



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE COLETA NA IDENTIFICAÇÃO DE LÍQUIDOS ACELERANTES DE COMBUSTÃO (GASOLINA) EM PERÍCIAS DE INCÊNDIO

EVALUATION OF THE COLLECTION TIME INFLUENCE ON THE IDENTIFICATION OF COMBUSTION LIQUIDS (GASOLINE) IN FIRE SCENE INVESTIGATIONS

Autores: Eng. Diogo Schwengber Posenatto (diogo-posenatto@igp.rs.gov.br)

Eng. Mateus Bonamigo Zupiroli (mateus-zupiroli@igp.rs.gov.br)

Orientadora: Prof. Dra. Ângela Gaio Graeff (angela.graeff@ufrgs.br)

RESUMO

O presente trabalho pretende avaliar a influência dos fatores envolvidos na coleta de resíduos de incêndio, em especial, o tempo decorrido entre o incêndio e o momento de aquisição do vestígio. Para tanto, foram formulados três cenários que buscam simular as condições encontradas no cotidiano da atividade pericial. Propôs-se avaliar os resíduos em substrato sem queima, considerando apenas a evaporação, substrato com queima sem extinção e, por fim, a queima e extinção após tempo pré-determinado. Como substratos, optou-se pela utilização de solo e espuma, sendo a primeira escolha decorrente da intenção dos autores em explorar novas possibilidades de coletas em campo. Para o experimento foi empregada gasolina tipo C, por se tratar de líquido acelerante comumente encontrado em situações reais de incêndios. O aparato experimental empregou embalagens descartáveis para a separação das amostras, as quais foram submetidas aos três cenários propostos. Por fim, as amostras foram coletadas e analisadas no Departamento de Perícias Laboratoriais do Instituto-Geral de Perícias do Rio Grande do Sul, permitindo-se obter um perfil indicador da faixa de tempo mais propícia para coleta e obtenção de resultados favoráveis, considerando o objetivo inicial de detecção do líquido acelerante de combustão. Verificou-se que o limite de 42 horas para coleta é um parâmetro de grande importância, período no qual foi obtida a maior quantidade de resultados favoráveis para ambos os substratos.

Palavras-chave: incêndio, perícias, resíduos de incêndio, acelerantes de combustão.

ABSTRACT

This research intends to study the influence factors involved in the collection of fire residues, in particular, the time elapsed between the fire and the moment of acquisition of the trace. Using different combinations of substrate, three scenarios were formulated to simulate the conditions found in the daily of forensic activity: studying the substrate without burning, considering only evaporation; burning the substrate without extinction; and finally, burning and extinction after a predetermined time. Soil and foam were chosen as main substrates for the tests. Both materials were chosen due to the authors' intention to explore new possibilities of collection in the field. Type C gasoline was used for the experiment, as commonly liquid found in real fire situations. The experimental apparatus used disposable packaging to separate the samples, which were subjected to the three proposed scenarios. All the samples were collected and analyzed at the Instituto-Geral de Perícias of Rio Grande do Sul, obtaining as results a profile of the most favorable time range for collecting fire debris. It was found that the 42-hour limit for collection is a parameter of great importance, a period in which the greatest amount of favorable results were obtained.

Keywords: fire, arson, crime scene, fire debris.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

1 INTRODUÇÃO

A identificação da presença de líquidos acelerantes de combustão nas amostras de materiais coletados em locais sujeitos a incêndios é um grande desafio para os profissionais que atuam na área forense. O sucesso nesta tarefa depende de uma série de parâmetros e cuidados, entre eles, aqueles relacionados à identificação dos materiais e locais onde há maior probabilidade de retenção dos traços de acelerantes, incluindo, ainda, a necessidade do correto acondicionamento das amostras, transporte e execução dos ensaios em laboratório.

O cotidiano da atividade de investigação e levantamento pericial em casos reais indica que um percentual significativo dos incêndios são intencionais. De acordo com um relatório publicado em 2006 pela Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP, 2006, pág. 39), entre as causas identificadas de incêndios, aquelas originárias de ação pessoal intencional representavam mais de 30% dos casos. Entre os indícios da intencionalidade pode-se citar a ocorrência de dois focos de incêndio quase em simultâneo, sem causas aparentes, naturais ou acidentais; impossibilidade de combustão espontânea, devido, por exemplo, às condições climáticas; ocorrência em local improvável ou intensidade pronunciada em determinado ponto da estrutura; presença de odores característicos de acelerantes; entre outros (ALMIRALL, 2004, pág. 79).

Nesses casos, utiliza-se um agente químico, normalmente um líquido altamente inflamável, para acelerar a intensidade da fase de ignição e potencializar a área incendiada. No entanto, é importante destacar que, no âmbito da engenharia civil, a questão dos incêndios criminosos é pouco abordada, culminando com a escassez de informações e procedimentos utilizados em sua investigação.

Entre as dificuldades encontradas por órgãos e profissionais da área forense está a limitada quantidade de recursos disponíveis, tornando imperiosa a necessidade de se otimizar a coleta de amostras, sendo necessário, portanto, melhor conhecer as condicionantes envolvidas na coleta e identificação da presença de acelerantes de combustão em amostras obtidas em locais de incêndio. Ainda, o correto entendimento dos mecanismos de evaporação destes líquidos permitirá orientar o tempo mais apropriado para a realização da coleta.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Assim, define-se o problema de pesquisa como a necessidade de estudar os parâmetros envolvidos no processo de coleta de amostras de materiais contendo acelerantes de combustão, em especial, avaliar a influência do tempo de coleta destes materiais na viabilidade de suas identificações posteriores em laboratório. Para tanto, a avaliação será realizada a partir do estudo de sua deposição em substratos mais comumente encontrados em incêndios, bem como o processo de análise química destas substâncias pela Divisão de Química Forense do Instituto-Geral de Perícias do Rio Grande do Sul.

Tem-se como objetivo geral da pesquisa entender como o parâmetro “tempo de coleta” influencia na identificação da presença de líquidos acelerantes de combustão em materiais coletados em estruturas sujeitas a incêndio. Com isto será possível afirmar, dentro dos limites da pesquisa, o período de tempo de maior probabilidade de sucesso na coleta e processamento das amostras. Para tanto, a pesquisa tem como objetivos específicos a proposição de uma metodologia de ensaio experimental que vise a avaliação do comportamento evaporativo de um acelerante de combustão em substratos mais comumente encontrados em locais sujeitos a incêndio, além do estudo do comportamento de cada conjunto de amostras (substrato/acelerante).

Conforme Frysingher (2002), além da vasta lista de acelerantes de combustão, a análise química é dificultada quando o líquido é sujeito ao calor do incêndio ou às atividades de combate ao fogo, incluindo-se nestes reveses a presença de voláteis originados da pirólise de outros materiais no local, tais como plásticos, espumas, nylon, materiais vinílicos, entre outros.

Possivelmente, a partir dos resultados encontrados, será estabelecido um período de tempo no qual a metodologia utilizada para coleta, armazenagem e processamento das amostras, em conjunto com a capacidade laboratorial disponível, trará maior percentual de probabilidade na identificação dos compostos pretendidos. Este esforço é de suma importância para orientação do processo de investigação forense, indicando os tempos máximos de realização dos exames periciais para coleta de amostras, findo os quais poderá ser exaurida a capacidade de identificação dos acelerantes, ainda que os mesmos tenham sido empregados no incêndio.

Diante das limitações presentes no escopo de um trabalho de pós-graduação, bem como as diversas restrições econômicas e de disponibilidade dos equipamentos para execução dos



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

exames laboratoriais, a presente pesquisa focará na investigação da influência do tempo de coleta de amostras de substratos mais comumente encontrados em perícias de incêndio, neste caso, representados pela espuma, utilizando-se o acelerante de combustão **Gasolina Comum Tipo C** (Nº FISPQ: BR0051). Optou-se pela utilização de solo por se tratar de um material potencialmente promissor para este tipo de análise, não sendo verificada grande atenção por parte dos profissionais da perícia criminal neste tipo de material. Assim, com intuito de se explorar as possibilidades envolvendo um tipo de substrato adicional, decidiu-se pela utilização de solo como um dos materiais utilizados na pesquisa.

Para a investigação da influência do tempo serão definidos intervalos de coleta, tendo como intuito delimitar o espaço de tempo dentro do qual ainda é possível identificar a presença de acelerantes de combustão para uma dada combinação de líquido/substrato, além da capacidade laboratorial disponível.

Importante destacar que a presente pesquisa foi desenvolvida em conjunto pelos engenheiros Mateus Bonamigo e Diogo Posenatto, os quais se utilizaram da mesma metodologia de ensaio experimental e exames de análise química, variando-se, no entanto, o tipo de substrato. A realização da atual pesquisa em conjunto tem por finalidade incrementar o leque de materiais avaliados, uma vez que, na prática, as perícias em incêndio envolvem uma vasta combinação de possibilidades entre tipos de substratos e líquidos acelerantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Entre os milhares de incêndios constatados anualmente no Brasil, além de muitos casos que acabam ficando à margem dos registros e estatísticas oficiais, estão aqueles produzidos deliberadamente, seja para obter vantagens financeiras, como forma de ameaça ou vingança, e até mesmo para ocultar outros crimes. Segundo dados do Corpo de Bombeiros Militar do RS (CBMRS, 2020), até o mês de agosto de 2020 já teriam sido atendidas mais de 16.000 ocorrências de incêndio no estado do Rio Grande do Sul, sendo quase 6.000 destes casos em Porto Alegre e região metropolitana. Entre os anos de 2018 e 2019, o IGP-RS realizou mais de 800 perícias relacionadas a incêndios.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

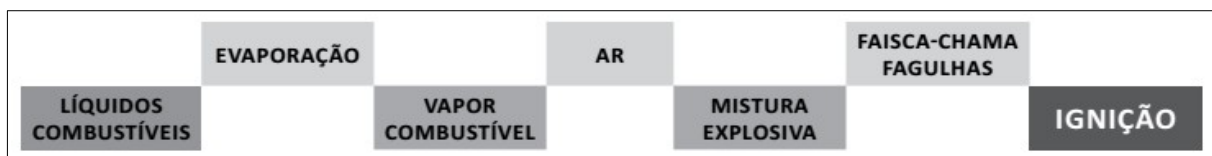
www.ufrgs.br/esci
(2020)

Conjuntamente a outros fatores, a conclusão acerca da causa de um determinado incêndio pode encontrar, através do exame minucioso dos resíduos deste incêndio, um dos pilares que sustentam a tese de intencionalidade, destacadamente através da detecção e identificação de líquidos inflamáveis, acelerantes de combustão, que podem ter sido empregados na deflagração do sinistro. Entretanto, a típica cena de crime de incêndio é a antítese daquela ideal: apresenta um grande rastro de destruição (DEHAAN, 2007).

Muitos incêndios ocorrem em edificações construídas com paredes de madeira e telhados de fibrocimento, comumente construídas de forma precária. Embora este tipo de habitação apresente carga de incêndio próxima daquelas verificadas em edificações construídas em alvenaria, geralmente a queima ocorre de forma muito intensa e rápida, reduzindo ou até mesmo comprometendo os vestígios para a perícia (SEITO, 2008).

Um combustível líquido, através da ação do calor e conseqüente evaporação, combina os vapores liberados com o oxigênio presente no ar, produzindo uma mistura inflamável que, através de uma energia de ativação, como uma chama, inflama-se (Figura 1). Desta forma, são os vapores emanados dos líquidos, e não diretamente estes, que mantêm a chama. Contudo, para que isto ocorra, a mistura vapor/oxigênio formada deve estar compreendida entre os limites inferior e superior de inflamabilidade de cada substância. No caso da gasolina, substância inflamável comumente utilizada como acelerante de combustão, esses limites estarão situados entre 1,4% e 7,7% (em volume).

Figura 1: mecanismo de ignição do combustível líquido.



