

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL  
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DIRETORIA DE ENSINO  
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR  
“Coronel Osmar Alves Pinheiro”  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**

Cadete BM/2 MURILO VIEIRA **BALDUÍNO** ANDRADE



**USO DE RETARDANTES EM BOMBAS COSTAIS: ESTUDO E  
AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE MISTURA ÁGUA-CARBONATOS  
NO COMBATE A INCÊNDIO FLORESTAL**

BRASÍLIA  
2023

Cadete BM/2 MURILO VIEIRA **BALDUÍNO** ANDRADE

**USO DE RETARDANTES EM BOMBAS COSTAIS: ESTUDO E  
AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE MISTURA ÁGUA-CARBONATOS  
NO COMBATE A INCÊNDIO FLORESTAL**

Artigo científico apresentado à disciplina Metodologia da Pesquisa Científica como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Orientador: Maj QOBM/Comb.BRUNO **MARCELINO** DE ALMEIDA NUNES

BRASÍLIA  
2023

Cadete BM/2 MURILO VIEIRA **BALDUÍNO** ANDRADE

**USO DE RETARDANTES EM BOMBAS COSTAIS: ESTUDO E  
AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE MISTURA ÁGUA-CARBONATOS  
NO COMBATE A INCÊNDIO FLORESTAL**

Artigo científico apresentado à disciplina Metodologia da Pesquisa Científica como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Aprovado em: 16/11/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**THIARA ELISA** DA SILVA - Cap. QOBM/Comb.  
**Presidente**

---

**ROBSON FRANCISCO DOS SANTOS**- 2º Ten. QOBM/Comb.  
**Membro**

---

**RAFAEL COSTA GUIMARÃES** – Cap. QOBM/Comb.  
**Membro**

---

**BRUNO MARCELINO DE ALMEIDA NUNES** – Maj.. QOBM/Comb.  
**Orientador**

## RESUMO

O uso de retardantes químicos no incêndio florestal é um avanço tecnológico de grande valia. O objetivo deste trabalho é estudar o uso de um retardante de baixa complexidade e custo, e que, inicialmente, não pressuponha impactos ambientais significativos. O retardante em questão é o bicarbonato de sódio, que já é um agente extintor usado em extintores. Neste trabalho, será avaliado seu uso diluído na água da bomba costal. A metodologia usada dá-se em três principais etapas. Primeiramente, o levantamento bibliográfico que justifica a pesquisa proposta. Em seguida, uma etapa laboratorial, com propósito de analisar em ambiente controlado a capacidade que o bicarbonato tem de aumentar o poder de resfriamento da água. E por último, experimentos voltados a simular combate florestal direto e indireto, comparando paralelamente o uso do bicarbonato diluído e água pura através de experimentos em um instrumento desenvolvido especificamente para comparar retardantes. Os resultados comprovaram um poder significativo da capacidade extintora do agente usado. Os gráficos gerados usando os dados do instrumento de análise paralela evidenciaram que a adição de bicarbonato à água facilitou o combate. As imagens térmicas também apoiam os resultados positivos, ficando claro em qual simulação o calor está mais intenso. Concluiu-se, então, a viabilidade do uso aplicado do bicarbonato diretamente nas bombas costais. Apesar disso, ainda há etapas normativas para executar, visando então o uso pleno e cotidiano do CBMDF. O relatório de pesquisa, produto deste trabalho, solidifica a teoria proposta e abre o horizonte para uma inovação tecnológica no seio do CBMDF.

Palavras-chave: Retardantes químicos, bicarbonato de sódio, água pura, incêndio florestal, bomba costal.

## **ABSTRACT**

*The use of chemical retardants in wildfires is a formidable technological advancement. The focus of this study is to study the use of a low complexity, low cost retardant that is supposedly environment-friendly. This retardant is sodium bicarbonate, which is already an element used in fire extinguishers. In this study, its use diluted with water in back pumps will be evaluated. The chosen methodology was divided into three steps. First, a bibliographical review of the literature that would justify and foment the proposed research. Then, a laboratorial stage, with the intent of analyzing in a controlled environment sodium bicarbonate's capacity of augmenting water's cooling power. Last, experiments aimed to simulate direct and indirect wildfire extinction, with parallel comparison between plain water and diluted bicarbonate, using an instrument made specifically for studying retardants. The results demonstrate the fire extinguishing power of the proposed mixture. The graphs made through the data provided by the instrument show that the addition of sodium bicarbonate to water facilitated extinction. Thermal images also support the positive results, making it clear in which simulation the heat is more intense. Thus, the conclusion is that the use of sodium bicarbonate as an enhancer for water is viable and effective in back pumps. Despite this, there are still normative stages to execute, aiming for full everyday use in the CBMDF. The research report, product of this study, solidifies the proposed theory, and opens up the horizon for a technological innovation in the heart of the CBMDF.*

*Keywords: Chemical retardants, sodium bicarbonate, wildfires, pure water, back pumps.*

## 1. INTRODUÇÃO

A atividade de extinção de incêndio é o motivo da existência do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Criado em 1856, quando o Distrito Federal ainda era no Rio de Janeiro, seu fato gerador foi justamente um incêndio. O combate foi feito de forma primitiva, com baldes d'água e salvamento por escadas.

Com o passar dos anos e o avanço tecnológico que se fez valer em todos os setores da sociedade, a Corporação procurou evoluir seu combate, além de aumentar sua abrangência para outras áreas, como perícia, prevenção, gerenciamento de desastres, entre outros. Tais evoluções mostram-se aparentes na infraestrutura e nos recursos materiais. Viaturas com bombas d'água, escadas mecânicas e equipamentos de proteção respiratória são agora parte natural da rotina do bombeiro militar.

