

ANÁLISE TERMOANALÍTICA DA DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE AGENTE EXTINTOR ABC APÓS EXPOSIÇÃO AO FOGO

Marcel Silveira¹

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

Patrícia Vieira de Oliveira²

<https://orcid.org/0000-0003-2587-3855>

Tadeu Luiz Alonso Pelozzi³

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

RESUMO

Extintores do tipo ABC, amplamente utilizados na proteção contra incêndios em ambientes residenciais, comerciais e industriais, podem alterar as propriedades físico-químicas do pó químico seco (PQS), com potencial impacto sobre seu desempenho após a exposição ao fogo. Apesar disso, há limitada literatura técnica sobre os efeitos da exposição térmica no desempenho do agente extintor após o evento. O presente trabalho avaliou o comportamento térmico de um agente extintor de incêndio do tipo ABC proveniente de um extintor exposto a um incêndio, comparando-o com um extintor novo do mesmo fabricante. As análises foram realizadas por calorimetria exploratória diferencial (DSC) e análise termogravimétrica (TGA), permitindo investigar alterações na estabilidade térmica e na composição do pó químico seco, majoritariamente composto por fosfato monoamônico. Os resultados demonstraram alterações térmicas significativas na amostra exposta ao incêndio, com redução de até 88 % na entalpia de decomposição na região superior do cilindro e aumento da fração residual identificado por TGA. As regiões central e inferior apresentaram comportamento intermediário, indicando aquecimento não homogêneo do cilindro. Essas modificações indicam degradação parcial do fosfato monoamônico, sugerindo possível redução do potencial de supressão de chamas do agente extintor.

Palavras-chave: Extintor ABC; PQS; Análise térmica; Fosfato monoamônico.

¹Doutor em engenharia química. Centro de Pesquisa e Inovação do CBMSC (CPIn).

²Pós-doutorado em engenharia de alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

³Especialista em Perícia de Incêndio. Oficial do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina—CBMSC.

ANALYTICAL ANALYSIS OF THE THERMAL DEGRADATION OF AN ABC FIRE EXTINGUISHING AGENT AFTER FIRE EXPOSURE

ABSTRACT

ABC-type fire extinguishers, widely used for fire protection in residential, commercial, and industrial environments, may undergo physicochemical changes in their dry chemical powder (DCP) after exposure to fire, potentially affecting its subsequent performance. Despite their widespread use, limited technical literature is available on the effects of thermal exposure on the post-fire performance of dry chemical extinguishing agents. This study evaluated the thermal behavior of an ABC fire extinguishing agent recovered from a fire-exposed extinguisher and compared it with that of a new extinguisher from the same manufacturer. Analyses were conducted using Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Thermogravimetric Analysis (TGA) to investigate changes in the thermal stability and composition of the dry chemical powder, predominantly composed of monoammonium phosphate. The results revealed significant thermal alterations in the fire-exposed sample, including a reduction of up to 88% in decomposition enthalpy in the upper region of the cylinder and an increased residual fraction observed by TGA. The central and lower regions exhibited intermediate behavior, indicating non-uniform heating within the cylinder. These findings indicate partial degradation of monoammonium phosphate, suggesting a possible reduction in the fire-suppression capability of the extinguishing agent. The study highlights the importance of technical evaluation of fire extinguishers exposed to intense heat before reuse or refilling, contributing to improved safety and reliability in post-fire scenarios.

Keywords: ABC fire extinguisher; Dry Chemical Powder (DCP); Thermal analysis; Monoammonium Phosphate.

Artigo Recebido em 25/02/2026

Aceito em 07/07/2026

Publicado em 25/07/2026

1- INTRODUÇÃO

Os extintores de incêndio que utilizam pó químico do tipo ABC são empregados no combate a incêndios das classes A, B e C, abrangendo materiais sólidos, líquidos inflamáveis e gases combustíveis, conforme a classificação desses agentes extintores (Kukfisz, 2018). Da Silva e Moraes (2020) detalharam um estudo das falhas encontradas em extintores de incêndio. A eficácia em diferentes classes de incêndio dos agentes extintores do tipo ABC é atribuída principalmente à presença de sais de amônio fosfatados, os quais atuam na supressão de chamas por mecanismos químicos e físicos, incluindo a formação de camadas isolantes e a interferência nas reações de combustão. A composição primária desses pós inclui, majoritariamente, fosfato de monoamônio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) e sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), além de aditivos (pigmentos, carbonato de cálcio, silicato de alumínio e magnésio e polidimetilsiloxano) destinados à melhoria da estabilidade e do desempenho do agente extintor (Pérez *et al.*, 2006; Marková; Tureková, 2018; Tsigka *et al.*, 2024).

O fosfato monoamônico, mundialmente conhecido comercialmente por MAP, está presente em uma ampla faixa mássica nos extintores, tipicamente entre 20 % e 90 %. Entretanto, o chamado pó padrão (fórmula comercial), apresenta 40 % de MAP (Michelotti; Pigoli; Verona 2012). Esse composto atua como agente de supressão de chamas em incêndios das classes A, B e C, principalmente por meio da interrupção das reações em cadeia da combustão e da formação de um resíduo fosfatado isolante sobre a superfície do material combustível, reduzindo a transferência de calor e o acesso ao oxigênio (Wang *et al.*, 2021).

O MAP degrada-se em quatro etapas ao entrar em contato com as chamas (Su *et al.*, 2014). Na etapa inicial ocorre a liberação da amônia e ácido fosfórico (Eq. 1).



Em seguida, ocorre a reação de condensação do ácido fosfórico intermolecular, formando o ácido pirofosfórico (Eq. 2).



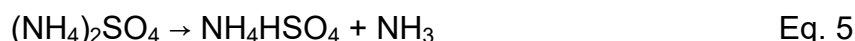
Na terceira etapa, há continuidade da desidratação, com formação de ácido metafosfórico, conforme a Eq. 3.



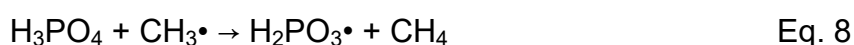
Por fim, há a formação de pentóxido de fósforo, um sólido higroscópico (INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO), 1997).



