut-port-explosion-collapse-fire>. Acesso em 19 jul 2024.

VALLERO, Daniel A. **Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet**. Capítulo 27 – Energy and the Environment. 3^a ed. Elsevier. 2020.

VOGEL, Michael. Heating with Wood: Principles of Combustion. A self-learning resource from MSU extension. **Montana State University**. MT198405 HR. 2005. Disponível em: <https://erc.cals.wisc.edu/woodlandinfo/files/2017/09/mt198405hr.pdf>. Acesso em: 27 jun 2024.

WEAVER, Lindel K.; CHURCHILL, S. K.; DERU, K.; COONEY, D. False positive rate of carbon monoxide saturation by pulse oximetry of emergency department patients. **Respiratory Care**, v. 58, n. 2, p. 232-240, 2013. <https://doi.org/10.4187/respcare.01744>.

WILLSTRAND, Ola; BISSCHOP, Roeland; BLOMQUIST, Per; TEMPLE, Alastair; ANDERSON, Johan. Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles. Research Institutes of Sweden (RISE Report). 240 p. 2020. Disponível em: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-52000>. Acesso em 2 jul 2024.

WINCK, Licurgo B.; CARDOSO, Aldo N.; OLIVEIRA, Wanderley V. Atendimento de Ocorrências Envolvendo Gás Refrigerado Amônia no Estado de Goiás: uma Padronização para a Sequência dos Atendimentos. **Revista Processos Químicos**, v. 16, n. 30, p. 9-23, 2021.

YARANDI, Mohsen Sadegh; MAHDINIA, Mohsen; BARAZANDEH, Javad; Soltanzadeh, Ahmad. **Evaluation of the toxic effects of ammonia dispersion consequence analysis of ammonia leakage in an industrial slaughter house**. Medical Gas Research, v. 11, n. 1, p. 24-29, 2021. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.310056>.

ZIGMUNT, Bogdan; BUCZKOWSKI, Daniel. Influence of ammonium nitrate prillsproperties on detonation velocity of ANFO. **Propellants Explosives Pyrotechnics**, v. 32, n. 5, p. 411-414, 2007. <http://dx.doi.org/10.1002/prop.200700045>.