Esta realidade só é possível porque inovações foram feitas diante de necessidades que surgiram ao longo da história operacional da Corporação. Um problema era diagnosticado, teorias eram propostas, pesquisas e testes eram feitos até que, por fim, um novo equipamento ou procedimento era estabelecido. Observa-se que tal diagnóstico provavelmente surgiu do próprio combatente, pois quem melhor que ele para reparar em uma dificuldade no seu serviço?

Sendo assim, o CBMDF possui, dentro de suas atribuições constitucionais, justamente esta tarefa: promover a pesquisa e o desenvolvimento de seus serviços à população, procurando caminhar paralelamente com a evolução tecnológica estrondosa da sociedade.

No que tange ao combate a incêndios, atualmente há uma divisão em duas partes: o combate urbano, mais conhecido e constituído como atividade geracional dos bombeiros mundiais e o combate florestal, que surgiu ao longo dos anos como atividade de proteção ambiental, procurando preservar o meio ambiente e resguardá-lo de incêndios potencialmente devastadores.

Dentre as similaridades destas áreas, nota-se o principal instrumento de combate: a água. O combate ao incêndio florestal baseia-se em abafar o fogo, mas,

para poder chegar perto das chamas e, após o controle, resfriar o combustível para que não haja reignição, usa-se a água. É parte fundamental aqui, como é no combate urbano, controlar o fogo com a água.

Agora, deve-se deixar claro algumas diferenças entre os dois tipos de combate. Ao passo que o urbano dispõe de fácil acesso das viaturas e hidrantes estratégicos, possuindo, portanto, um reservatório vasto para o combate, o florestal difere enormemente neste aspecto. Acessar o incêndio com uma fonte razoável de água é um problema logístico imenso, pois os incêndios florestais costumam ser de grande proporção e de rápido crescimento, com frentes quilométricas e em locais de difícil acesso, tornando irreal a perspectiva de acessar com a viatura toda a extensão da linha de combate.

Procurando sanar parcialmente esta dificuldade, a Corporação usa as bombas costais - mochilas de água com um esguicho acoplado, carregado pelos militares. Apesar de eficientes, são pesadas e geram fadiga e, conforme foi mencionado, podem ser imensos os percursos dos combatentes.

Sendo assim, e em concordância com os objetivos estratégicos e funções constitucionais do CBMDF de procurar melhorias tecnológicas para seus serviços, **o acréscimo de carbonatos à água usada nas bombas costais pode contribuir com a atividade de extinção de incêndios florestais?**

Cabe mencionar que no combate urbano já existe a espuma como agente extintor. Uma melhora química, mas de difícil conversão para o ambiente florestal, visto as complicações ambientais que podem ser provenientes de produtos possivelmente tóxicos para o meio ambiente. Além disso, o equipamento necessário para gerar uma espuma adequada para o combate é mais complexo, o que tornaria difícil sua aplicação na realidade das bombas costais.

Propõe-se, neste trabalho, uma pesquisa sobre um produto mais simples. Através de propriedades coligativas e de composições térmicas favoráveis, carbonatos podem ser agentes extintores eficientes quando misturados à água. O bicarbonato de sódio já é utilizado em extintores tipo B devido à sua decomposição

que produz dióxido de carbono e causa abafamento na superfície de líquidos inflamáveis.

O objetivo desta pesquisa é **estudar o aumento de efetividade combativa causado pelo acréscimo de carbonatos à água.**

Primeiramente, um estudo laboratorial foi realizado, a fim de consolidar evidências da teoria proposta de que os carbonatos auxiliarão a água no trabalho extintor. Com os dados provenientes desta etapa, será feita uma análise, procurando estabelecer uma base experimental para as etapas posteriores.

Em seguida, há um ensaio prático, feito em parceria com um professor da Universidade de Brasília, utilizando um instrumento que será capaz de comparar o combate tradicional (água pura) ao combate com a mistura proposta (água com carbonatos). O objetivo é evidenciar a ação abafadora causada pelos carbonatos e demonstrar comparativamente a superioridade da mistura.

Por fim, o produto seria usado em ocorrências reais. O parâmetro será subjetivo, com a proposta de recolher as impressões dos combatentes sobre a mistura e entender se houve perceptivelmente uma melhora do combate, incluindo o rescaldo.

Os objetivos específicos dispõem-se, portanto, na seguinte ordem:

- a) realizar levantamento de dados laboratoriais para demonstrar o aumento de capacidade combativa da mistura água-carbonato, quando comparada à água pura;
- b) evidenciar em ensaio prático a melhora qualitativa do combate ao combustível nativo do cerrado, através de um instrumento simulador de queima;
- c) discorrer sobre os pareceres vigentes do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), que regulam o uso de retardantes no combate florestal, clareando o caminho a ser continuado após este trabalho;
- d) elaborar um relatório de pesquisa, que poderá servir de base para dar prosseguimento às pesquisas necessárias para utilizar o produto na atividade de extinção proposta.



O fomento de pesquisas e experimentos dentro do CBMDF é parte inata de suas atribuições. Este estudo é mais um esforço por parte da Corporação de galvanizar o combate e atender melhor às demandas da sociedade, buscando sempre a excelência e o compromisso com a missão fim: vidas alheias e riquezas salvar.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Primeiramente, analisar-se-á o uso do bicarbonato como agente extintor, verificando suas propriedades e aplicações e reafirmando seu uso funcional no combate ao incêndio.