O sulfato de amônio, ao se decompor termicamente, também libera amônia como produto, conforme a equação abaixo:



Apesar de ambos os compostos estarem comumente presentes nos extintores de pó químico ABC, fosfato monoamônico e sulfato de amônio agem de formas diferentes na extinção das chamas. O ácido fosfórico liberado pela decomposição térmica do fosfato monoamônico reage com os radicais livres $\text{H}\cdot$, $\text{OH}\cdot$ e $\text{CH}_3\cdot$ da combustão, de acordo com as Eq. 6, Eq. 7 e Eq. 8 (Li *et al.*, 2019). De acordo com o estudo proposto por Li e colaboradores (2019), esses radicais são fundamentais para a sustentação das combustões.



Por outro lado, não há evidências de que o sulfato de amônio participe de reações com radicais livres. A reação de decomposição exposta na Eq. 5 é endotérmica. Um estudo de Thege (1983) reportou um valor de $\Delta H = 122,5 \text{ kJ.mol}^{-1}$, indicando que a decomposição do sulfato de amônio contribui na absorção de calor, reduzindo-se a temperatura local.

No Brasil, os extintores de incêndio comercializados e os serviços de inspeção técnica, manutenção e recarga estão sujeitos aos requisitos de avaliação da conformidade estabelecidos pelas Portarias Inmetro nº 218/2021 e nº 58/2022, referentes, respectivamente, à certificação dos extintores de incêndio e à avaliação da conformidade dos serviços de inspeção técnica e manutenção. Entre os equipamentos abrangidos encontram-se os extintores com carga de pó químico seco (PQS) do tipo ABC, amplamente empregados na proteção contra incêndios. Entretanto, embora esses regulamentos estabeleçam requisitos para certificação, inspeção e manutenção dos equipamentos, não contemplam critérios específicos para a avaliação de possíveis alterações físico-químicas do agente extintor decorrentes da exposição prévia ao calor intenso. Nesse contexto, a estabilidade térmica do pó químico seco após a exposição ao fogo permanece como um aspecto ainda pouco explorado na literatura científica, justificando a realização de estudos voltados à caracterização dessas alterações.

2 OBJETIVOS

Analisar o pó químico do tipo ABC proveniente de um único extintor exposto ao fogo por meio das técnicas de calorimetria exploratória diferencial (DSC) e análise termogravimétrica (TGA), comparando seus resultados com os obtidos para o pó químico de um extintor novo, do mesmo fabricante, utilizado como amostra de referência.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Instrumentação

Para as análises térmicas utilizou-se um DSC (marca NETZSCH, modelo 3500 Sirius, Alemanha) e um TGA (marca TA Instruments, modelo 550, Estados Unidos). Uma balança analítica (marca Sartorius, modelo Secura225D-10Br) foi usada para medições de massa.

3.2 Material

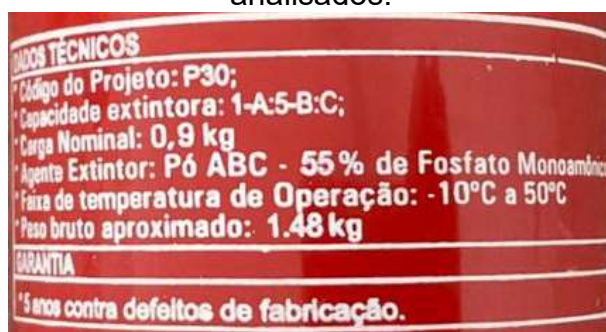
Utilizou-se um extintor de pó químico seco do tipo ABC novo (Figura 1) e um extintor de pó químico seco do tipo ABC exposto a um incêndio. O extintor avariado apresentava o casco metálico estruturalmente íntegro, porém o esguicho plástico encontrava-se quase completamente fundido, evidenciando exposição ao calor intenso. Não foi possível estimar o tempo de exposição às chamas nem a temperatura atingida durante o evento. Por se tratar de um equipamento recuperado após um incêndio real, o estudo possui caráter exploratório e busca avaliar as alterações termoanalíticas observadas nesse caso específico. Até a abertura do cilindro, o extintor permaneceu armazenado sob responsabilidade da Polícia Científica de Santa Catarina, preservando a cadeia de custódia da amostra. A abertura do cilindro ocorreu em ambiente laboratorial, na presença de peritos da Polícia Científica de Santa Catarina, sendo o pó químico coletado manualmente em recipientes apropriados para as análises termoanalíticas. Frascos para cromatografia (vials - headspace) de 20 mL (Shimadzu). Painéis e tampas para DSC (40 µL) de alumínio (NETZSCH). Cadinhos de platina HT (50 µL) para análises no TGA.

3.3 Coleta

As amostras de pó químico foram coletadas imediatamente após a abertura do extintor. Coletou-se alíquotas de diferentes secções do extintor

como crosta região do topo (região I), central (região II) e fundo (região III) do extintor exposto ao incêndio. A duração da exposição ao incêndio foi dada como incerta. As amostras foram acondicionadas em *vials*, que foram subsequentemente fechadas, selados com filme de vedação, e armazenadas para os procedimentos analíticos subsequentes.

Figura 1 - Recorte fotográfico contendo os dados técnicos dos extintores analisados.



Fonte: CPIn.

3.4 Análise térmica por DSC

As análises dos pós químicos foram realizadas em um calorímetro sob atmosfera de nitrogênio ultra-puro (5.0) com vazão de 20 mL.min⁻¹. Para a análise do pó químico, utilizou-se um programa de temperatura com início a 40 °C e término a 430 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹. As amostras foram preparadas em placas (*pans*) de alumínio, com capacidade de 40 µL. Os dados termoanalíticos foram processados utilizando o software Proteus Thermal Analysis (versão 8.0.2). As massas das amostras utilizadas em cada ensaio são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Massas utilizadas em cada ensaio no DSC e TGA.