(fonte: SEITO *et al.*, 2008)

Segundo ARAGÃO (2020), num incêndio, grande parte dos acelerantes são consumidos pelo fogo, geralmente deixando padrões típicos de queima. Os vapores emanados pelo derramamento de uma substância volátil, como a gasolina, espalham-se no ambiente em direções ascendente e lateral em relação à poça formada. Uma pequena parte, isto é, frações

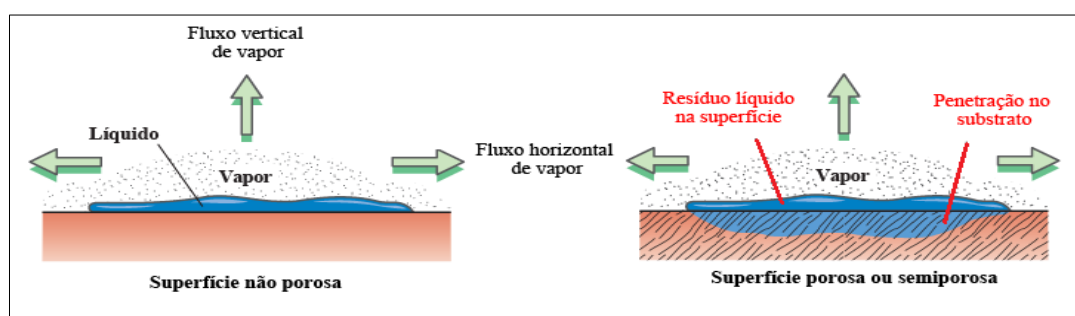


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

dos acelerantes, podem ser carregadas pela água utilizada no combate, infiltradas em locais que possibilitam maior preservação, e absorvidas por materiais porosos, de forma que, antes de evaporarem completamente, podem permanecer por horas, até mesmo dias. Tal fato depende, dentre outros fatores, da volatilidade da substância e das condições ambientais na qual ela se encontra (Figura 2).

Figura 2: representação de líquido derramado sobre superfície não porosa (à esquerda) e sobre superfície porosa ou semiporosa (à direita).



(fonte: adaptado de DEHAAN (2007) pelos autores)

Dentro de um ambiente fechado, por exemplo, a utilização de uma quantidade considerável de acelerante poderia consumir o oxigênio disponível para a reação, fazendo com que uma porção da substância não seja consumida. Já a água utilizada na extinção de um incêndio pode retardar a vaporização, através do resfriamento, cobrindo, embebendo e isolando o líquido inflamável.

Além da volatilidade da substância utilizada como acelerante e das condições ambientais de exposição (temperatura, circulação de ar, interferências com água, etc), diversos outros fatores influenciam a possibilidade de sucesso na detecção de uma substância, entre eles: a quantidade e solubilidade do acelerante utilizado, a intensidade do incêndio, a preservação do local incendiado após o incêndio e, focos maiores deste estudo, a porosidade do material (substrato), o tempo transcorrido entre o incêndio, a coleta e o exame laboratorial, adequados procedimentos de coleta e acondicionamento da amostra, e uma análise laboratorial especializada (BERTSCH e REN, 2007).

Dentre alguns dos diversos materiais comumente encontrados em locais de incêndio, mais porosos e que poderiam absorver e reter por mais tempo resíduos de acelerantes, pode-se citar



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

as madeiras, tecidos, carpetes, rodapés de paredes, espumas e terra. Já aqueles materiais não porosos ou impermeáveis não solúveis representam, geralmente, substratos com baixas chances de preservação dos remanescentes de acelerantes de queima, até mesmo por curtos espaços de tempo (ARAGÃO, 2020).

As espumas de poliuretano (PU) são utilizadas na fabricação de muitos materiais, como em colchões, sistemas de isolamento acústico, automóveis e estofamentos. Contudo, sua utilização gera muita controvérsia, visto que existem no mercado aquelas que não possuem resistência ao fogo, que pode ser obtida pelo uso de retardantes, através de compostos que reduzem a inflamabilidade, característica que é requerida em diversas aplicações. As espumas de poliuretano comuns são altamente inflamáveis, sofrendo ignição com qualquer chama aberta (DEHAAN, 2007). A combustão da espuma de poliuretano libera, entre outros gases, monóxido de carbono (CO) e gás cianídrico ou cianeto (HCN), favorecidos por combustão incompleta em ambientes com menor concentração de oxigênio. São gases tóxicos e causadores de diversas tragédias, a exemplo do clube *The Station* (EUA, 2003), da discoteca *Cromagnon* (Argentina, 2004) e da boate *Kiss* (Brasil, 2013), três casos semelhantes ocorridos num intervalo de 10 anos e que vitimaram fatalmente mais de 500 pessoas.

A Instrução Técnica 14/2018: *Carga de Incêndios nas Edificações e Áreas de Risco* (Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo, 2018) define a carga específica de incêndio para espuma em 3000 MJ/m²; comparativamente, as queimaduras de 1º grau na pele, através de radiação térmica, seriam produzidas com 4,5 kW/m² (BROWN, 2014).

Em experimento prático realizado com colchão DeHaan (2007), constatou-se que um colchão de tamanho queen e um edredom, inflamados por uma chama dentro de um quarto (medindo 3,35 m x 4,27 m x 2,74 m) geraram *flashover* em pouco mais de cinco minutos.

A avaliação das velocidades de combustão das espumas flexíveis de poliuretano são determinadas pela NBR 9178-2015: *Espuma flexível de poliuretano - Determinação das características de queima* (ABNT, 2015), sendo classificadas em espuma convencional, anti-chamas ou auto-extinguível, de acordo com a velocidade de queima, medida em mm/min., de um corpo de prova.

Em relação aos líquidos acelerantes, conforme destacado pela NFPA 921 (NFPA, 2017), algumas características daqueles estão diretamente relacionadas com suas coletas como



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

evidências materiais: facilidade de absorção pela maioria dos componentes estruturais, móveis e resíduos de incêndios; geralmente, flutuam em contato com água, embora o álcool seja uma exceção; e possuem notável preservação, quando dentro de materiais porosos.

A busca e localização de amostras que possam indicar a utilização de líquidos inflamáveis num local incendiado é um grande desafio dentro do rol de atividades na investigação de incêndios. Embora muitas vezes estejam presentes sinais e padrões de queima característicos que indicam uso de acelerante, noutras situações, por outro lado, uma queima muito intensa não representa, necessariamente, a utilização de tais substâncias.

No que diz respeito a meios de detecção preliminares, que podem auxiliar durante as buscas por líquidos ou resíduos de substâncias eventualmente empregados como acelerantes, faz-se importante o conhecimento de características organolépticas destes, isto é, o reconhecimento de características como coloração, aspecto e odor, visto que grande parte dos produtos empregados como acelerante de combustão tem odor próprio, servindo de orientação para um reconhecimento (TOCHETTO, 1995). Contudo, como bem observa Aragão (2020), deve-se atentar para a natural falibilidade humana, podendo-se confundir odores. Existem produtos liberados na combustão, como, por exemplo, estireno e substâncias insaturadas, que apresentam odor semelhante a gasolina (GLORIA, 2014). Plásticos fundidos podem conter traços de combustíveis petrolíferos, inclusive.

A utilização de instrumentos de pesquisa, como detectores de hidrocarbonetos, deve ser considerada como meio auxiliar. Tais equipamentos eletrônicos são destinados ao uso em campo para aumentar a probabilidade de localização e obtenção de amostras. Há, também, a possibilidade de utilização de cães farejadores, apontado como recurso mais eficiente nesta tarefa, entretanto, devido aos elevados custos envolvidos, é pouco utilizado no Brasil. Segundo exposto na NFPA 921 (NFPA, 2017), o objetivo do uso de cães farejadores é a seleção de amostras com maior probabilidade de confirmação a ser realizada em laboratório, porém, embora os cães possam desenvolver certa habilidade para distinguir produtos da pirólise de líquidos inflamáveis, eles também estão sujeitos a falhas, devendo ser utilizados em conjunto com outros métodos de investigação e análise.

O tempo de sobrevivência de alguns líquidos inflamáveis quando expostos ao ar pode variar muito, desde um tempo elevado (“indefinidamente”) para aqueles com baixa facilidade de



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

evaporação, até poucos minutos, para outros mais voláteis, conforme Aragão (2020). No caso da gasolina, substância classificada como de alta evaporação, essa sobrevida estaria compreendida, de forma geral, no intervalo entre algumas horas até alguns dias (Tabela 1). O mesmo autor expõe que, de forma prática, esse tipo de líquido não subsiste por mais de quatro dias (96h).

Tabela 1: Volatilidade de alguns líquidos inflamáveis expostos ao ar.

Tipo de líquido inflamável	Facilidade de evaporação	Sobrevida quando exposto (tempo)
Éter	Muito alta	Minutos
Acetona	Muito alta	Minutos
Álcool isopropílico	Alta	Vários minutos
Gasolina	Alta	Várias horas/dias
Solvente de tinta	Alta	Alta à fraca
Óleo mineral	Baixa	Indefinidamente
Óleo de motor	Baixa	Indefinidamente

(fonte: adaptado de ARAGÃO (2020) pelos autores)

Em um estudo realizado por Lozcalzo (*apud* DEHAAN, 2007), visando a detecção de resíduos de acelerante de queima, neste caso com emprego de gasolina, foi testada a detectabilidade dos resíduos em variados intervalos de tempo, variando-se também o tempo permitido de queima da gasolina. Utilizando-se compensado, carpete e solo como substratos, e através do exame de cromatografia gasosa, os resíduos de gasolina puderam ser identificados por até 24 horas em carpete, chegando a 162 horas no caso de solo. Conforme DeHaan, em testes mais recentes realizados com pequenas quantidades de gasolina aplicadas em sapatos e peças de vestuário (jeans), armazenados em local fechado e a 22 °C, a gasolina não queimada foi detectada por menos de 24 horas naqueles objetos. Já nos testes em carpete, porém estando o mesmo armazenado em ambiente externo e com temperatura variando de 5 °C a 15 °C, a detecção foi positiva após transcorridos 7 dias (DEHAAN, 2007). Pode-se perceber uma notável diferença, relacionando, entre outros fatores, a influência do substrato e de condições de temperatura na detecção de acelerante.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

A qualidade da coleta, o adequado acondicionamento e a preservação de amostras de resíduos de líquidos inflamáveis são etapas fundamentais do processo que visa um resultado positivo através da análise laboratorial. Uma forma de garantir coletas e análises adequadas de amostras é a observação de normas internacionais da ASTM, referentes a análises de resíduos de incêndios, a exemplo da ASTM E1.618-19: *Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples by Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (ASTM International, 2019) e, principalmente, da ASTM E1.387-10: *Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples by Gas Chromatography* (ASTM International, 2010).

Os métodos mais adequados para coletas de amostras são determinados por diversos fatores, conforme a NFPA 921 (NFPA, 2017) como: estado físico (sólido, líquido ou gasoso); características físicas (tamanho, forma e peso); fragilidade da amostra; e volatilidade. No caso de coleta de amostras em estado líquido, absorvidas por materiais como solo e espuma, pode ser realizada através de escavação ou remoção de partes do conjunto (substrato mais o líquido absorvido), com profundidades variáveis de acordo com a permeabilidade do material. Em situações sugestivas de líquido acelerante retido em materiais como concreto, por exemplo, pode ser utilizado método que consiste na dispersão de material absorvente sobre a superfície do concreto que, após cerca de 30 minutos, deve ser coletado e armazenado em recipiente hermético, passando posteriormente por processo de extração em laboratório.

Seguindo nos aspectos atinentes à coleta, é de fundamental importância que a mesma seja realizada por meio de materiais e instrumentos descartáveis ou descontaminados para cada amostra. Tal requisito visa evitar contaminações através de transferências involuntárias de resíduos de líquidos inflamáveis de uma amostra para outra. As contaminações podem ocorrer, também, devido a fatores como armazenamento inadequado, descuidos no encaminhamento da amostra, no transporte, ou pela circulação indevida de pessoas no local (ARAGÃO, 2020).

É possível notar ainda um número reduzido de trabalhos de pesquisa que tenham como foco a coleta em campo dos vestígios forenses. Uma possível causa para os escassos trabalhos relacionados ao tema pode ser dada por Almirall (2004, pág. 78), que aponta a unicidade de cada cenário de incêndio, trazendo ao investigador a responsabilidade para determinar os



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

vestígios de interesse e os procedimentos mais apropriados para a coleta e preservação desses itens. Para este autor as evidências mais coletadas em um cenário de suspeita de incêndio criminoso são materiais como pedaços de piso e móveis, carpete, entre outros. Um dos maiores interesses na coleta destes materiais é a identificação da presença ou não de acelerantes de combustão (ALMIRALL, 2004, pág. 79).