### 2.1. Melhorias tecnológicas no CBMDF e a teoria do fogo

As atribuições do CBMDF são previstas em lei, como mencionado no Plano Estratégico da Corporação:

O CBMDF tem as atribuições estabelecidas pela Constituição Federal, em seu artigo 144, na Lei Federal nº 8.255/91, posteriormente alterada pela Lei nº 12.086/2009 e consistem em proporcionar a proteção pessoal e patrimonial à sociedade e do meio ambiente, por meio de ações de prevenção, combate e investigação de incêndios urbanos e florestais, salvamento, atendimento pré hospitalar e ações de defesa civil, no âmbito do Distrito Federal (Corpo de Bombeiros do Distrito Federal,, 2017, p. 19).

A fim de exercer tais atribuições previstas de acordo com os princípios da administração pública e procurando manter a excelência do serviço prestado, o CBMDF possui, dentro do mencionado Plano Estratégico, um mapa estratégico com os objetivos que devem ser norteadores das ações exercidas.

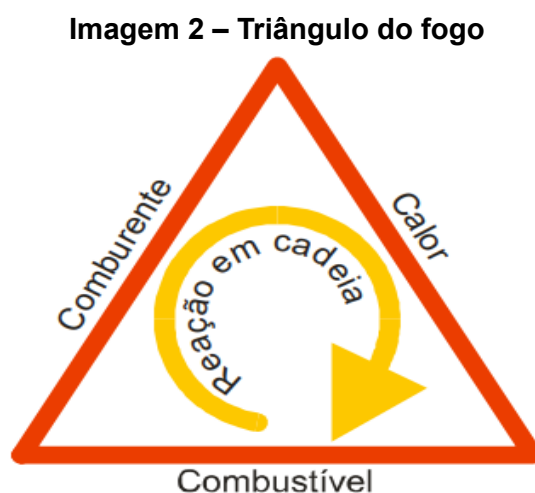
Imagem 1 – Mapa estratégico do CBMDF



Fonte: Plano Estratégico (CBMDF, 2017)

Sendo assim, o estudo aprofundado do fogo e as conseqüentes pesquisas sobre as técnicas de extinção são parte fundamental do objetivo de inovação e de infraestrutura. Tais teorizações geram mais conhecimento sobre o funcionamento do incêndio e, potencialmente, modernizam o combate através de inovações tecnológicas.

O estudo do fogo, focado em extinção, procura analisar o chamado tetraedro do fogo:



**Fonte: Manual de Combate a Incêndio - Módulo 02 (CBMDF, 2009)**

O tetraedro é constituído de quatro elementos necessários para a combustão e, portanto, para o incêndio.

O combustível é a matéria que será decomposta quimicamente. Como descrito no Manual de Combate a Incêndio, “O combustível é o elemento definido como o campo de propagação do fogo. É todo material capaz de queimar quando aquecido e mantém a combustão”. O método extintor que foca no combustível, também descrito no Manual, é a retirada de material, que consiste em “processo conhecido como isolamento das chamas ou como proteção dos bens (também conhecido como salvatagem)” (Manual de Combate a Incêndio - Módulo 02, CBMDF, 2009, p. 20).

Para fins desta pesquisa, este método de extinção não nos interessa, apesar de poder ser aplicado no combate ao incêndio florestal, como, por exemplo, em aceiros.

Continuando no triângulo do fogo, temos o calor. Descrito pelo Manual como “elemento que causa a vaporização do combustível (sólido ou líquido), sendo responsável por manter a temperatura da reação, que, durante a combustão, continuará havendo a liberação de mais calor”. O método de extinção relacionado ao calor é o resfriamento, descrito como elemento que “consiste no combate ao incêndio por meio da retirada do calor envolvido no processo de combustão” (Manual de Combate a Incêndio - Módulo 02, CBMDF, 2009, p. 90). Este é o método mais utilizado no combate, pois é a forma de atuar do agente extintor mais comum, qual seja, a água.

Aqui, esta pesquisa procura estudar o efeito da adição dos carbonatos no aumento desta ação da água. Quimicamente, se a mistura possui maior capacidade de retenção do calor, irá ser mais eficiente no resfriamento e, então, na quebra do triângulo.

Em seguida, há o comburente, que, de acordo com o Manual, é “a substância que reage com os gases combustíveis liberados na pirólise, também conhecida como agente oxidante”, que, na maior parte dos processos de combustão, será o oxigênio. A tentativa de quebra do tetraedro, aqui, se dá por abafamento, que “é o método que atua na diminuição do oxigênio, na reação até uma concentração que não permita mais combustão” (Manual de Combate a Incêndio - Módulo 02, CBMDF, 2009, p. 91).

É nessa forma de extinção que se apoia a parte teórica desta pesquisa. Uma das formas de abafamento se dá no aumento da concentração de dióxido de carbono na área do foco, procurando minimizar a oferta de oxigênio. Esta é, inclusive, a forma de atuação dos extintores tipo C. Conforme será demonstrado posteriormente, a teoria propõe que, além do aumento da capacidade de resfriamento através das propriedades coligativas, a adição de carbonatos à água irá produzir também um efeito de abafamento nas chamas, pois as reações envolvidas da decomposição do bicarbonato de sódio e do carbonato de cálcio produzirão o dióxido, que irá abafar as chamas.

Por último, cabe mencionar a reação em cadeia, sendo, de acordo com o Manual de Incêndio do CBMDF, “... o processo que envolve os três elementos:

combustível, comburente e fonte de calor” (Manual de Combate a Incêndio - Módulo 02,xCBMDF,2009, p.29). Parte recente da teoria do fogo, a reação em cadeia é pontual sobre o fato de que o calor produzido pela queima inicial irá produzir mais combustível, através da pirólise, e a queima deste novo combustível será possível pelo calor da reação anterior. Ao queimar, irá ocorrer uma nova pirólise e assim o processo se sustenta enquanto os três elementos estiverem presentes.