Amostra	DSC (mg)	TGA (mg)
Pó químico referência	9,530	13,281
Pó químico referência (duplicata)	9,330	12,932
Região I - Crosta	9,690	13,129
Região I - Crosta (duplicata)	9,330	13,098
Região II - Central	9,940	13,253
Região II - Central (duplicata)	9,700	13,206
Região III - Fundo	9,410	13,587
Região III - Fundo (duplicata)	9,270	13,899

3.5 Análise térmica por TGA

O ensaio foi conduzido sob atmosfera de nitrogênio ultra-puro (5.0) com fluxo de 60 mL.min⁻¹, utilizando taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹. Para as análises dos pós químicos a temperatura foi variada de 40 °C até 430 °C. Para a amostra do o-ring, utilizou-se a mesma taxa de aquecimento com a faixa de temperatura variando de 25 °C - 360 °C. Cadinhos de platina (HT) de 100 µL foram utilizados. Os dados de variação de massa (%) em função da temperatura foram obtidos e processados utilizando o software Trios Software (v.5.8.1) e Electroforce Data Analysis, respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

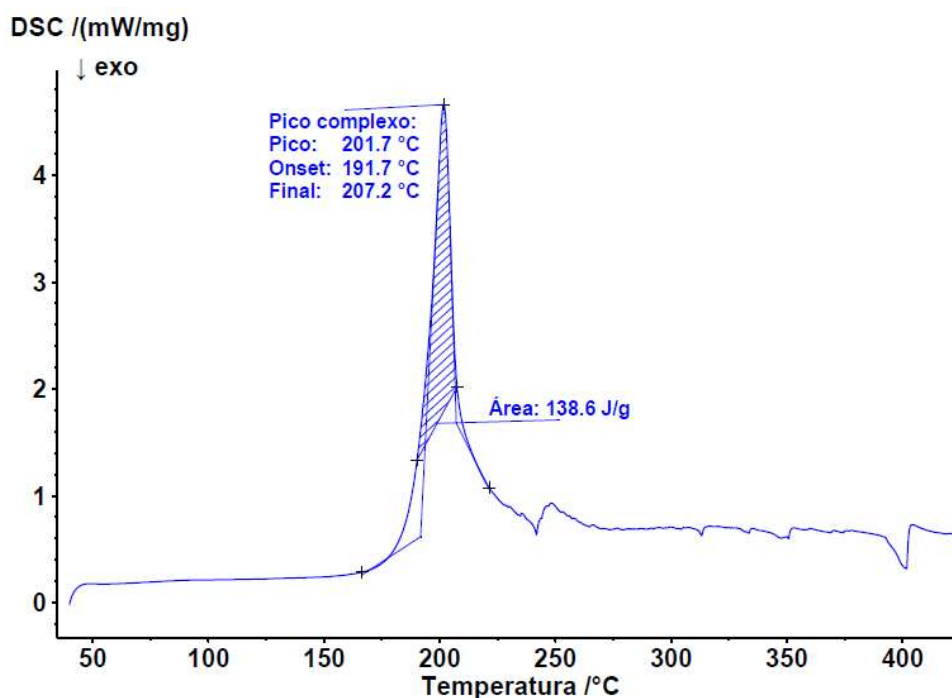
O pico de referência para a comparação é atribuído à decomposição do fosfato monoamônico em amônia e ácido fosfórico (Eq. 1). Em outras faixas de temperatura, outros picos podem ser observados, como os referentes à

decomposição do sulfato de amônio, os quais podem se sobrepor ao sinal principal.

4.1 Amostra “Pó Químico Referência”

A Figura 2 expõe o termograma da amostra do PQS oriunda de um extintor referência. Há um pico endotérmico que inicia (*onset*) em 191,7 °C e apresenta uma velocidade máxima de decomposição em 201,7 °C. A área hachurada representa a entalpia de decomposição do fosfato monoamônico (MAP) (liberação de NH_3 e formação de H_3PO_4) com valor de 138,6 J.g^{-1} . Pardo, Romero e Ortiz (2017) encontraram um pico de fusão 188,9 °C . As condições instrumentais são diferentes das encontradas na literatura e isso influencia nos picos de cada análise.

Figura 2 - Recorte do termograma da análise do PQS referência (DSC).

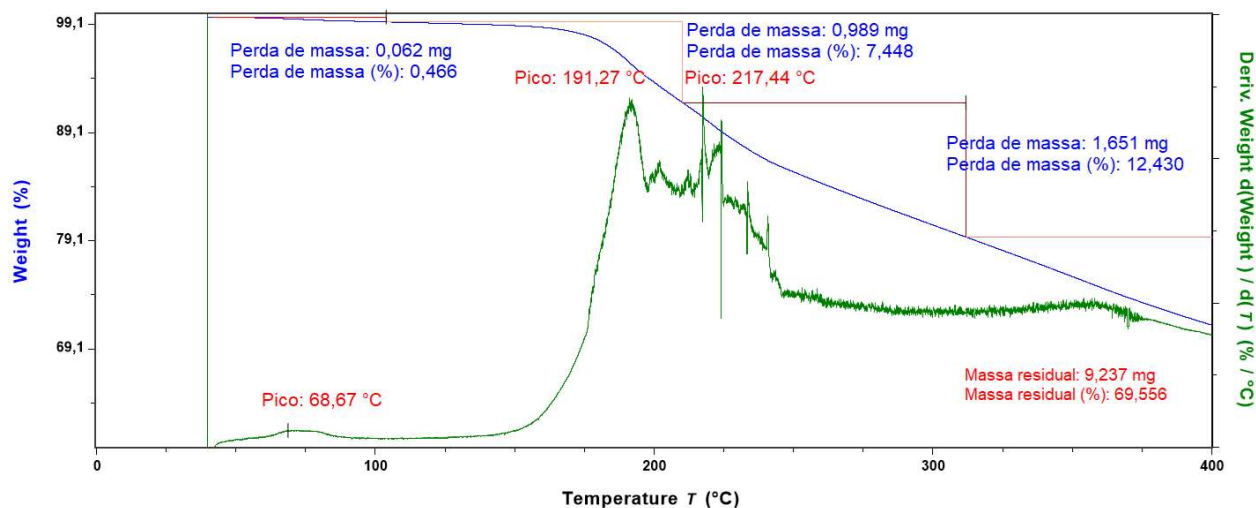


Fonte: CPIn.

Ressalta-se que a derivada primeira do termograma no DSC indicou

uma sobreposição de dois eventos endotérmicos entre o *onset* e o pico de 201,7 °C, eventos só observados na análise da curva de TGA da Figura 3.