O armazenamento das amostras deve seguir algumas premissas: ser realizado em recipientes herméticos, que retardem a evaporação de voláteis pelo maior tempo possível; devem ser novos e descontaminados, mantidos separadamente de outros já utilizados e afastados de áreas possivelmente contaminadas. Outra característica necessária aos recipientes é que os mesmos não reajam quimicamente com as amostras acondicionadas; tampas de plástico ou borracha, por exemplo, nunca devem ser utilizadas, visto que gasolina, solventes e outros hidrocarbonetos voláteis podem dissolver esses materiais (DEHAAN, 2007).

Para acondicionamento de amostras, os recipientes tipo *vial* são bastante utilizados. Trata-se de pequenos frascos de vidro incolor, dotados de tampa metálica com septo de teflon/PTFE, as quais fechadas por rosca ou através de crimpagem visam minimizar a evaporação. Sua vantagem reside no fato de ser vedado no momento da coleta; assim, a amostra não precisará ser retirada ou manipulada para análise. No exame, o septo é perfurado por agulha, reduzindo as perdas de voláteis.

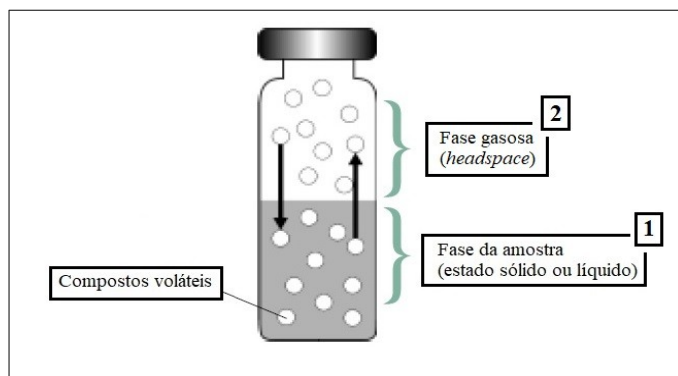
Durante a coleta, os *vials* não devem ser totalmente preenchidos, pois necessitam de espaço livre sobre os resíduos armazenados no emprego da técnica *headspace*, que basicamente se constitui no espaço ocupado pela fase gasosa, no qual estarão difusos os componentes de voláteis da amostra, após o aquecimento da mesma (Figura 3).



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 3: amostra em *vial* com representação das fases e técnica *headspace*.



(fonte: Adaptada de RESTEK (2000) pelos autores)

Após a coleta e acondicionamento, as amostras devem ser mantidas em ambiente refrigerado e enviadas para análise laboratorial com a maior brevidade possível. Já no laboratório, caso as análises não sejam realizadas de imediato, as amostras devem ser congeladas, visando sempre a melhor preservação possível dos voláteis.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Como parte do estudo proposto, faz-se necessário o estabelecimento de um método para obtenção e coleta das amostras, armazenamento e ensaio laboratorial, a fim de se aportar rigor científico às análises realizadas. Entre as necessárias definições estão a escolha dos intervalos de tempo entre as coletas, bem como as circunstâncias ambientais de armazenamento, e o procedimento de execução e coleta da amostra. Tais apontamentos visam à obtenção de amostras com a maior similitude possível de características e condições àquelas encontradas em campo pelos profissionais envolvidos com as atividades de investigação das causas de incêndios.

3.1 Materiais

Para a execução do ensaio experimental foram escolhidos dois tipos de substratos e um tipo de acelerante de combustão. Estas escolhas basearam-se nos limites de amostras possíveis de



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

serem analisadas, conforme contatos com o IGP. Como já mencionado, a escolha destes materiais foi balizada pelas situações mais comumente vivenciadas em atividades profissionais dos autores do presente trabalho.

Visando reduzir os custos associados ao experimento, para o acondicionamento das amostras durante o ensaio, optou-se pela utilização de embalagens descartáveis de alumínio do tipo “marmitex” de 250 ml.

Para envio das amostras coletadas ao laboratório, empregou-se frascos de vidro do tipo *vial* com capacidade de 20 ml, compatíveis com os equipamentos laboratoriais. As amostras do líquido acelerante, bem como dos substratos originais (para comparação), foram coletadas em recipientes de vidro.

3.1.1 Espuma

Para o experimento com a espuma, foi utilizado um bloco de espuma flexível de poliuretano de densidade 18, sem revestimento, tipo comumente utilizado em colchões simples infantis e de custo relativamente baixo. O número da densidade (D18), definida pela NBR 8537/2015 (ABNT, 2015), é obtido pela divisão da massa de um corpo de prova (em gramas) pelo volume do corpo de prova (em centímetros cúbicos), sendo o resultado multiplicado por 1000. De outra forma, este número indica a quantidade de matéria-prima (em quilogramas) necessária para produzir um metro cúbico da espuma (kg/m^3).

3.1.2 Solo

O solo coletado foi peneirado (peneira com abertura de 6.3 mm), conforme supramencionado, antes da realização dos testes. Ainda, uma amostra reservada deste solo foi aquecida em estufa, até atingir constância no peso e, utilizando-se instrumentos de laboratório, foram medidos pesos e volume (Figura 4), calculando-se densidade e umidade do solo. Através de fórmulas estabelecidas para o cálculo de índices físicos, que relacionam os pesos específicos, obteve-se o índice de vazios (e) e, posteriormente, com o índice de vazios conhecido, a porosidade (n), encontrando-se, respectivamente, índice de vazios igual a 0,57 ($e=0,57$) e



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

porosidade de 36% (n=36%), caracterizando-se como um solo arenoso de porosidade média (IAEG, 1979).

Figura 4: análise de amostra do solo.



3.2 Método

Inicialmente, optou-se pela realização de estudos quanto à existência de métodos previamente propostos para a coleta de resíduos em locais de incêndios. Neste sentido, foi possível observar a existência de uma vasta literatura relacionada aos procedimentos para exames laboratoriais, em especial, àqueles envolvendo os exames de cromatografia gasosa, bem como estudos e desenvolvimentos quanto às técnicas e cuidados na coleta de amostras. No entanto, o mesmo não pode ser dito quando se buscam estudos similares ao escopo da presente pesquisa, não tendo sido encontrados volume substancial de trabalhos descrevendo a relação entre os tipos de acelerantes e substratos associados a diferentes tempos de coleta.

Quando se trata de assuntos relacionados à atividade de perícia criminal, o documento de referência inicial é o Procedimento Operacional Padrão da SENASP (SENASP, 2013), que procura padronizar as principais atividades da perícia criminal, uniformizando o processo de produção da prova técnica em nosso país. No entanto, como mencionado, verifica-se a



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

ausência de procedimentos específicos para a coleta de materiais em locais sujeitos a incêndio neste documento. Por sua vez, o Instituto-Geral de Perícias do Rio Grande do Sul dispõe de documento a respeito destas atividades, intitulado “Procedimento Operacional Padrão IGP-ECE-001”. Neste procedimento é possível verificar orientações a respeito da melhor forma de acondicionamento dos vestígios, a partir do tipo de amostra a ser coletada, indicando que caso a amostra apresente apenas traços da substância suspeita, deverá ser feita a coleta do suporte onde a substância está impregnada e acondicionada em *vial* com tampa de rosca. Caso a amostra seja substância em estado líquido com reduzido volume, deverá ser coletado em *swab* e armazenado em *vial* com tampa de rosca. Se houver volume abundante da amostra em estado líquido pode-se armazenar em frascos de vidro ou em microtubos do tipo *Eppendorf*.

Entre as literaturas de interesse relacionadas, destacamos as normas da AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM E2225-19a, ASTM E1492-11 e ASTM E1459-13, as quais tratam sobre o manuseio e armazenagem das amostras coletadas em locais de incêndio.

Assim, como método, propõe-se o desenvolvimento de sistemática experimental para ensaio e coleta das amostras, que seja de fácil reprodutibilidade e baixo custo, permitindo que outros testes sejam realizados com novos conjuntos de substratos e líquidos acelerantes. A seguir, são apresentados os detalhes desta proposição.

3.3 Mapa de coleta de amostras (planilha de referência)

Para execução do ensaio experimental proposto partiu-se da elaboração de uma planilha de referência (“mapa de coleta”) para indexação de cada amostra. Definiu-se para cada combinação de substrato/acelerante um período de coleta de quinze dias, onde foram propostas a tomada de seis amostras: no transcorrer de 6h da queima; após 18h da queima; após 42h da queima; 120h (5º dia); 168h (7º dia); e, por fim, 336h, ou seja, no 15º dia após a queima.

Em função das limitações de quantidades de amostras a serem analisadas em laboratório, algumas combinações de amostras somente foram realizadas uma vez, dada sua maior probabilidade de resultado positivo. Tal situação pode ser observada na amostra de substrato



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

submetido ao líquido acelerante, sem a realização de queima, com coleta realizada em 6h. Importante destacar que optou-se pela coleta de amostras não submetidas à queima para verificar o limite de detecção da presença de acelerantes submetidos às condições naturais de evaporação do ambiente. Neste caso, referências teóricas apontam a possibilidade de detecção de traços de acelerantes em amostras coletadas após 40 dias do incêndio (FERNANDES, 2005, pág. 30).

Tabela 2: mapa de coleta de amostras para o substrato **solo** combinado com gasolina.

Tabela - Solo + Gasolina																		
Amostra do Líquido		A1																
Amostra do Substrato Solo		A2																
Substrato	Período de Coleta																	
	6h			18h			42h			120h (5° dia)			168h (7° dia)			336H (15° Dia)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Solo	A4	A6	A9	A18	A21	A24	A36	A39	A42	A54	A57	A60	A72	A75	A78	A90	A93	A96
	-	A7	A10	A19	A22	A25	A37	A40	A43	A55	A58	A61	A73	A76	A79	A91	A94	A97
	-	A8	A11	A20	A23	A26	A38	A41	A44	A56	A59	A62	A74	A77	A80	A92	A95	A98

Tabela 3: mapa de coleta de amostras para o substrato **espuma** combinado com gasolina.

Tabela - Espuma + Gasolina																		
Amostra do Substrato Espuma		A3																
Substrato	Período de Coleta																	
	6h			18h			42h			120h (5° dia)			168h (7° dia)			336H (15° Dia)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Espuma	A5	A12	A15	A27	A30	A33	A45	A48	A51	A63	A66	A69	A81	A84	A87	A99	A102	A105
	-	A13	A16	A28	A31	A34	A46	A49	A52	A64	A67	A70	A82	A85	A88	A100	A103	A106
	-	A14	A17	A29	A32	A35	A47	A50	A53	A65	A68	A71	A83	A86	A89	A101	A104	A107

3.4 Ensaios preliminares

Tendo em vista a ausência de conhecimento sobre o comportamento dos conjuntos de substratos e acelerantes, os autores realizaram uma série de ensaios preliminares para determinar as condições a serem utilizadas posteriormente, de forma a melhor compatibilizar



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

a fidedignidade dos testes com eventuais situações reais de incêndio e também viabilizar adequada coleta de amostras.

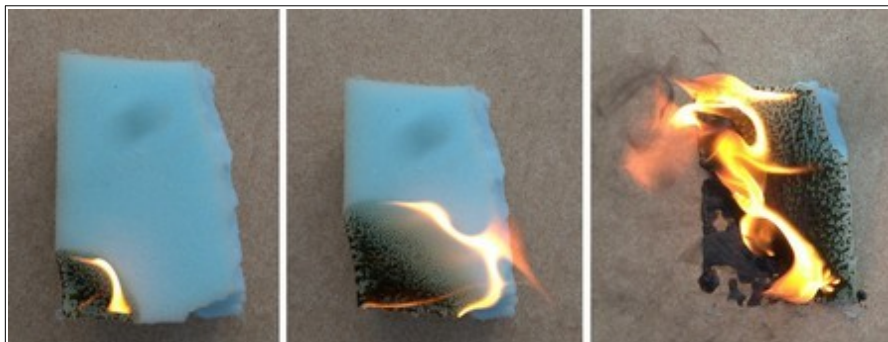
O bloco de espuma original foi dividido em partes menores, que mediam, aproximadamente, 10 cm de comprimento, 8 cm de profundidade e 5 cm de espessura, totalizando um volume de 400 cm³ cada, sendo acondicionados em recipientes de alumínio (*marmitex*) de 250 cm³ de capacidade. Este foi o padrão adotado posteriormente nos ensaios. Optou-se por maior volume das amostras de espuma em virtude da rápida queima constatada. Foram testadas situações de ignição da espuma (sem utilização de acelerante e em ambiente aberto) com palitos de fósforo, as quais mostraram-se improdutivas, e com acendedor multiúso, que facilmente iniciou a queima quando em contato com a espuma (Figura 5).