Conclui-se, então, que o foco desta pesquisa é analisar como a mistura de carbonatos e água poderá amplificar a frente de atuação e, possivelmente, adicionar outra, através do abafamento.

### **2.1.1. Resfriamento**

Conforme dito anteriormente, o resfriamento busca reter o calor das reações que ocorrem em um incêndio. A água é efetiva neste processo graças ao seu calor latente, ou seja, o calor que precisa para poder mudar de fase:

Afirmam ainda, que o valor do calor latente de vaporização para a água é de 2.256 kJ/kg, e isso significa que, para que um quilograma de água passe da fase líquida para a fase gasosa é necessário o fornecimento de uma quantidade de energia de 2.256.000 Joules. Esse expressivo valor de energia é o que faz a água ser um excelente extintor de incêndio quando age por resfriamento (Souza, 2014, p. 12).

A adição do bicarbonato de sódio procura, por meio de propriedades coligativas, aumentar o ponto de ebulição da água.

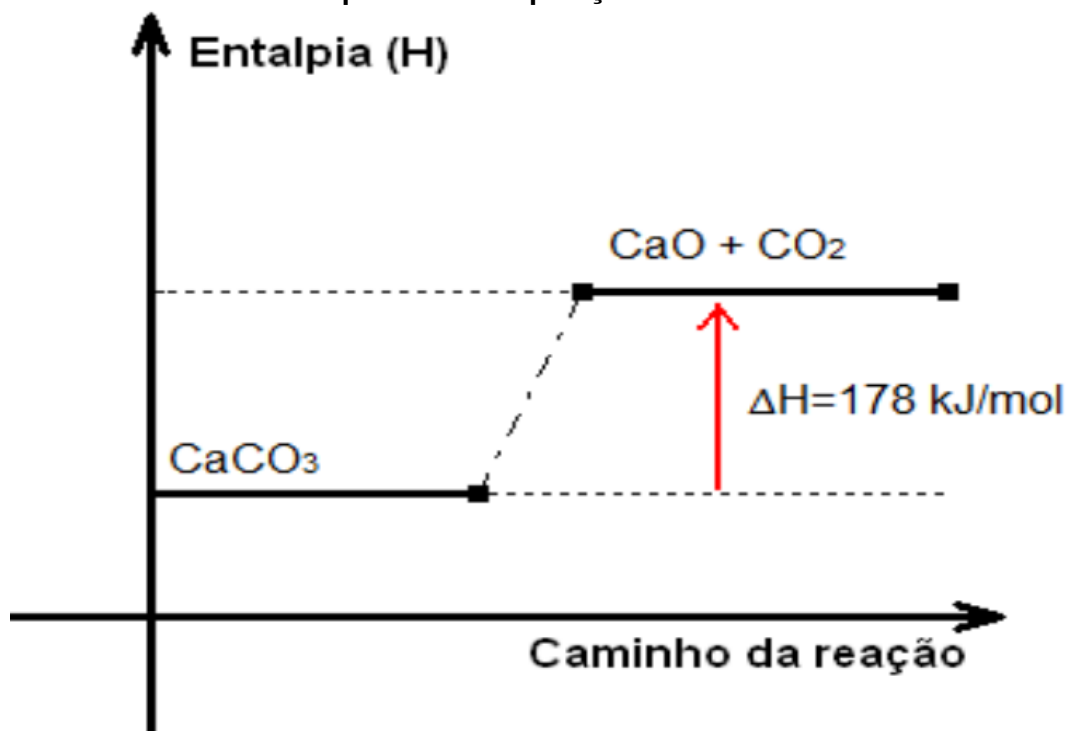
De uma forma geral, quando um soluto não volátil é adicionado a um solvente, ele dificulta a evaporação do solvente. Dessa forma, torna-se necessária uma temperatura maior para poder evaporar o solvente. Na ebulioscopia, estuda-se esse aumento do ponto de ebulição do solvente” (Dias, Brasil Escola, 2013).

Tal propriedade coligativa é chamada de ebulioscopia. Neste estudo, será uma das contribuições do bicarbonato de sódio, pois é um soluto não-volátil. Este não será, porém, um dos fatores positivos do carbonato de cálcio, pois este é indissolúvel em água.

Ao aumentar o ponto de ebulição da água, através da propriedade citada, será necessário mais energia para esta evaporação. Isso favorece o resfriamento total realizado.

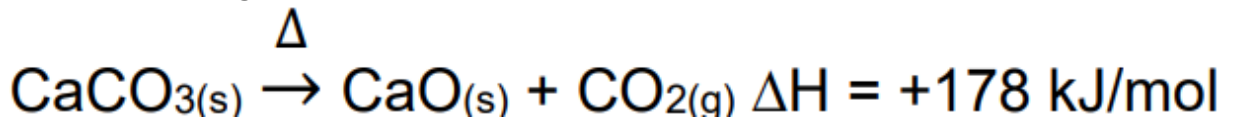
Outro fator de extinção presente é o calor que os próprios carbonatos absorvem. Ambos decompõem-se termicamente e, para tal reação química, usam energia, fortalecendo o resfriamento do sistema. Os gráficos e reações correspondentes estão abaixo, conforme demonstrados por Maia (2003):