Figura 3 - Termograma da análise do PQS referência(TGA).



Fonte: CPIn.

A análise por TGA mostra a perda de água por volta de 68 °C, correspondente a 0,47 % (m/m). Em uma aproximação linear com a carga nominal declarada pelo fabricante (900 g), esse valor equivaleria a aproximadamente 4,20 g de umidade. A manipulação e a coleta das amostras aumentam levemente esses dados pela característica higroscópica de sua composição com fosfato monoamônico (Kunin, 2021). Dependendo da formulação industrial com o MAP, esses sais podem ter mais ou menos facilidade de absorção de água (Fertilizers Europe, 2015; Agropolychim, 2025; Ekonomics, 2025). Os eventos entre 191,27 °C e 217,44 °C se referem à decomposição térmica escrita na Eq. 1. Nessa faixa de temperatura a degradação levou a perda de massa de 7,448 + 12,430 = 19,878 %. Uma informação interessante é o fato de que a NBR 12962 de 1998 traz informações sobre condições específicas na abertura do extintor:

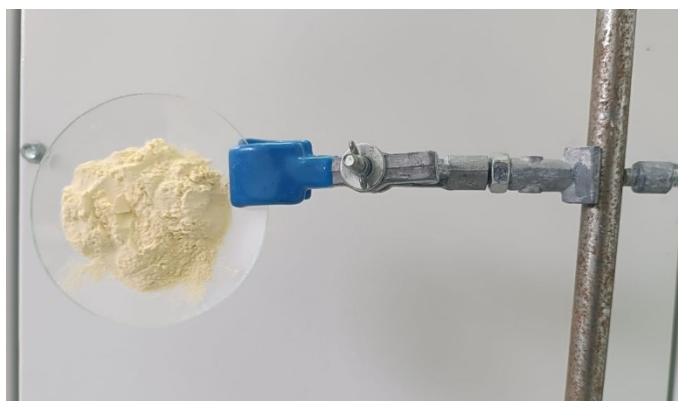
“sempre que o extintor for aberto, devem ser observadas as condições ideais de temperatura ambiente (mínimo: 18°C; máximo: 30°C), umidade relativa do ar (máximo: 55%), bem como a ausência de correntes de ar que provoquem perda de partículas finas;” (ABNT NBR 12962, 1998).

Essa condição foi removida na versão mais recente (ABNT NBR 12962, 2016). Uma explicação plausível pode estar na preocupação de uma definição mais clara dos níveis de manutenção, das responsabilidades do técnico e das frequências de inspeção e recarga, deixando detalhes operacionais específicos para os manuais dos fabricantes.

4.2 Amostra “Região I - Crosta”

Essa amostra se refere à região onde se formou vários aglomerados de pó na parte superior do extintor, de rearranjos e tamanhos diversos, desde morfologias lembrando pequenas pedras a morfologias planares lembrando um disco, conforme exposta na Figura 4. A Figura 4 mostra um aglomerado coletado do extintor deixado em um vidro relógio, após poucos dias, ficou fortemente aderido ao vidro.

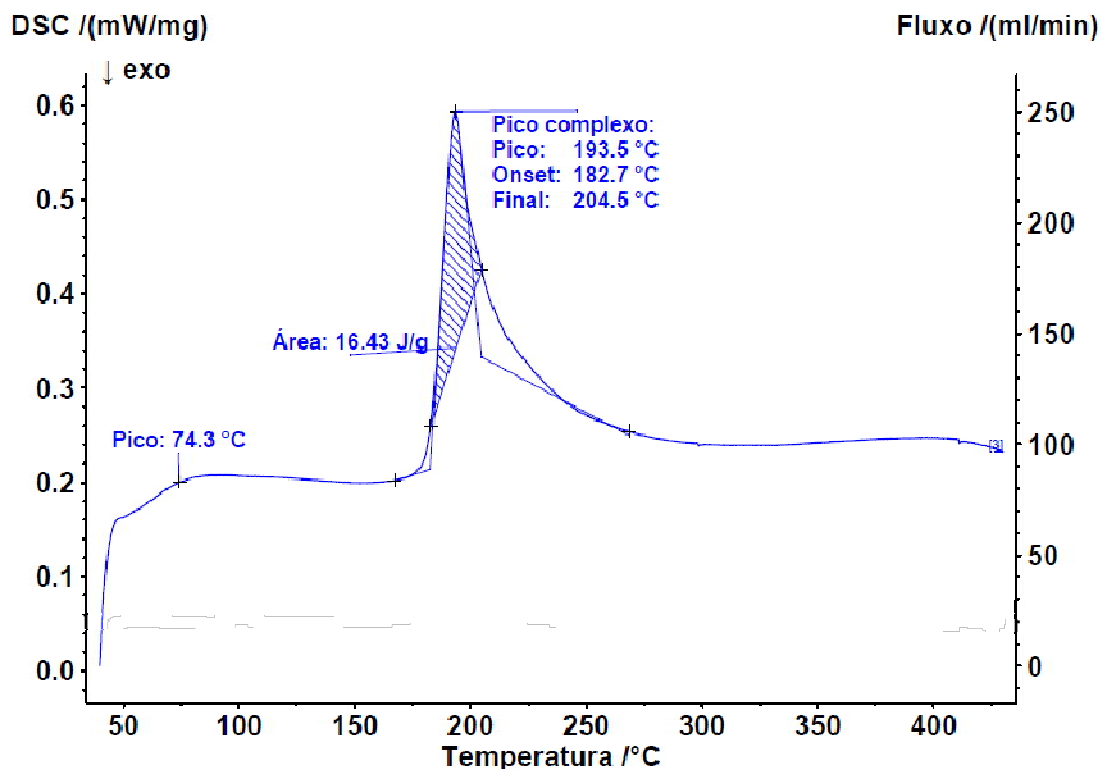
Figura 4 - Aglomerado de pó químico formado no interior do extintor.



Fonte: CPIn.

A Figura 5 expõe o termograma da Amostra “Região I - Crosta”. O termograma indica um pico endotérmico discreto em 74,3 °C, o qual corresponde a perda de água. Há outro evento endotérmico (fusão) com *onset* em 182,7 °C com velocidade máxima de decomposição em 193,5 °C. Nesta curva, nota-se uma sobreposição de eventos endotérmicos de outro evento a 205 °C. A área hachurada apresentou uma entalpia de decomposição com valor de 16,43 J.g⁻¹.