Figura 5: ignição de amostra com utilização de acendedor e sem acelerante de combustão adicionado.



Após a ignição, mediu-se a evolução da queima livre de uma amostra, sendo apresentadas, na sequência, as progressões das chamas após 10, 30 e 60 segundos, respectivamente (Figura 6):

Figura 6: progressão da queima da espuma (10, 30 e 60 segundos).





Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

A queima total da espuma ocorreu após transcorridos 120 segundos, restando decomposta em resíduos num estado semilíquido (Figura 7):

Figura 7: remanescentes após queima total da espuma.



Para a queima de cada uma das amostras colocadas dentro das embalagens de alumínio, foram utilizados 30 ml de gasolina, cujo espalhamento sobre a superfície ocorreu na direção da maior dimensão da peça, visando não concentrar o acelerante num ponto da amostra. A profundidade de penetração e a área de espalhamento estão relacionados, entre outros fatores, com a natureza da superfície sobre a qual uma substância é despejada, de forma que aquelas superfícies semiporosas, como de madeira bruta ou concreto, permitem certa penetração com conseqüente redução proporcional na área da poça, quando comparadas com dispersão sobre superfícies não porosas, como uma cerâmica esmaltada. Já materiais mais porosos podem proporcionar maiores profundidades de penetração, contudo, dispersas em áreas menores (DEHAAN, 2007).

Na Figura 8, à esquerda, é exibido o momento de ignição de uma amostra contendo gasolina, de acordo com o critério de espargimento adotado; à direita, na amostra superior, é possível perceber a superfície de espargimento do combustível em tonalidade amarelada, na direção da maior dimensão e, na amostra inferior, observa-se o resultado da queima após transcorridos 30 segundos. Destaca-se uma queima intensa, consumindo rapidamente o entorno da poça de gasolina, mas preservando melhor o volume abaixo da superfície de espargimento. Este fato, verificado também nas demais amostras, pode ter ocorrido devido a uma mistura ainda muito rica em gasolina nessa região, no instante em que foi realizada extinção. A forma de

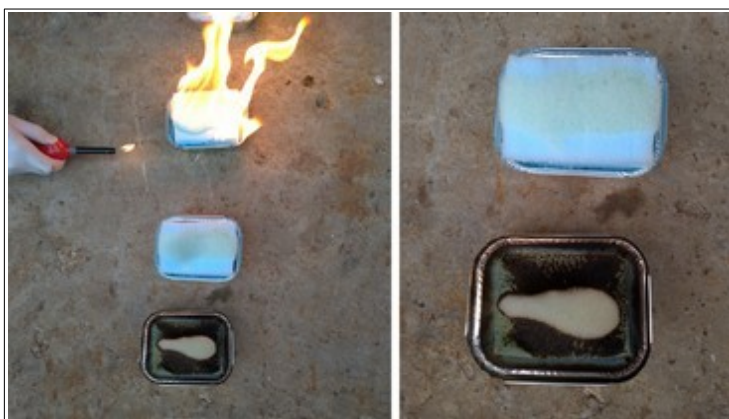


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

espalhamento do acelerante sobre um material pode influenciar as condições de combustão, como a temperatura máxima e, dessa forma, a quantidade e composição dos traços de acelerante residuais (BORUSIEWICZ, ZIE e ZADORA, 2006).

Figura 8: amostras de espuma.



Na Figura 9, apresenta-se amostras de espuma com gasolina instantes após a ignição e medição da temperatura com termômetro infravermelho, que registrou 403 °C em dado momento.

Figura 9: amostras com espuma após ignição e medição da temperatura.



Para extinção das chamas na espuma, após 30 segundos da ignição, utilizou-se um recipiente metálico que envolvia todo o conjunto. Desta forma, reduzia-se a quantidade de comburente disponível, através de abafamento, até ocorrer a extinção. Observou-se, na prática, que a



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

utilização de água para combate às chamas não era eficaz, havendo reação da água com compostos presentes na espuma e alastramento do fogo.

Para o solo foi realizada verificação das condições de queima, oportunidade na qual constatou-se que a utilização de aproximadamente 30 ml de gasolina levava a uma queima de 10 minutos.

3.5 Cenários de pesquisa adotados

Para execução do ensaio experimental propôs-se três cenários compatíveis com as situações mais comumente encontradas em perícias reais:

Cenário I – A amostra foi submetida exclusivamente ao líquido inflamável, sem queima;

Cenário II – A amostra foi submetida ao líquido inflamável e submetida à chama direta para ignição, deixando que o fogo se extinguísse naturalmente;

Cenário III – A amostra foi submetida ao líquido inflamável e submetida à chama direta para ignição, efetuando-se a extinção do fogo após determinado prazo.

Durante testes preliminares à execução do experimento, observou-se um consumo bastante rápido das amostras de espuma. No caso do cenário II, a extinção natural do fogo levava quase ao consumo completo das amostras, o que inviabilizaria os ensaios. Por este motivo, optou-se, no caso das amostras de espuma no Cenário II, a extinção das amostras por abafamento tendo como premissa a visualização de uma quantidade mínima de espuma ainda presente na amostra. Para o cenário III, novamente em virtude da rápida queima da espuma, adotou-se o prazo de 30 segundos para extinção do fogo por meio de abafamento.

Em relação ao solo, como já mencionado, a utilização de aproximadamente 30 ml de gasolina levava a uma queima de 10 minutos. Por este motivo, para o cenário III para as amostras de solo, utilizou-se como parâmetro para extinção das chamas o tempo de 5 minutos. A tabela 4 apresenta um resumo descritivo dos cenários adotados nos experimentos.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Tabela 4: descrição dos cenários experimentais empregados em cada tipo de substrato.

Substrato	Volume de acelerante	Cenário
Solo	30 ml de gasolina comum	Cenário I – adição de acelerante, sem queima
		Cenário II – adição de acelerante, queima, sem extinção (queima completa em aprox. 10 min)
		Cenário III – adição de acelerante, queima, com extinção por água após 5 minutos de queima
Espuma	30 ml de gasolina comum	Cenário I – adição de acelerante, sem queima
		Cenário II – adição de acelerante, queima, com extinção por abafamento (parâmetro visual da quantidade de amostra)
		Cenário III – adição de acelerante, queima, com extinção por abafamento após 30 segundos de queima

3.6 Ensaio Experimental

O procedimento adotado para cada conjunto de substrato/acelerante pode ser descrito em cinco etapas como a seguir:

a) Etapa 1: Cada substrato foi particionado em frações de volume/peso semelhantes para cada amostra. No caso do solo, foram utilizadas embalagens de alumínio (tipo “*marmitex*”) de volume aproximado de 250 ml, conferindo a amostra uma massa aproximada de 200 g. As amostras de solo foram obtidas em terreno próximo ao prédio do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME), em Porto Alegre-RS (Figura 10). Neste sentido, ainda que o solo tenha sido peneirado - utilizou-se peneira com abertura de 6.3 mm (1/4”) - observou-se grande variação do peso, possivelmente em decorrência de dois condicionantes: o teor de umidade do solo e a variação na quantidade de matéria orgânica presente em cada amostra (Figura 11).

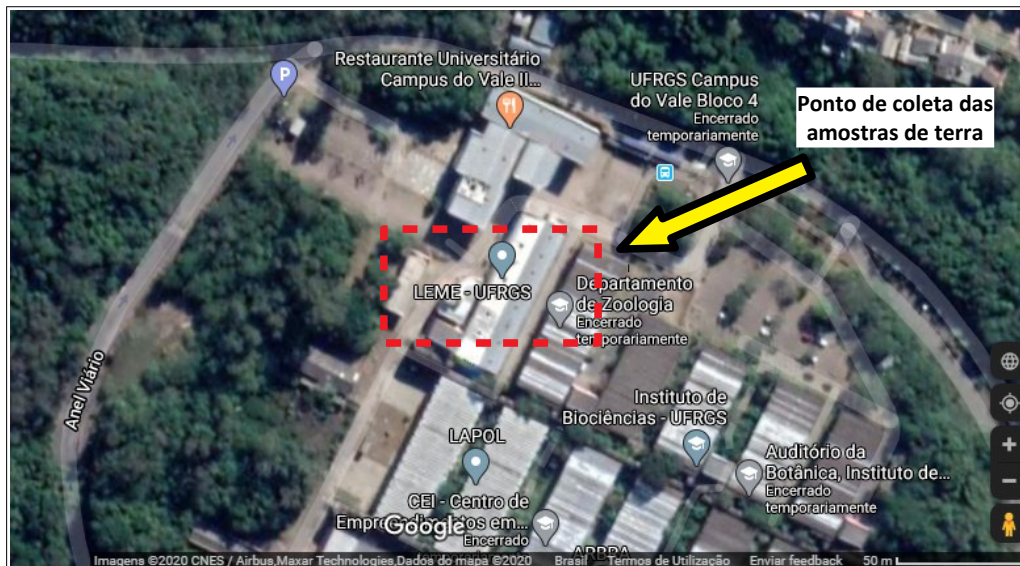


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Neste ponto, duas observações são realizadas: a primeira delas refere-se à necessidade de melhor uniformização das amostras, uma vez que a região escolhida para obtenção do solo apresentava uma significativa quantidade de folhas, raízes, além de pedras de volume grande para as embalagens adotadas. Assim, optou-se pela peneiração do material para a obtenção de um agregado miúdo. A segunda observação a ser realizada é que mesmo identificando-se a quantidade de umidade presente no solo, optou-se por adotar o material sem uma secagem¹. Tal escolha se deveu ao fato de procurar a menor influência nas condições naturais encontradas no local, tal como seria encontrado numa situação real de perícia de incêndio. Como apresentado ao final, observa-se que a presença de água, com origem na umidade ou na matéria orgânica presente nas amostras, pode influenciar o resultado obtido, tratando-se de parâmetro a ser melhor estudado em pesquisas futuras.

Figura 10: local de obtenção das amostras de solo.



(fonte: Google Maps, adaptada pelos autores)

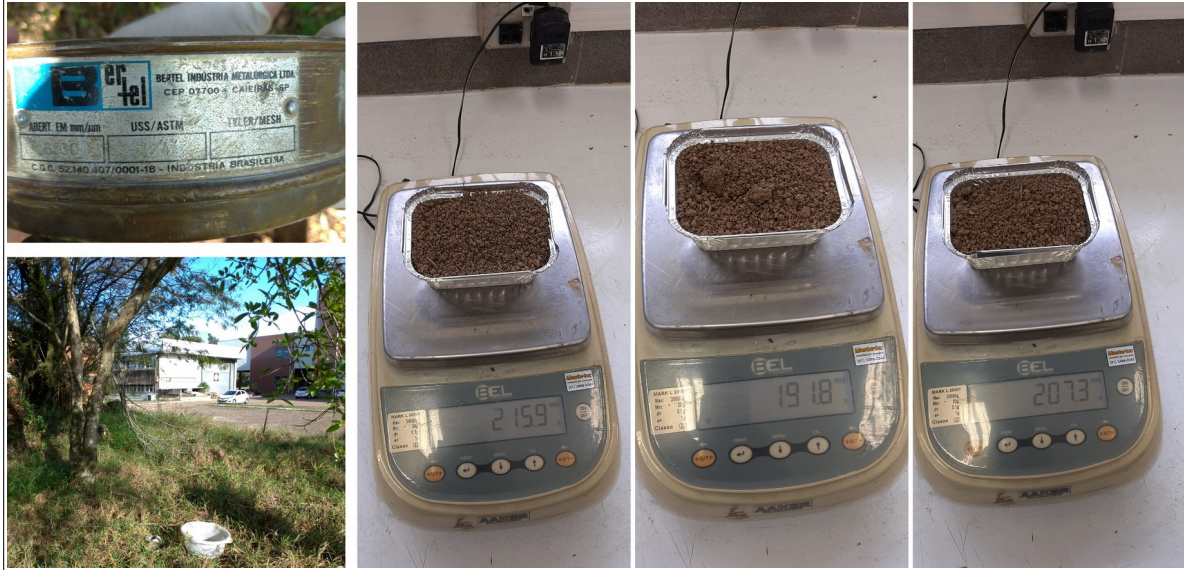
1 Como descrito nos resultados para o solo, optou-se pela secagem de três amostras com a finalidade de identificar a possível influência dos parâmetros citados. Como mencionado, foram encontrados indícios de que tais condições podem ter influência no resultado final. No entanto, pelas limitações do presente trabalho, este estudo não será abordado, sugerindo-se tais tratativas em pesquisas futuras.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 11: solo utilizado no experimento.