Gráfico 1 – Entalpia da decomposição do carbonato de cálcio



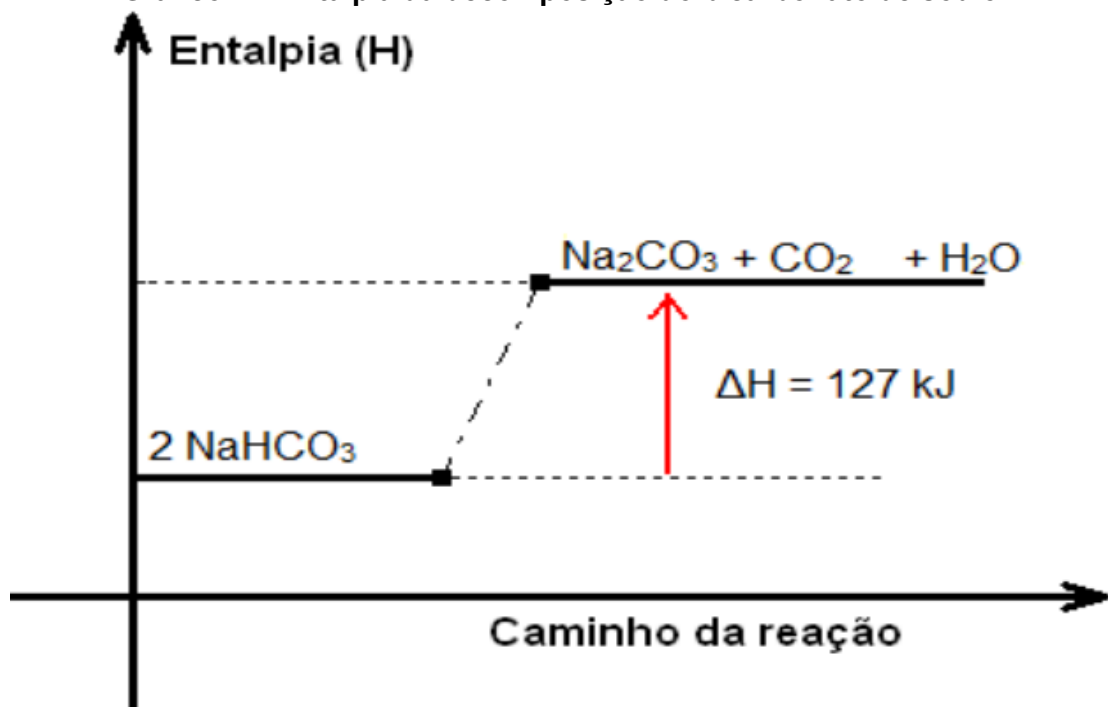
Fonte: Maia (2003)

Imagem 3 - Reação de decomposição do carbonato de cálcio



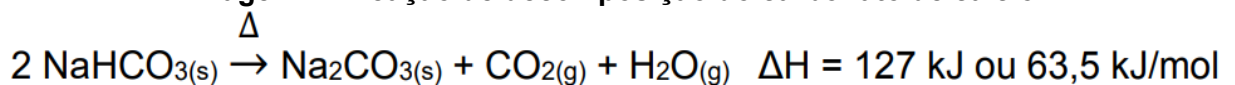
Fonte: Maia (2003)

Gráfico 2 – Entalpia da decomposição do bicarbonato de sódio



Fonte: Maia (2003)

Imagem 4 - Reação de decomposição do carbonato de cálcio



Fonte: Maia (2003)

Nota-se, portanto, que a adição dos carbonatos irá aumentar o poder combativo das bombas costais. Após a evaporação da água, os carbonatos irão se decompor, e absorver mais energia. Repara-se que o potencial de tal “pós-evaporação” da mistura poderá ser, potencialmente, de grande valia para o rescaldo, por permanecer no ambiente, mesmo após a evaporação da fase líquida.

### **2.1.2. Abafamento**

Como foi mencionado, os carbonatos irão permanecer após a evaporação da água e suas reações de decomposição térmica produzirão dióxido de carbono, que abafará o local aplicado.

Esta parte do estudo é incerta; será o foco da etapa de ensaio instrumental. Só mesmo usando o produto no combate, real ou simulado, e fazendo a comparação direta e paralela com o combate tradicional, para que se possa mensurar o efeito de tal abafamento. E ainda assim, não há como distinguir a contribuição do abafamento do aumento do resfriamento que a adição dos carbonatos trará à extinção.

Conclui-se, então, que há potencial no produto. Na teoria, ele irá aumentar e melhorar os mecanismos extintores já existentes na água, e ainda adicionará outro. Cabe, então, realizar experimentos para mensurar quantitativamente tal potencial.

## **2.2. Uso do bicarbonato de sódio como agente extintor**

De acordo com Finnerty e Kieft (1997), o uso de sais não-inflamáveis, especificamente do bicarbonato de sódio, como agentes extintores, datam desde 1950. Tais sólidos possuem propriedades específicas que os tornam potentes agentes extintores. Como dizem Guerra, Coelho e Leitão (2006, p. 59) “Todos atuam no sentido de suprimir a chama através da inibição da reação em cadeia”. Tais propriedades químicas podem ser mais precisamente descritas por Finnerty e Kieft:

O calor pode ser absorvido pela capacidade calorífica do sólido, o calor latente no ponto de fusão, a capacidade calorífica do líquido, o calor de dissociação das ligações químicas, e o calor de vaporização. Todos estes contribuem para a endotermicidade total do pó extintor de fogo. Finnerty e Kieft (1997, p. 11).

Sabe-se, então, que o uso de bicarbonato de sódio na sua forma sólida é comprovadamente eficaz e físico-quimicamente vantajoso. Comparado, por exemplo, ao CO<sub>2</sub> (extintor tipo C), “Tem um poder extintor 4.5x superior” de acordo com Guerra, Coelho e Leitão (2006, p. 59).