Figura 5 - Recorte do termograma da análise da amostra “Região I - Crosta”.

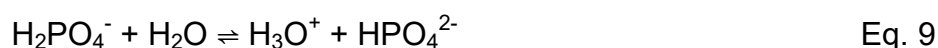


Fonte: CPLn.

A entalpia de decomposição encontrada para esta matriz é aproximadamente 88 % menor que a amostra de referência (amostra nova do item 3.1). A redução da entalpia observada sugere que parte do fosfato

monoamônico (MAP) já havia sofrido transformações térmicas parciais durante a exposição ao fogo. Consequentemente, uma menor fração do material permaneceu disponível para sofrer decomposição durante a análise por DSC, resultando em menor variação entálpica. Essa interpretação é compatível com o mecanismo de desidratação progressiva descrito na literatura. Essa degradação pode estar correlacionada com:

i) Hidrólise iônica do MAP: a presença de umidade no interior do cilindro pode provocar a hidrólise do sal. O íon di-hidrogenofosfato é anfótero e pode sofrer hidrólise parcial:



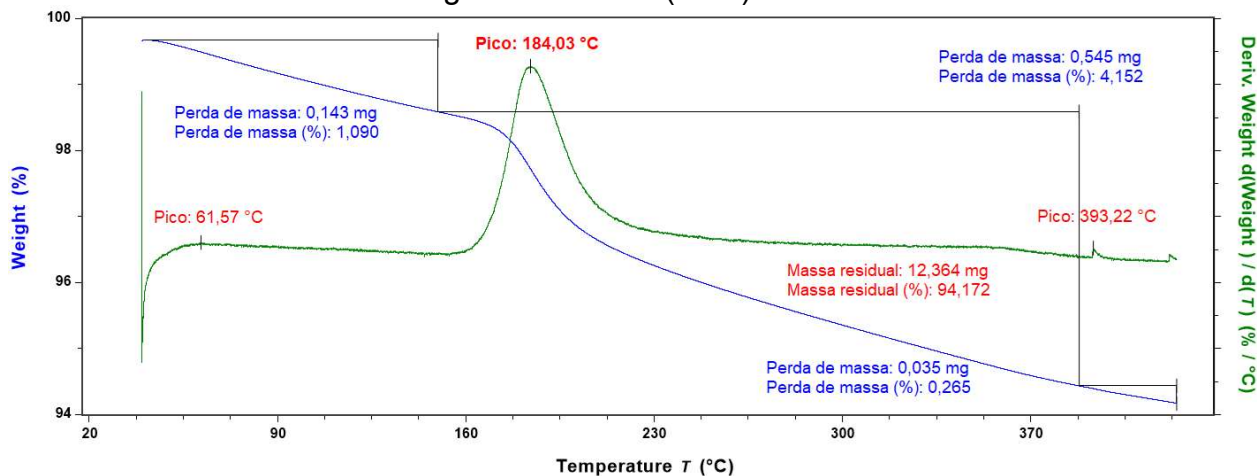
O cátion amônio também participa do equilíbrio:



Estudos complementares precisam ser realizados para atestar que uma umidade a 1 % seria suficiente para degradar o sal no interior do cilindro.

ii) Perda da estabilidade térmica: a exposição a temperaturas elevadas (muito acima da temperatura ambiente) pode degradar o MAP presente no cilindro, como a exposição ao incêndio. Marková e Tureková (2018) ao avaliarem pós químicos para extintores e encontraram um estágio inicial de degradação a partir de 154, 6 °C para uma marca e 163, 0 °C para uma segunda marca.

Figura 6 - Termograma da análise do PQS coletado designado como amostra “Região I - Crosta” (TGA).



Fonte: CPIIn.

As análises termogravimétricas (TGA) indicaram uma perda de massa adicional de 1,09 %, atribuída principalmente à eliminação de água. A degradação térmica do fosfato monoamônico (MAP) apresentou um pico característico em 184,03 °C. Destaca-se a diferença expressiva na fração residual ao final da rampa de aquecimento aplicada. Enquanto a amostra referência apresentou uma perda de massa próxima de 70 %, a amostra denominada “Crosta” exibiu uma porcentagem residual de aproximadamente 94 %, valor confirmado por análise em duplicata. Esse aumento significativo do resíduo final é compatível com a ocorrência de processos de condensação do fosfato durante a exposição às chamas, sugerindo desidratação progressiva do ácido fosfórico, seguida de reações de condensação e polimerização que podem originar polifosfatos e metafosfatos de elevada estabilidade térmica.

Esses resultados indicam diferenças no comportamento termoanalítico entre as amostras de pó químico seco. Contudo, considerando que se tratam de matrizes da mesma marca e tipo, a hipótese de que o calor absorvido pelo extintor tenha degradado parcialmente o composto majoritário mostra-se coerente. Esses dados também estão em concordância com a redução da