A espuma utilizada foi obtida através de um bloco de espuma flexível de poliuretano, utilizada em colchões simples, sendo fracionado em blocos menores que mediam, aproximadamente, 10 cm x 8 cm x 5 cm, totalizando volumes aproximados de 400 cm³ (Figuras 12 e 13).

Figura 12: amostras de solo e espuma distribuídas antes da queima.





Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 13: detalhe das amostras de solo e espuma distribuídas antes da queima.



b) Etapa 2: Após o fracionamento dos substratos, com base nos testes preliminares, foi definido o método de embebedimento das amostras com o acelerante escolhido (gasolina comum tipo C). Para tanto utilizou-se recipiente padronizado com **30 ml de volume**, o qual foi despejado na região central das amostras.

c) Etapa 3: As amostras que foram escolhidas para serem sujeitas à ação do fogo foram expostas à chama direta, em local aberto e presentes os meios de extinção requeridos para o controle das chamas provocadas na amostra (Figura 14). Parte das amostras foi exposta à ação das chamas sem o controle subsequente e parte teve as chamas extintas após determinado tempo, conforme já explanado. Para a cessação do fogo foi utilizado um borrifador de água em temperatura ambiente (amostras de solo), utilizado volume de água suficiente para a extinção do fogo na amostra. No caso das espumas optou-se pelo abafamento, devido à dificuldade em se extinguir o fogo das amostras com o borrifador de água.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

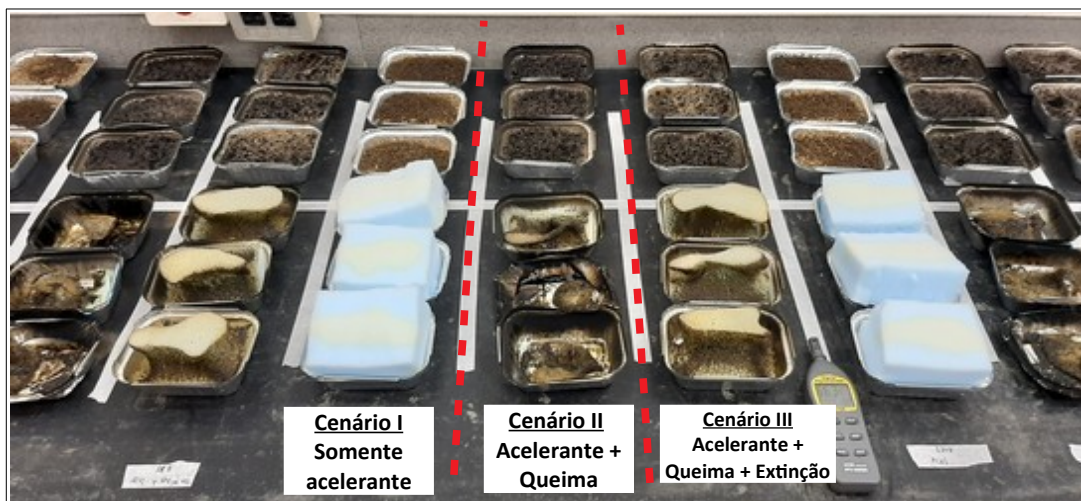
www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 14: queima das amostras.



d) Etapa 4: Após a execução das três etapas (cenários I, II e III) para todos os conjuntos de amostras, as mesmas foram acondicionadas em sala com controle de temperatura e umidade no Laboratório LEME da UFRGS. O *setup* dos parâmetros climáticos no local tentaram simular as condições ambientais médias encontradas no estado do Rio Grande do Sul no período de verão. Optou-se pela temperatura média de 25 °C e umidade de 70% (Figura 15).

Figura 15: montagem com fotografia, mostrando os três cenários.





Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

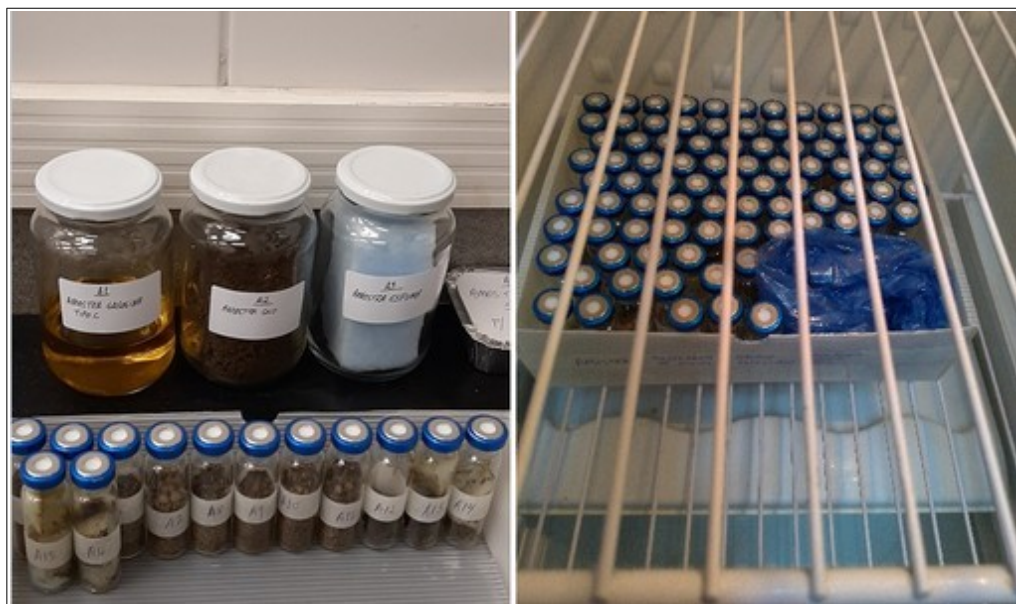
Para o conteúdo de cada amostra (*vial*) optou-se pelo procedimento de coletar parcelas de substrato em três pontos, conforme figura a seguir (Figura 16). No caso do solo, coletou-se na região central, à esquerda, à direita e no centro da embalagem, nas camadas mais superficiais. No caso da espuma, foram realizados três recortes nas mesmas posições.

Figura 16: pontos de coleta.



e) Etapa 5: Seguindo o mapa de coleta de amostras (item 3.2), realizou-se a coleta e acondicionamento em recipientes do tipo *vial*. As amostras foram mantidas em ambiente refrigerado até seu envio para o Departamento de Perícias Laboratoriais do IGP (Figura 17).

Figura 17: acondicionamento das amostras.





Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

3.6.1 Dados ambientais do ensaio

A seguir são apresentados os dados ambientais da sala onde foram mantidas as amostras. O calendário de coletas inicialmente proposto foi cumprido parcialmente em função das restrições de acesso ao LEME impostas pela pandemia do COVID-19, ocorrida no período de execução dos ensaios. O agendamento para acesso ao local foi feito de maneira a se aderir o máximo ao calendário inicialmente proposto (Tabela 5).

Tabela 5: Tabela comparativa das condições de coleta previstas e efetivas, bem como das condições climáticas do espaço no qual as amostras foram mantidas.

	6h	18h	42h	120h	168h	336h
Coleta prevista	29/06/20 20h00	30/06/20 08h00	01/07/20 08h00	04/07/20 14h00	06/07/20 14h00	13/07/20 14h00
Coleta efetiva	29/06/20 20h40	30/06/20 08h50	01/07/20 10h37	03/07/20 21h30	06/07/20 21h10	13/07/20 15h10
	Tempo: 05h10	Tempo: 18h50	Tempo: 44h37	Tempo: 103h30	Tempo: 175h10	Tempo: 337h10
Temperatura	20,5 °C	20,8 °C	21 °C	26 °C	24,1 °C	24,3 °C
Umidade relativa do ar	64%	66%	52%	30%	40%	38%

4 EXAMES LABORATORIAIS

Os materiais coletados foram analisados em um cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chama, marca *VARIAN*, modelo *CP-3800*, com amostrador automático *COMBI PAL CTC Analytics*. A coluna capilar empregada foi a *OPTIMA-WAX* (0,25 µm x 30 m x 0,25 mm) e o gás de arraste, Hélio 5.0. O equipamento pertence ao Departamento de Perícias Laboratoriais do Instituto-Geral de Perícias do Rio Grande do Sul.

A amostragem foi feita por *headspace*, onde o *vial*-padrão (fechado com tampa metálica, dotada de septo de teflon/PTFE) contendo a amostra foi aquecido a 90 °C por 10 minutos, após os quais, 900 µL do conteúdo gasoso presente no espaço superior do frasco foi injetado



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

na coluna capilar através do injetor aquecido (250 °C), separado em seus vários componentes e detectado pelo detector de ionização de chama (280 °C) (Figura 18).

Figura 18: equipamentos utilizados na análise laboratorial.



Conforme Farah (2012), a cromatografia gasosa permite separar os constituintes da fração de petróleo de acordo com a atração relativa dos componentes por uma fase estacionária e por uma fase móvel. Assim, uma pequena quantidade da amostra é injetada em uma região aquecida do equipamento, vaporizada e transportada pelos gases de arraste, passando, por fim, em uma coluna contendo uma fase estacionária. Nessa última fase, em função da polaridade, ocorre a separação dos componentes da amostra. Os componentes com menor afinidade pela fase móvel atravessam a coluna de forma mais rápida do que aqueles atraídos pela fase estacionária. A concentração de cada componente é apresentada no cromatograma, que indica o tempo de retenção e a voltagem medida pelo detector. Estes cromatogramas obtidos são então comparados com aqueles disponíveis como padrão para determinada substância, confirmando ou não a sua presença na amostra.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)








5 RESULTADOS

Os resultados das análises laboratoriais, bem como as considerações pertinentes a cada combinação de substrato e acelerante são apresentados nos itens a seguir, conforme requisitos para conclusão do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança contra Incêndios. O item 5.2 apresenta os resultados relativos à combinação do substrato solo com o acelerante gasolina, com as conclusões do Eng. Mateus Bonamigo Zupiroli. Por sua vez, o item 5.3 traz os resultados para o substrato espuma, também utilizando-se a gasolina, informações elencadas pelo Eng. Diogo Schwengber Posenatto.

5.1 Tabela de resultados

Apresenta-se, a seguir, os resultados obtidos para o conjunto de amostras sujeitas ao acelerante **GASOLINA COMUM TIPO C**, conforme metodologia experimental discutida no presente trabalho. Os resultados das análises dos resíduos de incêndio para a tabela de amostragem foram descritos em sete categorias, conforme tabela a seguir:

Tabela 6: Cores representativas dos resultados obtidos após análise laboratorial das amostras.

	Gasolina
	Gasolina Parcialmente evaporada
	Etanol mais gasolina parcialmente evaporada
	Etanol mais voláteis sem perfil
	Mistura de voláteis sem perfil
	Mistura de voláteis sem perfil (mais evaporado)
	Negativo

A partir da categorização dos possíveis resultados (Tabela 6), são apresentados a seguir os dados obtidos com o processamento das amostras, conforme tabela de amostragem proposta inicialmente:



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Tabela 7: resultados obtidos para o conjunto de amostras com substrato solo e gasolina.

Solo + Gasolina																		
Substrato	Período de Coleta																	
	6h			18h			42h			120h (5° dia)			168h (7° dia)			336H (15° Dia)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Solo	A4	A6	A9	A18	A21	A24	A36	A39	A42	A54	A57	A60	A72	A75	A78	A90	A93	A96
	-	A7	A10	A19	A22	A25	A37	A40	A43	A55	A58	A61	A73	A76	A79	A91	A94	A97
	-	A8	A11	A20	A23	A26	A38	A41	A44	A56	A59	A62	A74	A77	A80	A92	A95	A98

Tabela 8: resultados obtidos para o conjunto de amostras com substrato espuma e gasolina.