No trabalho de Souza (2014, p. 15) é calculado que “[...] a cada mol de bicarbonato de sódio que se decompõe, 63.500 joules de energia são absorvidos do sistema, promovendo o resfriamento do local”. Tem-se, então, uma base sólida calculada para acrescentar aos estudos, visto que o foco é adicionar o bicarbonato à água para poder aumentar sua capacidade de combate.

### **2.2.1. Toxicidade do bicarbonato de sódio**

De acordo com o segundo tópico da Ficha de Informações de Segurança do site Química Brasileira, o bicarbonato de sódio não é perigoso em nenhuma classificação, apesar de sua eco toxicidade ainda ser desconhecida (Bioquímica e Química Ltda, 2021,p.1).

Tal informação é relevante quando se leva em conta uma das principais dificuldades do uso de produtos químicos no campo do combate florestal - sua toxicidade e decorrente poluição ambiental. Diversos estudos são conduzidos para que o uso de LGE (líquido gerador de espuma) e outros retardantes sejam usados sem gerar prejuízos ao meio ambiente. O bicarbonato ultrapassa essa barreira naturalmente.

## **2.3. Uso de retardantes químicos na água para combate ao incêndio**

Os retardantes fazem parte do combate ao incêndio moderno. São de grande importância para preencher as falhas da água como agente extintor, pois, por mais eficiente que seja, a água possui certas desvantagens:

A água escorre rapidamente nos locais onde é aplicada devido à sua baixa viscosidade, o que compromete sua capacidade de penetração nos corpos. Uma vez que ela não fica estagnada, ou seja, não se fixa às superfícies onde é lançada, não tem toda sua capacidade de absorção de calor utilizada, nem sua capacidade de abafamento totalmente aproveitada (Flores et al, 2016, p.30).

Segue-se, então, o estudo do uso dos retardantes. “Retardante de fogo é um produto químico que quando utilizado, sozinho ou misturado com água, ajuda a reduzir ou eliminar a combustão de um determinado combustível” (Ribeiro et al., 2006, p.1025-1031).

Existem duas classificações de retardantes usados no combate ao incêndio: os de curta e de longa duração, descritos abaixo:

Retardantes de curta duração – que atuam simplesmente pela intensificação da capacidade de extinção da água, através da maior retenção da água pelo combustível ou pelo retardamento da evaporação, ou ambos; Retardantes de longa duração – que deixam resíduos de agentes inibidores da combustão sobre o material combustível depois de toda água ter sido evaporada. Nesse grupo estão incluídos todos os produtos retardantes à base de sais de amoníaco, tais como: sulfatos, fosfatos e polifosfatos, como também os nitrogenados (Ribeiro et al, 2006, p. 1025-1031).

Visto que, de acordo com Souza (2014, p.7) “[...] quando se adiciona sal à água, essa solução aquosa não mais entra em ebulição a 100 °C, mas numa temperatura superior a essa”, ou seja, retarda sua evaporação. O bicarbonato se encaixa como retardante a curto prazo.

Porém observa-se também que:

Depois que toda a água utilizada no combate mudar de estado físico da matéria, o carbonato de cálcio e o bicarbonato de sódio restarão no local do combate. E, se mesmo assim, as chamas persistirem, ou seja, se a água por si só não tiver logrado êxito em combater o incêndio, tanto o carbonato de cálcio quanto o bicarbonato de sódio podem se desintegrar, produzindo o óxido de cálcio (CaO) e carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) respectivamente. Nessa desintegração, ambos liberam dióxido de carbono ou gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Nesse momento, essa desintegração tem especial interesse para este artigo, pois, para que ela aconteça, os sais precisam absorver a energia necessária para romper algumas ligações químicas entre as partes que os constituem, bem como para restabelecer as ligações do novo rearranjo entre os átomos. Dessa forma, tem-se mais um fator de resfriamento do sistema, pois a energia envolvida nesse fazer e refazer de ligações químicas é oriunda da temperatura do incêndio em questão (Finnerty; Kieft, 1997, p. 11).

Ou seja, ambos os bicarbonatos estudados nesta revisão também possuem propriedades de retardantes de longo prazo, atuando em mais de uma etapa do ciclo do fogo, conforme a citação de Finnerty e Kieft acima.

Tendo que o objetivo final do trabalho será avaliar a eficiência do uso destes bicarbonatos específicos como retardantes e que o uso, especificamente do bicarbonato de sódio, é normalmente de extintor, o usaremos como aditivo à água para melhorar a sua capacidade combativa, bem como investigaremos o uso do bicarbonato de cálcio como agente extintor auxiliar.

## **2.4. Teoria química sobre a capacidade extintora da mistura água, bicarbonato de sódio e bicarbonato de cálcio**

Usando o artigo de Souza (2014) como base, pode-se concluir que o modelo teórico da mistura possui grande potencial.

Tal mistura é descrita por Souza:

Trata-se da adição de solutos não voláteis à água, o carbonato de cálcio e o bicarbonato de sódio, provocando um efeito coligativo, potencializando o poder de resfriamento da água. Esses aditivos químicos, num ambiente de altas temperaturas, absorvem a energia do meio para entrar em decomposição, liberando o gás carbônico que também tem função extintora agindo por abafamento (Souza, 2014, p. 4).

Tem-se também a justificativa pelo uso do bicarbonato de cálcio na mistura como agente auxiliar:

Na sequência da desintegração dos sais, restam no ambiente o carbonato de sódio e o óxido de cálcio que, ao contrário de serem poluentes ou prejudiciais ao meio ambiente, são nutrientes nobres para o solo, além de atuarem na correção da acidez típica dos solos do cerrado (Souza, 2014, p. 4).