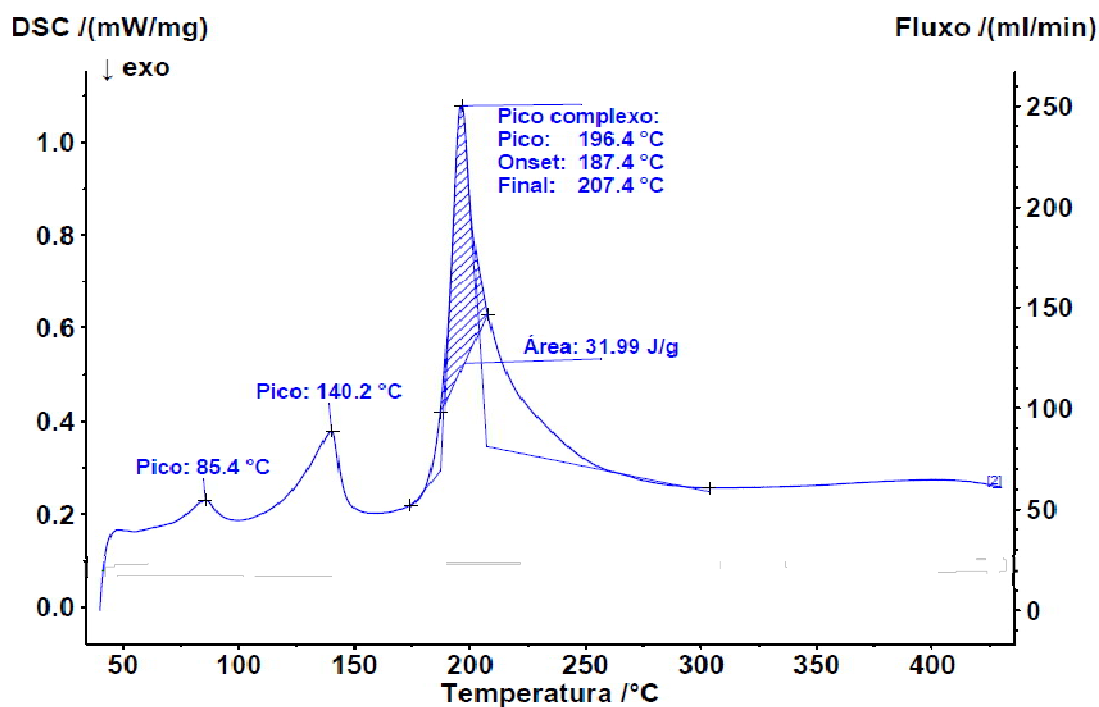
entalpia de decomposição. A degradação térmica parcial do MAP sugere uma possível redução do potencial de supressão de chamas, uma vez que diminui a disponibilidade de espécies ativas capazes de interferir nas reações em cadeia da combustão.

4.3 Amostra “Região II - Central”

Essa amostra se refere a um ponto mais central, no seio da solução pulverizada do extintor. O termograma da Figura 7 indica um pico endotérmico que inicia (*onset*) em 187,4 °C e apresenta uma velocidade máxima de decomposição em 196,4 °C. A análise da derivada primeira também acusou a área hachurada com dois eventos sobrepostos. A entalpia de decomposição desta área foi calculada em 31,99 J.g⁻¹. Valor 76,9 % menor que a amostra de controle.

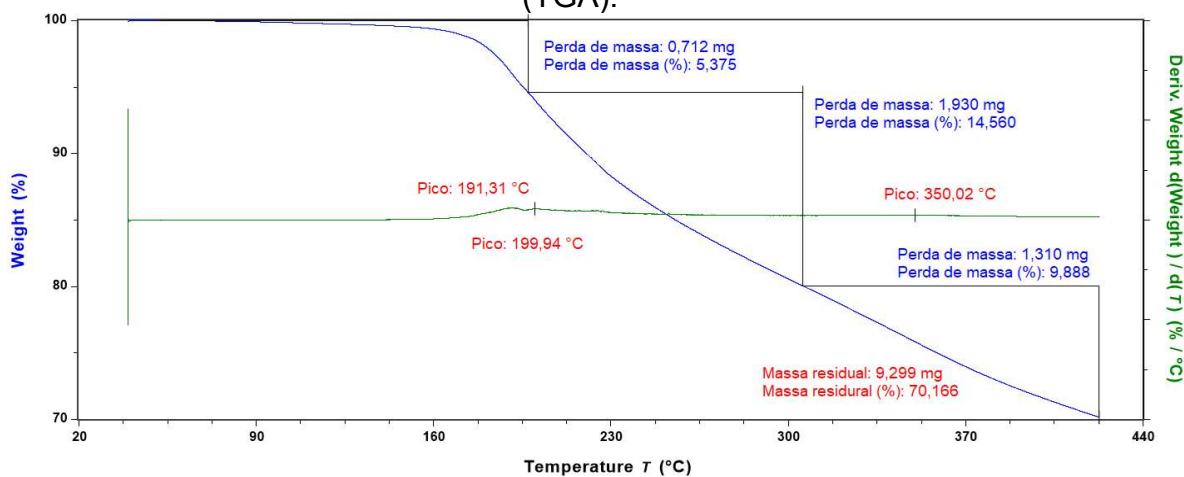
Um evento novo foi registrado em 140, 2 °C. A análise pelo TGA se faz necessária para complementar os resultados (Figura 8). O slope coincide com o pico DSC observado em ~196 °C. Não foi observada uma queda clara da massa em 140 °C. Isso afasta a possibilidade de que este pico seja alguma decomposição ou perda de água adsorvida. A ausência de perda de massa afasta a hipótese de decomposição e sugere que o evento pode estar relacionado a um rearranjo estrutural no estado sólido ou à reorganização da estrutura cristalina, incluindo possíveis processos de recristalização parcial, conforme mecanismos descritos para outros materiais cristalinos investigados por DSC (Drebushchak; Drebushchak; Boldyreva, 2013; Zhang et al., 2019). No entanto, ensaios adicionais são necessários para confirmar esta evidência.

Figura 7 - Recorte do termograma da análise da amostra “Região Central” (DSC).



Fonte: CPLn.

Figura 8 - Termograma do PQS coletado designado como “Região Central” (TGA).



Fonte: CPLn.

O pó coletado dessa amostra na região central apresenta comportamento térmico intermediário em relação às amostras analisadas nos itens 3.1 e 3.2. A diferença de entalpias encontradas da amostra da crosta ($\Delta H = 64 \text{ J.g}^{-1}$) e da região central suportam a hipótese de que o aquecimento durante o incêndio não foi homogêneo no cilindro metálico.

4.4 Amostra “Região III - Fundo”

Essa amostra se refere ao fundo do cilindro extintor. A entalpia de decomposição desta amostra foi calculada em $47,84 \text{ J.g}^{-1}$. Valor aproximadamente 35 % menor que a amostra de controle. O termograma da Figura 9 indica um pico endotérmico com início (*onset*) em $198,7^\circ\text{C}$ e velocidade máxima de decomposição em $198,7^\circ\text{C}$. Para esta amostra, o percentual de resíduo foi mais de 20 % superior ao observado na amostra anterior do item 3.3, o que pode indicar uma diferença de composição. Esta amostra fornece evidência adicional de que a degradação térmica do pó químico no interior do cilindro ocorreu de forma não homogênea estabelecendo um gradiente térmico vertical.