Espuma + Gasolina																		
Substrato	Período de Coleta																	
	6h			18h			42h			120h (5° dia)			168h (7° dia)			336H (15° Dia)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Espuma	A5	A12	A15	A27	A30	A33	A45	A48	A51	A63	A66	A69	A81	A84	A87	A99	A102	A105
	-	A13	A16	A28	A31	A34	A46	A49	A52	A64	A67	A70	A82	A85	A88	A100	A103	A106
	-	A14	A17	A29	A32	A35	A47	A50	A53	A65	A68	A71	A83	A86	A89	A101	A104	A107

5.2 Comentários aos resultados para o substrato solo

Com base nas tabelas apresentadas no item 5.1, é possível verificar que os extremos da lista de classificação dos resultados (“Gasolina” e “Negativo”) compreendem respectivamente os resultados positivo para o perfil de gasolina, ou seja, o cromatograma obtido no exame laboratorial se adequou ao padrão para o tipo de acelerante pesquisado, disponível no Departamento de Perícias Laboratoriais, e o resultado negativo para a ocasião de não terem sido encontrados traços sugestivos da presença deste tipo de acelerante.

Os demais resultados intermediários traduzem o encontro de perfis que não se adéquam inteiramente ao padrão do tipo de acelerante, no entanto, sugerem a presença do mesmo, ou de parte de seus constituintes, como é o caso da presença de etanol. Importa destacar que a gasolina tipo A, produzida pelas refinarias, não contém etanol anidro. Por sua vez, a gasolina

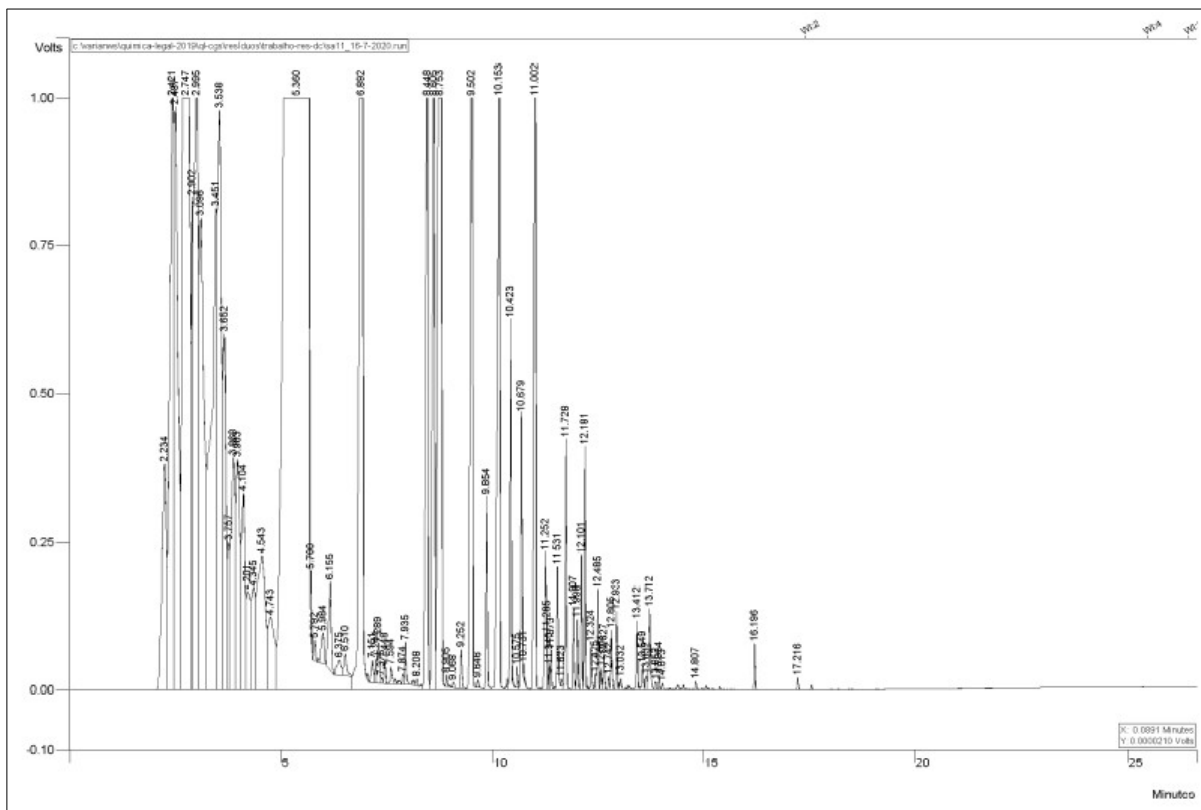


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

tipo C, utilizada no presente experimento, é o tipo comercializado nos postos e recebe a adição de etanol anidro² nas distribuidoras, em percentual indicado pela legislação federal. Para melhor visualização do relatado acima, são apresentados a seguir dois cromatogramas obtidos nos ensaios laboratoriais para o substrato solo. No eixo das abscissas é apresentado o tempo e no eixo das ordenadas a medição de voltagem, indicativa da detecção de determinado composto. O primeiro deles representa o resultado obtido para a amostra n° 11 (Figura 19), cujo resultado foi positivo para a presença de gasolina:

Figura 19: cromatograma para a amostra n° 11.



² O etanol hidratado, utilizado nos carros com tecnologia “flex”, possui água no teor de 7%, em média. O etanol anidro misturado às gasolinas brasileiras é isento de água. O percentual obrigatório de etanol anidro combustível na gasolina de classificação comum é de 27%, conforme Resolução CIMA (Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool) n° 1/2015.



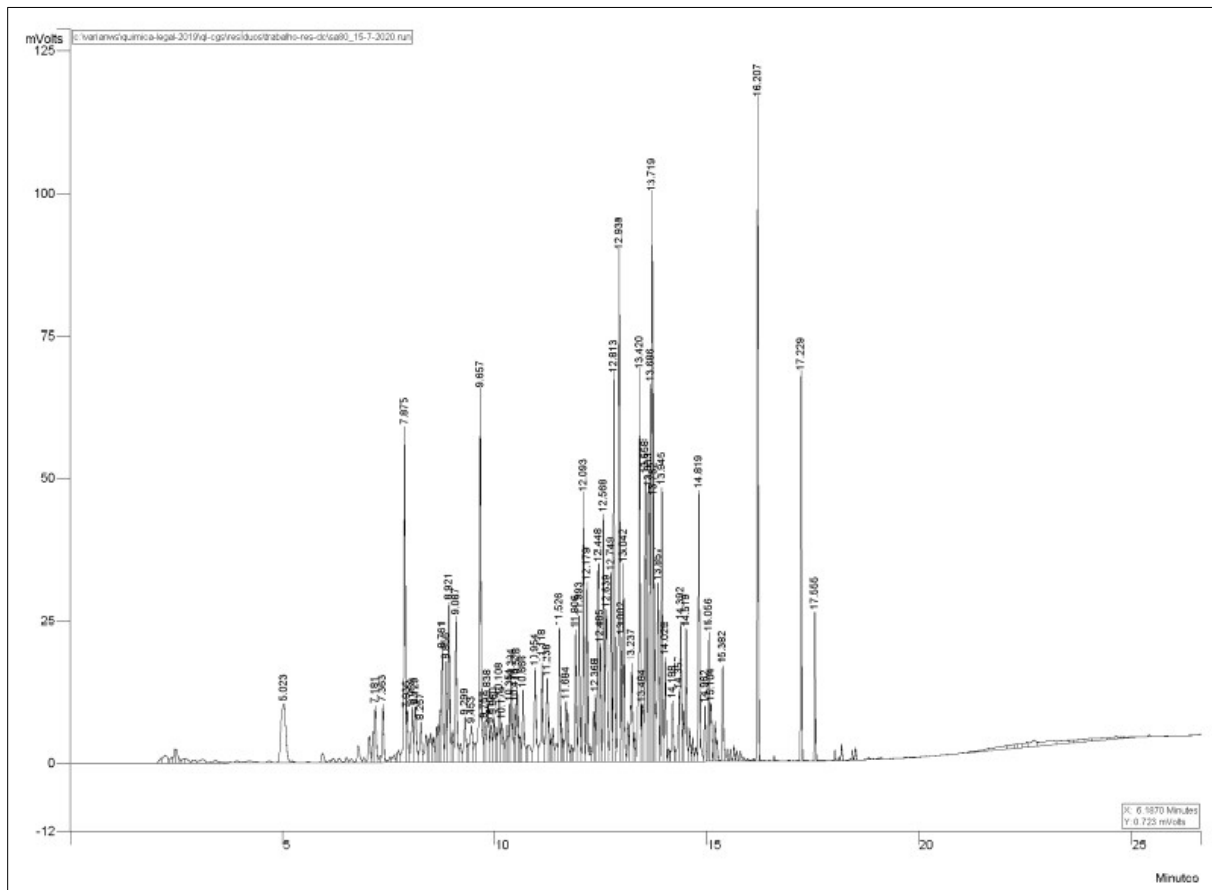
Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Por sua vez, o próximo cromatograma (Figura 20) apresenta o resultado obtido para a amostra n° 80 (mistura de voláteis sem perfil). É possível notar uma significativa mudança no perfil encontrado entre as Figuras 19 e 20.

É relevante mencionar a importância dos resultados intermediários entre a combinação plena com o padrão e o negativo. Como é possível notar no presente estudo (Tabela 7), o transcorrer do tempo, bem como as condicionantes ambientais, como meteorologia, forma de extinção, entre outros, pode influenciar sobremaneira nos processos químicos, permitindo que sejam identificados apenas parte dos compostos (perfil intermediário). Neste sentido, é importante que os resultados dos ensaios laboratoriais compreendam resultados parciais, uma vez que ainda que não se adéquem perfeitamente ao padrão, possam sugerir a presença de algum tipo de acelerante.

Figura 20: cromatograma para a amostra n° 80.





Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Verifica-se que para o período de 6h após o evento, foram encontrados resultados positivos para quase todas as amostras estudadas. Para as amostras coletadas na faixa das 18h percebeu-se a presença da identificação de Etanol em todos os exames. Conforme descrito nas conclusões gerais do experimento, tal condição não foi observada para o substrato espuma e um dos possíveis fatores contribuintes para tal resultado pode ser dado pela ocorrência de uma extração seletiva do etanol, separando voláteis da gasolina³. Esta situação pode ter ocorrido em função do alto grau de umidade das amostradas de terra coletadas, bem como pelo fato da extinção de parte das amostras ter ocorrido com o borrifo de água.

Neste sentido, durante a execução do experimento, e a partir da observação do alto grau de umidade presente no solo, foram selecionadas três amostras de solo, duas delas submetidas a um período de 160 min e uma terceira amostra submetida a um período de 30 min⁴ na estufa disponível no LEME, em temperatura de aproximadamente 100 °C. Conforme tabela abaixo (Tabela 9), foram observados os seguintes percentuais de água:

Tabela 9: Características das amostras de solo.

Amostras coletadas e submetidas ao forno por 2h43 em temperatura aproximada de 98 °C. A amostra A93 foi mantida por apenas 30 min na estufa.			
Amostra	Massa - amostras úmidas	Massa - amostras secas	% de água em relação ao peso inicial
A23	185,9 g	167,3 g	10,01%
A59	197,6 g	177,5 g	10,17%
A93	179,8 g	175,2 g	2,56%

A partir das tabelas 7 e 9, nota-se que uma das amostras submetidas à secagem na estufa apresentou resultado negativo de forma antecipada (amostra A59), em desacordo com as demais amostras submetidas às mesmas condições e parâmetros de coleta. O resultado negativo na identificação de resíduos de acelerantes nesta amostra pode se dever ao solo mais

3 Trata-se de fenômeno similar àquele utilizado para confirmação do percentual de álcool na gasolina em postos de combustíveis (“teste da proveta”). Quando a água entra em contato com a gasolina, separa o álcool que antes estava misturado naquela. Tal fenômeno ocorre em razão da porção polar da molécula de álcool (Grupo OH) ser atraída pela molécula de água, também polar.

4 A referida amostra permaneceu por um tempo menor em função da intenção de ser feito um acompanhamento da taxa de evaporação, bem como da quantidade de água presente no solo. A partir da constatação do alto teor de umidade, optou-se por deixar as demais amostras por um maior tempo no forno.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

seco, que pode ter contribuído para a evaporação, tratando-se de uma variável a ser melhor estudada em estudos futuros.