De forma resumida, o objetivo é adicionar substâncias não voláteis (sais não-inflamáveis) à água, porque quando isso é feito ocorre o aumento de ponto de ebulição e, conseqüentemente, de calor absorvido, devido à ebulioscopia. “A temperatura em que se inicia a ebulição do solvente em uma solução de soluto não volátil é sempre maior que o ponto de ebulição do solvente puro” (Só Química, 2023, s/n).

## **2.5 Melhorias estratégicas da aplicação do produto**

Dois pontos principais serão levantados aqui: a economia de recursos hídricos e a escolha de aplicar a mistura à bomba costal.

### **2.5.1. *Economía de recursos hídricos***

Existe uma demanda intensa por água no combate a incêndios florestais. Por muitas vezes, devido ao clima e à época do ano, o material combustível encontra-se seco e inflamável, com maior propensão à queima, como diz o artigo de Mariano et al. existe a

[...] dificuldade de disponibilidade de água nas proximidades das ocorrências dos incêndios florestais aliada à problemática dos períodos de estiagem que se tem agravado em todo o planeta, dada às mudanças climáticas, tornando necessário o uso estratégico desse recurso (Mariano, 2021, p. 78).

Destaca também na mesma página: “[...] a importância do combate eficiente dos incêndios florestais bem como da determinação de técnicas de eliminação do fogo por meio de volumes reduzidos de água”.

Inferese, então, que buscar formas de melhorar a capacidade combativa da água e, portanto, diminuir seu volume total gasto seria de ganho estratégico para os combatentes, visto tal indisponibilidade eventual do recurso e volume proporcional ao incêndio enfrentado.

### **2.5.2. *Uso da bomba costal***

O uso das bombas costais é essencial no combate ao incêndio florestal, usada como extintor tipo A (à base de água), visto que quase todo o combustível do incêndio florestal é sólido e a água é indicada para tal combate.

Porém, devido ao seu peso de aproximadamente 24.2 kilos (Modelo Bomba Costal Anti-incêndio Guarany S-4) quando cheia, nota-se o esforço cotidiano dos combatentes ao portá-la e possíveis prejuízos a tais combatentes. Estes mesmos relataram em um estudo de 2006 que analisou as condições de trabalho em diversos parques e reservas do cerrado (Fiedler et al, 2006), que “o equipamento considerado como o mais desconfortável foi a bomba costal, com 82,6% das respostas” e, além disso, “a bomba e a mochila costal foram consideradas as ferramentas mais desconfortáveis, com 69,2% das respostas, e todos concordaram que o peso é o motivo do desconforto”.

Tendo em vista tais relatos, aumentar o poder combativo da água melhoraria a qualidade do combate e iria reduzir o tempo gasto utilizando o equipamento. Este seria mais um motivo para levar adiante a pesquisa do uso da mistura no cotidiano dos combatentes.

### **3. METODOLOGIA**

Procurando maximizar as evidências da eficácia do produto, a metodologia será escolhida a depender da etapa correspondente da pesquisa; cada etapa visa determinar, quantitativa ou qualitativamente, tais sinais de melhora da capacidade combativa do agente extintor proposto.

#### **3.1. Classificação e instrumentos de pesquisa**

A pesquisa realizada será dividida em três etapas, e cada uma de classificação distinta:

- a) A primeira etapa será de pesquisa laboratorial, objetivando o levantamento de dados e construção de tabelas para análise comparativa. No laboratório serão usados aparelhos simples, como placa de calor, termômetro, cronômetro e vidraçarias.
- b) A segunda etapa será experimental. O Projeto Osiris será usado para realizar uma simulação de queima. A comparação dar-se-á por uma medição diferencial e paralela das massas pelo tempo enquanto estas são degradadas pelo fogo (termogravimetria) e imagem térmica.
- c) A terceira parte será de levantamento documental. A partir dos resultados obtidos na segunda etapa, será feita uma pesquisa acerca da legislação vigente sobre retardantes, bem como uma previsão das próximas etapas do projeto para que o bicarbonato de sódio possa ser usado no CBMDF.

#### **3.2. Finalidade**

A finalidade desta pesquisa aplicada é melhorar a capacidade combativa do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal em ocorrências de incêndio florestal, através de um estudo experimental sobre a adição de carbonatos à água das bombas costais

### **3.3. Objetivos**

Visto que a proposta é realizar experimentos novos e de abordagem quantitativa do uso dos carbonatos em junção com a água na ação extintora, os objetivos desta pesquisa são explicativos, baseados no método científico e em levantamento de dados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção será dividida em três etapas, iniciando pela laboratorial.

### 4.1. Etapa laboratorial

A pesquisa laboratorial foi realizada com objetivo de comparar parâmetros físico-químicos da água e da mistura água-carbonato.

Para os experimentos, foram montadas amostras de concentrações crescentes de bicarbonato, até o limite de saturação, que, para cem mililitros e nas condições de temperatura no laboratório, era de aproximadamente oito gramas. No caso do carbonato, por ser indissolúvel em água, foi escolhido um valor baseado na dureza resultante da mistura. Isso se dá por prever um problema de empedramento do sal e possível entupimento da bomba costal.

O primeiro parâmetro escolhido foi o de temperatura máxima. As propriedades coligativas (ebulioscopia) causariam, em teoria, um aumento do ponto de ebulição da água, aumentando o calor necessário para sua evaporação.