Figura 9 - Recorte do termograma da análise da amostra “Fundo” (DSC).

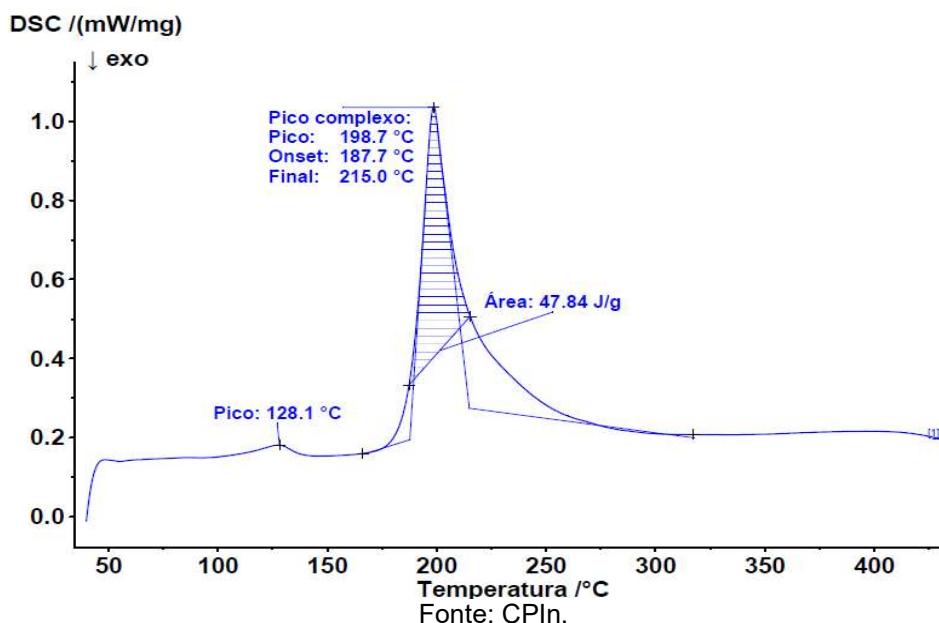
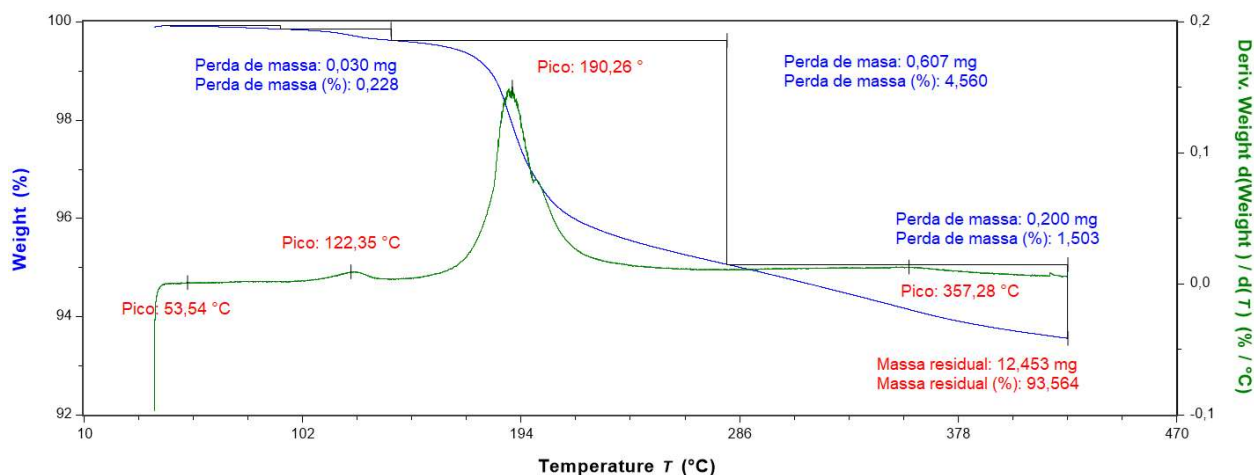


Figura 10 - Termograma do PQS designado como amostra “Fundo” (TGA).



Fonte: CPLn.

Resumidamente, a Tabela 2 mostra que a amostra de PQS coletada na região da crosta houve maior degradação. Na região central do cilindro houve uma degradação intermediária e o fundo uma menor degradação. A região inferior do cilindro foi parcialmente protegida do fluxo térmico direto das chamas.

Tabela 2 - Média e desvio padrão relativo de entalpia de decomposição e redução mássica das regiões estudadas (n=2).

Amostra	ΔH (J.g ⁻¹)	Redução mássica vs. extintor referência
3.1 - PQS referência	137,40 ± 1,69	-
3.2 - Crosta (topo)	15,51 ± 1,29	~ 80 %↓
3.3 Central	32,70 ± 1,00	~ 61 %↓
3.4 - Fundo	49,13 ± 1,82	~ 53 %↓

Pérez e colaboradores (2006) investigaram o comportamento térmico de misturas de sulfato de amônio e fosfato monoamônico. O trabalho reforçou que

a decomposição térmica do MAP ocorre em várias etapas, mostrou que não ocorreu deslocamento significativo das temperaturas dos picos de decomposição, indicando que não há interação química relevante entre os sais durante o aquecimento.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que o comportamento térmico do pó químico seco do tipo ABC, majoritariamente composto por fosfato monoamônico (MAP), é fortemente influenciado pela exposição ao calor intenso. As análises por DSC e TGA evidenciaram que o processo de decomposição do pó extintor ocorre em múltiplas etapas, com início detectável por volta de 180 °C, com picos próximos de 200 °C, onde apresentou a maior taxa de perda de massa no TGA, em concordância com os dados reportados na literatura.

As amostras provenientes do extintor exposto ao incêndio apresentaram redução expressiva da entalpia de decomposição e aumento significativo da fração residual, principalmente na região superior do cilindro, indicando degradação térmica parcial do MAP. A heterogeneidade observada ao longo do cilindro é consistente com a ocorrência de um gradiente térmico ao longo do cilindro durante o incêndio, resultando em diferentes níveis de comprometimento do agente extintor.

Embora o sulfato de amônio contribua para eventos endotérmicos sobrepostos, sua decomposição não apresentou um pico isolado bem definido nas condições empregadas, o que limita sua quantificação direta por DSC.