As amostras coletadas na faixa de 42 horas apresentaram mais da metade dos resultados com a identificação de, ao menos, parte dos compostos do acelerante utilizado (Etanol), ainda que já sejam percebidas dificuldades na detecção deste composto para as amostras submetidas à ação do fogo (cenários II e III). A partir deste período não foi mais possível categorizar a presença de Etanol, sendo identificados apenas voláteis sem perfil e, posteriormente, apenas resultados negativos para a detecção do acelerante. No caso dos voláteis sem perfil, devido à ausência de compatibilidade com a distribuição padrão do perfil do acelerante, não é possível confirmar se os compostos encontrados referem-se à determinada substância.

Os resultados apresentados na Tabela 7 vão ao encontro de estudos similares⁵ produzidos recentemente (SILVA *et al.*, 2020), indicando a possibilidade de detecção de compostos acelerantes após 42 horas no substrato solo. No entanto, a qualidade dos resultados dos perfis indica a urgência na coleta dos vestígios, de forma a se formar uma prova mais robusta na seara forense.

5.3 Comentários aos resultados para o substrato espuma

Um fator importante a ser considerado na análise da espuma de poliuretano é o estado físico do material. No caso de espumas flexíveis de baixa densidade, as células são mais abertas, apresentando maior área superficial e maior permeabilidade ao ar, resultando numa velocidade de queima maior. A relação superfície-massa (área de superfície em proporção à massa) tem grande influência na velocidade de queima; as amostras utilizadas possuíam, em média, 400 cm³ e apenas 7 g, o que resulta em elevado fator superfície-massa e, conseqüentemente, queima elevada. Desta forma, o tempo de queima decorrido e consumo rápido do material podem influenciar negativamente a possibilidade de sucesso na detecção.

⁵ SILVA, Enzo Matheus Carmo da; ROTA, Alexandre; NEIVA, Rodrigo; COSTA, Nelice; SOUZA, Bernardo; SOUSA, Daniel. Desenvolvimento de metodologia de baixo custo para geração de amostras de resíduos de incêndio em solo usando etanol. Revista Brasileira de Criminalística, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 139-143, 8 jul. 2020. Associação Brasileira de Criminalística - ABC.

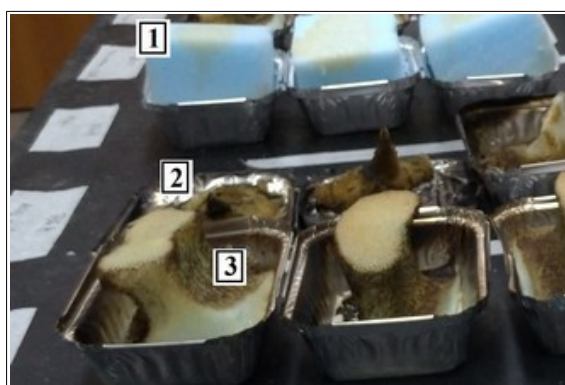


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Nas amostras de **espuma sem queima**, escolheu-se coletar fragmentos em três pontos próximos à superfície - Figura 16 e Figura 21 (1). Nas amostras submetidas à **queima quase total**, procurou-se coletar três fragmentos em pontos mais preservados – Figura 21 (2). Nas amostras do terceiro cenário, que apresentavam uma situação intermediária de queima, os três fragmentos de cada amostra foram extraídos sob superfícies queimadas - Figura 21 (3).

Figura 21: resíduos após queima total da espuma.



Na Tabela 8, mostra-se que foi detectada gasolina nas amostras coletadas em todos os cenários até 18h após a queima. De forma geral, as triplicatas não apresentaram muitas variações.

Em três amostras de 6h (A5, A12 e A14), os exames já apontaram maior evaporação da gasolina (cor verde claro), que ocorreram nas condições sem queima (cenário I) e com queima quase total (cenário II). Chamou atenção, inicialmente, o fato de que numa condição onde o acelerante é absorvido pela espuma, sem combustão do mesmo (cenário I), e que esperava-se haver maior preservação do acelerante, foi constatado um resultado “menos favorável” (*gasolina parcialmente evaporada*) do que aqueles obtidos na condição com queima parcial, seguida de extinção (cenário III) (*gasolina*). Contudo, deve-se considerar, entre outros aspectos, os diferentes locais/condições de coleta e, no caso do cenário III, a coleta em pontos sob o material degradado, onde o mesmo poderia constituir uma “camada de proteção”, favorecendo a preservação.

Nas 18h, o resultado de gasolina parcialmente evaporada foi constatado em todos os cenários e amostras coletadas. A partir de 42 horas após a queima, foi constatado um perfil compatível com gasolina em apenas uma amostra (A45). As demais amostras apresentavam voláteis (cor



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

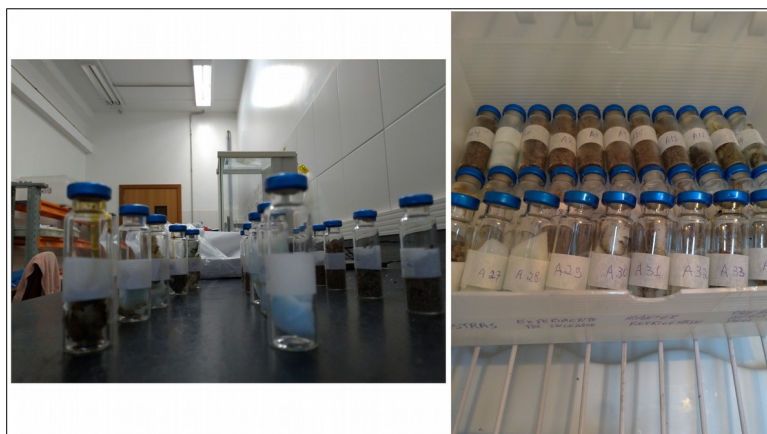
www.ufrgs.br/esci
(2020)

amarela), entretanto são *misturas de voláteis sem perfil*, cujo cromatograma não apresenta os picos característicos e distribuição do perfil-padrão da gasolina, não permitindo caracterizar ou afirmar que pertencem a um grupo específico.

As coletas programadas para 6h, 18h e 42h foram realizadas após decorridas 5h10, 18h50 e 44h37 dos testes, sendo constatadas umidades relativas do ar que variaram de 52% a 64%. Acreditamos que tais variações não tiveram efeitos significativos nos resultados das análises. Nas amostras coletadas no período de 120 horas (5 dias), em apenas duas foram detectados voláteis misturados (A66 e A 67). As demais desse período, além de todas as amostras de 168 e 336 horas, apresentaram resultados negativos (cor vermelha). Nas coletas programadas para 120h, 168h e 336h, houve maiores diferenças constatadas nas umidades medidas no momento da coleta, em relação a umidade relativa do ar pretendida de 70%, oscilando entre 30% e 40%, podendo causar maiores interferências nos resultados. Contudo, segundo estudos realizados e citados anteriormente, as chances de detecção considerando esta janela temporal já fica muito reduzida.

Após a coleta e acondicionamento, as amostras foram mantidas sob refrigeração (0 a 5 °C) (Figura 22) e, ao término da coleta do último lote (336 horas), foram levadas ao Departamento de Perícias Laboratoriais do IGP, sendo analisadas após transcorridos dois dias.

Figura 22: amostras de espuma e solo acondicionadas em *vials*.



Além das amostras coletadas em *vials*, foram separadas amostras de controle da espuma e solo utilizados (amostras brancas). No caso da espuma, para avaliar e comparar os produtos



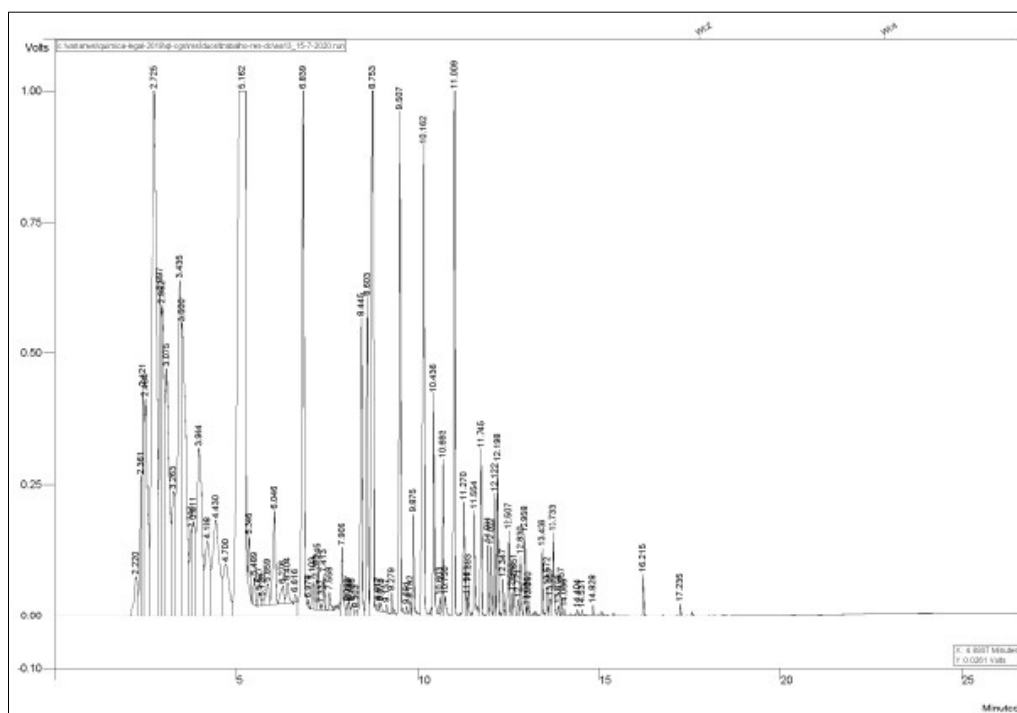
Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

produzidos pela mesma, sem gasolina, após combustão. Muitos compostos presentes em líquidos inflamáveis podem ser produzidos através da queima de materiais sintéticos comuns; contudo, os laboratórios qualificados possuem padrões de referência e buscam padrões mínimos que devem estar presentes para fornecer um resultado positivo (NFPA, 2017).

Nos exames realizados pelo Departamento de Perícias Laboratoriais do IGP, foi utilizado um cromatógrafo gasoso acoplado a detector de ionização de chama (GC-FID), utilizando a técnica de *headspace*. Assim, foram obtidos cromatogramas - gráficos relacionando tempo (em minutos) com sinais elétricos produzidos por íons (em volts), durante a combustão de compostos orgânicos - para cada amostra, onde cada pico representa um composto. No caso da gasolina, são detectados compostos como etanol, tolueno, xilenos (*orto-*, *meta-* e *para-*) e etil-benzeno. O cromatograma obtido a partir de cada amostra foi comparado com cromatogramas de amostras-padrão de gasolina e de gasolina parcialmente evaporada. Nas Figuras 23 e 24, são apresentados os cromatogramas referentes às amostras nº 13 e 50, que constataram a presença de gasolina e mistura de voláteis sem perfil, respectivamente.

Figura 23: cromatograma correspondente à amostra nº 13 (gasolina).

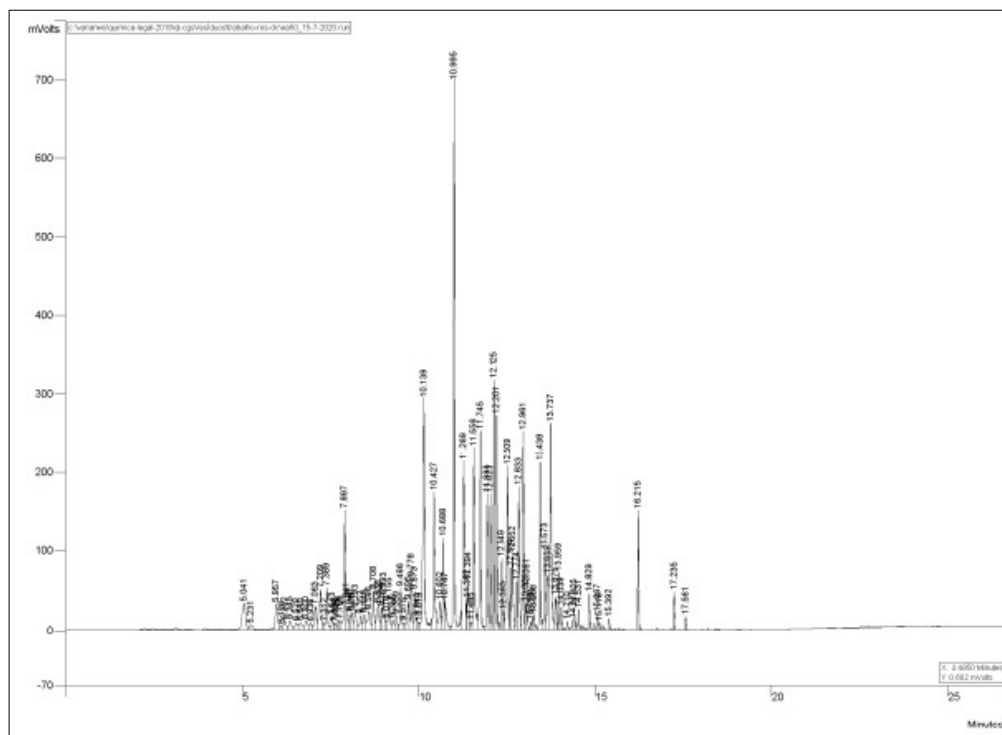




Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 24: cromatograma correspondente à amostra nº 50 (mistura de voláteis sem perfil).



Os resultados principais almejados, ou seja, a constatação de intervalos de tempo nos quais é possível identificar a presença de gasolina nos substratos utilizados, ou mesmo vestígios de hidrocarbonetos voláteis presentes na mesma, estão de acordo com as informações de pesquisas e experimentos levantados e referenciados ao longo deste estudo. O presente trabalho buscou focar alguns aspectos, dentre diversos outros, que estão envolvidos na complexa interação de fatores que resultam na possibilidade de detecção de acelerantes de queima.

6 CONCLUSÕES GERAIS

De um modo geral, para ambos os casos, os resultados obtidos concordam com a literatura sobre o assunto, indicando para a necessidade de celeridade na coleta dos resíduos, uma vez que a maior taxa de sucesso para a detecção dos acelerantes de combustão em ambos os



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

substratos estudados, nas condições simuladas no presente experimento, ocorre pela coleta na faixa das primeiras 18 horas desde o sinistro.

Verificou-se que, para os períodos de 6h e 18h após o evento, foram encontrados resultados positivos para gasolina em todas as amostras estudadas. Para as amostras de solo coletadas na faixa das 18h, percebeu-se a presença da identificação de etanol em todos os exames. Conforme descrito nas conclusões gerais do experimento, tal condição não foi observada para o substrato espuma, e um dos possíveis fatores contribuintes para tal resultado pode ser dado pela ocorrência de uma extração seletiva do etanol, separando voláteis da gasolina. Esta situação pode ter ocorrido em função do grau de umidade das amostras de solo coletadas, bem como pelo fato da extinção de parte das amostras ter ocorrido com o borrifo de água.

Em 42h, obteve-se resultados intermediários, com extração seletiva de etanol em amostras de solo e apenas uma amostra de espuma confirmando gasolina (parcialmente evaporada). Nas análises do solo, além dos quatro resultados presentes nas análises da espuma (*gasolina, gasolina parcialmente evaporada, mistura de voláteis sem perfil e negativo*), foram constatadas fases apresentando *etanol mais gasolina parcialmente evaporada, etanol mais voláteis sem perfil e mistura de voláteis sem perfil (mais evaporado)*. O solo, apesar de possuir certa quantidade de matéria orgânica, não é consumido como a espuma, apresentando um tempo para combustão da gasolina espargida notadamente maior, além das interações com a água presente, apresentando as demais fases intermediárias.

Em relação aos resultados obtidos, destacamos ainda a possível influência do teor de umidade e matéria orgânica nas amostras de solo, bem como da variação dos fatores ambientais para ambos os substratos. Como mencionado anteriormente no estudo, as amostras obtidas não foram sujeitas a pré-tratamento de secagem, como explanado, em razão da intenção de não se alterar sobremaneira as condições reais encontradas, pretendendo-se, assim, simular as condições encontradas em uma perícia real. No entanto, os resultados demonstraram a possibilidade de influência do teor de água, sugerindo um estudo específico deste parâmetro. Quanto a variação das condições ambientais, em função das limitações de equipamentos do laboratório, bem como a realização do estudo em um período de frio, notou-se que a manutenção da temperatura implicou na redução do teor de umidade de sala pelo aparelho de condicionamento de ar. Foram realizadas algumas tentativas de se manter a umidade no local,



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

no entanto, em razão do longo prazo e das restrições de acesso ao laboratório em função da pandemia (COVID-19), não obteve-se sucesso em manter o patamar sugerido de 70% de umidade relativa do ar. Com isto, acredita-se que houve uma redução na capacidade de detecção, favorecendo-se as taxas de evaporação do acelerante. No entanto, ainda que não tenham sido atingido este objetivo, acredita-se que os resultados são conservativos, uma vez que um maior teor de umidade implicaria possivelmente em maior sucesso na detecção do acelerante, pugnando pela aceitação de que os limites de tempo encontrados neste estudo possivelmente seriam expandidos.

Um ponto a se discutir é a possibilidade de indicação de tempo(s) máximo(s) para coleta nos protocolos relativos aos vestígios de incêndio. Acredita-se que, ainda que tal indicação possa ser feita, minimamente embasada em pesquisas deste tipo, para garantia do maior espectro possível de coleta de vestígios, deve o investigador forense realizar a coleta independente do tempo decorrido. Como diversos parâmetros podem influenciar a taxa de evaporação dos acelerantes, pugna-se por resguardar a probabilidade de detecção do combustível, ainda que as condições de coleta sejam desfavoráveis. No entanto, é de grande relevância explicitar nos laudos a influência dos parâmetros ambientais nos quais a amostra foi obtida, em especial, o tempo decorrido. Justifica-se assim o entendimento de que, ainda que não tenha sido encontrado vestígios de acelerante na amostra, não é possível descartar sua utilização, indicando que superado um certo patamar de tempo, a chance de detecção é mínima. Tais constatações também devem ser repassadas aos demais operadores da segurança pública, de forma a se maximizar a preservação dos locais de incêndio, bem como tratar o procedimento de requisição e realização da perícia dentro da urgência necessária.

Ao final do trabalho, e como sugestão para pesquisas futuras, ratifica-se a importância de melhor compreender o comportamento de cada conjunto de amostras (substrato + acelerante) ao longo do tempo. Neste sentido, sugere-se, utilizando a metodologia proposta, a comparação de outros substratos tais como rejunte de pisos cerâmicos, madeira, tecidos, entre outros, bem como outros tipos de líquidos acelerantes, como o diesel e aguarrás. Uma segunda linha de pesquisa pode ser dada pela verificação da influência do tempo de armazenagem na identificação dos acelerantes, tratando-se, agora, do tempo entre a coleta e o processamento em laboratório. Tal parâmetro é de fundamental interesse para delimitar o



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

tempo máximo que as amostras podem aguardar os exames de cromatografia, evitando-se, assim, a perda do vestígio.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto-Geral de Perícias, que, por meio dos servidores Lara Regina Soccol Gris, Clarissa Cassini Bettoni, Marcos Jose Souza Carpes, Viviane Fassina e Daniel Scolmeister, os quais tornaram possível a realização deste trabalho. Agradecemos, ainda, a colaboração dos profissionais do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da UFRGS, em especial, à professora Dra. Ângela Gaio Graeff, orientadora do presente trabalho, bem como ao técnico laboratorista Edgar Pereira.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMIRALL, José R.; FURTON, Kenneth G. **Analysis and interpretation of fire scene evidence**. Florida: CRC, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM E1387-10, **Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples by Gas Chromatography**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM E1459-13, **Standard Guide for Physical Evidence Labeling and Related Documentation**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM E1492-11, **Standard Practice for Receiving, Documenting, Storing, and Retrieving Evidence in a Forensic Science Laboratory**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM E1618-19, **Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples by Gas Chromatography-Mass Spectrometry**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM E2225-19a, **Standard Guide for Forensic Examination of Fabrics and Cordage**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.

ARAGÃO, R. F. **Incêndios e explosivos: Uma Introdução à Engenharia Forense**. 2^a ed. São Paulo: Millenium, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8537/2015: Espuma flexível de poliuretano - Determinação dada densidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9178/2015: Espuma flexível de poliuretano - Determinação das características de queima**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BERTSCH, W. and REN, Q. **The Chemical analysis of fire debris for potencial accelerants**. Handbook of Analytical Separations, volume 2, Forensic Science, p. 617-678. Elsevier, 2007.

BORUSIEWICZ, R.; ZIEŁBA-PALUS; ZADORA, G. **The Influence of the Type of Accelerant, Type of Burned Material, Time of Burning and Availability of Air on the Possibility of Detection of Accelerants Traces**. Article in Forensic Science International, August 2006.

BROWN, A. E. P. **O inaceitável ocorreu**. Publicado em 2013. Disponível em https://www.abho.org.br/wp-content/uploads/2014/02/artigo_oinaceitavelocorreu.pdf. Acesso em 24 ago. 2020.

CMBRS. **CBMRS completa três anos de emancipação com mais de 214 mil atendimentos realizados**. Disponível em <https://ssp.rs.gov.br/cbmrs-completa-tres-anos-de-emancipacao-com-mais-de-214-mil-atendimentos-realizados>. Acesso em 28 ago. 2020.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instrução Técnica nº 14/2018: Carga de Incêndios nas Edificações e Áreas de Risco. São Paulo, 2018.

DEHAAN, J. D; Icove, D. J. **Kirk's fire investigation**. 7th ed. Pearson, 2007.

FARAH, M. A. **Petróleo e seus derivados: definição, constituição, aplicação, especificações, características de qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

FERNANDES, M. E., **"Influência da amostragem e do tempo de armazenamento de resíduos de incêndios sobre a detecção de agentes acelerantes usando SPME-GC-MS"**,



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Relatório de Estágio Supervisionado, Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, p 30.

FRYSINGER, G. and Gaines, R. **Forensic Analysis of Ignitable Liquids in Fire Debris by Comprehensive TwoDimensional Gas Chromatography**. Journal of Forensic Sciences, Vol. 47, No. 3, 2002, pp. 471-482, <https://doi.org/10.1520/JFS15288J>. ISSN 0022-1198.

GLÓRIA, H. L. A. **Análise Química em Resíduos de Incêndios: Validação Pelo Método de Duplo Cego**. Dissertação de mestrado. IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2014.

IAEG. International Association for Engineering Geology. **Classification of rocks and soils for engineering geological mapping**. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v. 19. n. 1, 1979.

INSTITUTO-GERAL DE PERÍCIAS. Procedimento Operacional Padrão IGP-ECE-001. **Coleta de amostras para pesquisa de acelerantes de queima e explosivos**. Versão 01.

NFPA. **NFPA 921: Guide for Fire and Explosion Investigations**. National Fire Protection Association. 2017 Edition, Quincy, MA., 2017.

RESTEK. **A Technical Guide for Static Headspace Analysis Using GC**. Restek Corp, 2001. Disponível em <https://d1lqgfmy9cwjff.cloudfront.net/csi/pdf/e/rk67.pdf> - Acesso em 28 ago. 2020.

SEITO, A. I. et al. **A Segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SENASP. **Procedimento Operacional Padrão: Perícia Criminal**. Secretaria Nacional de Segurança Pública. Brasília: Ministério da Justiça, 2013. 242 p. : il.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

SENASP. **Relatório Descritivo – Perfil das Organizações de Segurança Pública. Secretaria Nacional de Segurança Pública.** Brasília: Ministério da Justiça, 2006.

SILVA, Enzo Matheus Carmo da; ROTA, Alexandre; NEIVA, Rodrigo; COSTA, Nelice; SOUZA, Bernardo; SOUSA, Daniel. **Desenvolvimento de metodologia de baixo custo para geração de amostras de resíduos de incêndio em solo usando etanol.** Revista Brasileira de Criminalística, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 139-143, 8 jul. 2020. Associação Brasileira de Criminalística - ABC.

TOCHETTO, D. et al. **Tratado de Perícias Criminalísticas.** Porto Alegre: Sagra-Luzzatto, 1995.

VILAR, W. D. **Química e Tecnologia de Poliuretanos.** 3ª Ed., Vilar Consultoria, Rio de Janeiro, 2004.