Do ponto de vista prático, esses dados encontrados têm impacto direto no armazenamento e utilização de extintores ABC. A exposição a ambientes quentes ou a chamas pode degradar parcialmente o MAP antes do uso, reduzindo a disponibilidade de espécies químicas responsáveis pela supressão das reações em cadeia da combustão. Assim, extintores expostos ao fogo ou a

condições térmicas potencialmente capazes de promover alterações no agente extintor devem ser criteriosamente avaliados antes da reutilização ou recarga, reforçando a importância de inspeções técnicas após incêndios ou armazenamento em condições térmicas inadequadas.

6 REFERÊNCIAS

AGROPOLYCHIM. Monoammonium Phosphate (MAP). Disponível em: <https://agropolychim.bg/en/products/nitro-phosphorus-fertilizers/monoammonium-phosphate/> Acesso em: 16 jan. 2026.

ABNT NBR 12962. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Inspeção, manutenção e recarga em extintores de incêndio. Rio de Janeiro. 1998.

ABNT NBR 12962. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Inspeção, manutenção e recarga em extintores de incêndio. Rio de Janeiro. 2016.

DA SILVA, L. C.; MORAES, W. A. Investigação de Incêndios: estudo das falhas encontradas em extintores de incêndio. Pós-graduação em Incêndio e Explosão. Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. 2020.

DREBUSHCHAK, V.; DREBUSHCHAK, T. N.; BOLDYREVA, E. New interpretation of heat effects in polymorphic transitions. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 113(1), 2013. <https://doi.org/10.1007/s10973-013-3120-5>.

EKONOMICS. Fertilizer Compatibility – What You Should Know. Disponível em: <https://nutrien-economics.com/news/fertilizer-compatibility-what-you-should-know/>. Acesso em 17 jan. 2026.

KUKFISZ, B. Analysis of minimum ignition temperature of pellet dust layer and cloud due to adding BC and ABC fire extinguishing powders. MATEC Web of Conferences, v. 247(3), 2018. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824700003>.

LI, H.; HUA, M.; PAN, X.; LI, S.; GUO, X.; ZHANG, H.; JIANG, J. The reaction pathway analysis of phosphoric acid with the active radicals: a new insight of the fire-extinguishing mechanism of ABC dry powder. **Journal of Molecular Modelling**, v. 25, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00894-019-4136-y>.

FERTILIZER EUROPE. Guidance for the storage, handling, and transportation of solid mineral fertilizers. Disponível em: <https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2007/08/Final-version-Storage-handling-and-transport-of-solid-fertilizers-18112015.pdf>. Acesso em 16 jan. 2026.

HANSUPO, N. Fundamental aspects of intumescent systems for fire protection of steel structures. HAL Open Science. Food and Nutrition. Université de Lille. 2018. Disponível em: <https://theses.hal.science/tel-04001570>. Acesso em 7 jan. 2025.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). International Chemical Safety Cards (ICSC): Phosphorous Pentoxide. Disponível em: https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0545. Acesso em 9 jan. 2025.

KIM, S. H.; CHUNG, J. W.; KANG, T. J.; KWAK, S.Y. SUZUKI, T. Determination of the glass transition temperature of polymer/layered silicate nanocomposites from positron annihilation lifetime measurements. **Polymer**, v. 48, p. 4271-4277, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2007.05.009>.

MARKOVÁ, I.; TUREKOVÁ, I. Thermal Studying Dry Chemicals as Hygienically Safe Extinguishing Substances. **Biomedical Journal of Scientific & Technical Research**, v. 11(5), 2018. <https://doi.org/10.26717/bjstr.2018.11.002175>.

MICHELOTTI, M.; PIGOLI, L.; VERONA, M. D. Process for the Recovery of Extinguishing Powders. Munich. 2012. Disponível em: <https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publication-dates/20121114/patents/EP2522410NWA1/document.html>. Acesso em 06 jan. 2025.

PARDO, A.; ROMERO, J.; ORTIZ, E. High-temperature behaviour of ammonium dihydrogen phosphate. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 935, 2017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/935/1/012050>.

PÉREZ, J.; PÉREZ, E.; VAS, B. del; García, L. SERRANO, J. L. Analysis of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4/(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ mixtures by thermogravimetry and X-ray diffraction. **Thermochimica Acta**, v. 443(2) p. 231-234, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2006.02.003>.

PRATICÒ, F. G.; MORO, A.; AMMENDOLA, R. Potential of Fire Extinguisher Powder as a Filler in Bituminous Mixes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 173, p. 605–613, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.136>.

SU, C.H.; CHEN, C. C.; LIAW, H. J.; WANG, S. C. The assessment of fire suppression capability for the ammonium dihydrogen phosphate dry powder of commercial fire extinguishers. **Procedia Engineering**, v. 84, p. 485-490, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.459>

THEGE, I. K. DSC investigation of the thermal behaviour of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4HSO_4 and $\text{NH}_4\text{NH}_2\text{SO}_3$. **Thermochimica Acta**, v. 60, p. 149-159, 1983. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(83\)80265-2](https://doi.org/10.1016/0040-6031(83)80265-2).

TSIGKA, I.; KIATIKIDIS, N.; TSOLAKIS, P. K.; STERGIOU, N. GOLIA, E. E. Investigating the Potential Use of End-of-Life Fire Extinguisher Powder as a Soil Amendment in Different Soil Types: A New Approach Following a Circular Economy Model. **Sustainability**, v. 16(20), p. 8913, 2024. <https://doi.org/10.3390/su16208913>.

WANG, Q.; WANG, F.; LI, C.; LI, Z.; LI, R. Fire extinguishing performance and mechanism for several typical dry water extinguishing agents. **RSC Advances**, v. 11(17), p. 9827, 2021. <https://doi.org/10.1039/d1ra00253h>.

ZHANG, X.; ZUO, X.; ORTMANN, P.; MECKING, S.; ALAMO, R. G. Crystallization of Long-Spaced Precision Polyacetals I: Melting and Recrystallization of Rapidly Formed Crystallites. **Macromolecules**, v. 52(13), p. 4934-4948, 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.macromol.9b00922>.