**Tabela 1 – Temperatura máxima atingida**

| Concentração em 100ml  | Temp. máxima (°C) |
|------------------------|-------------------|
| Água                   | 95.3              |
| 2g NaHCO <sub>3</sub>  | 95.9              |
| 4g NaHCO <sub>3</sub>  | 95.8              |
| 6g NaHCO <sub>3</sub>  | 96.5              |
| 8g NaHCO <sub>3</sub>  | 96.8              |
| 1,5g CaCO <sub>3</sub> | 97.1              |
| Mistura final          | 97.8              |

**Fonte: O autor.**

A maior temperatura atingida foi a da mistura, de 97.8°C.

Comparado à água, que atingiu 95.3°C, nota-se o aumento ebulioscópico. Esta diferença, por mais baixa que seja (2.5°C) é significativa



quando se leva em conta que toda a massa aplicada de água precisará de mais energia para evaporar. Além de demorar para atingir a temperatura de calor latente, precisará de mais energia para manter-se neste patamar, contribuindo para a sua absorção térmica e, portanto, para o combate.

O parâmetro seguinte foi o tempo de evaporação. Como dito acima, o aumento de temperatura e de calor absorvido pelos carbonatos irão provocar mais resistência térmica da água. Isto se deu evidente no tempo necessário para a evaporação do volume das amostras, estas em concentrações crescentes de bicarbonato de sódio.

**Tabela 2 – Perda volumétrica x Tempo - bicarbonato de sódio em água**

| Concentração em 100ml | Perda de 10% | Perda de 20% | Perda de 30% | Perda de 40% | Perda de 50% | Perda de 60% |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Água                  | 08:44        | 12:45        | 17:29        | 22:48        | 26:20        | 30:11        |
| 2g                    | 14:30        | 26:12        | 32:00        | 40:52        | 47:42        | 55:19        |
| 4g                    | 16:17        | 25:00        | 32:44        | 38:50        | 46:19        | 53:10        |
| 6g                    | 12:39        | 24:25        | 29:18        | 38:50        | 45:28        | 53:10        |
| 8g                    | 14:34        | 23:09        | 33:20        | 37:21        | 46:17        | 52:53        |

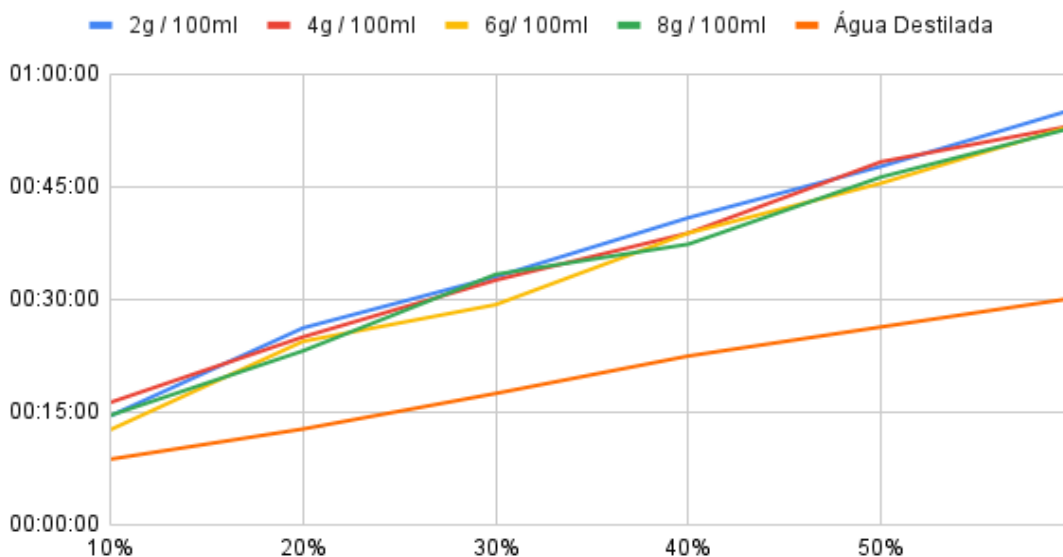
**Fonte: O autor.**

Os valores de perda volumétrica do bicarbonato foram similares. As propriedades coligativas causadas pela adição de bicarbonato são quantificáveis, mas não diferiram muito com o aumento do sal, visto que é uma propriedade cinética da evaporação. O ideal é, portanto, usar o máximo de bicarbonato possível sem causar condensação da parte sólida, pois esta pode apresentar problemas instrumentais nas bombas. Isto porque o bicarbonato irá, também, absorver calor após a evaporação da água no combate e agirá por abafamento produzindo dióxido de carbono.

O tempo de perda de 60% do volume da água foi de trinta minutos e onze segundos, ao passo que a perda de volume das amostras com bicarbonato se deu, em média, em cinquenta e três minutos e onze segundos. A diferença entre as amostras é, portanto, de vinte e três minutos.

### Gráfico 3 - Amostras de bicarbonato de sódio e água destilada (100ml)

2g / 100ml, 4g / 100ml, 6g / 100ml, 8g / 100ml e Água Destilada



Fonte: O autor.

Mostra-se aqui a maior resistência térmica da mistura. Esta diferença corresponde a 76% do tempo que a água demorou para evaporar, no mesmo volume e com o mesmo fluxo de calor.

Por fim, nota-se que a chama do incêndio é de potencial térmico muito superior ao da placa do laboratório; cabe ainda o ensaio instrumental, para melhor comparação em um fogo real.

Analisou-se em seguida a amostra de carbonato de cálcio. Este, por mais que possua pouca solubilidade, ainda se dissolve em uma pequena quantidade.

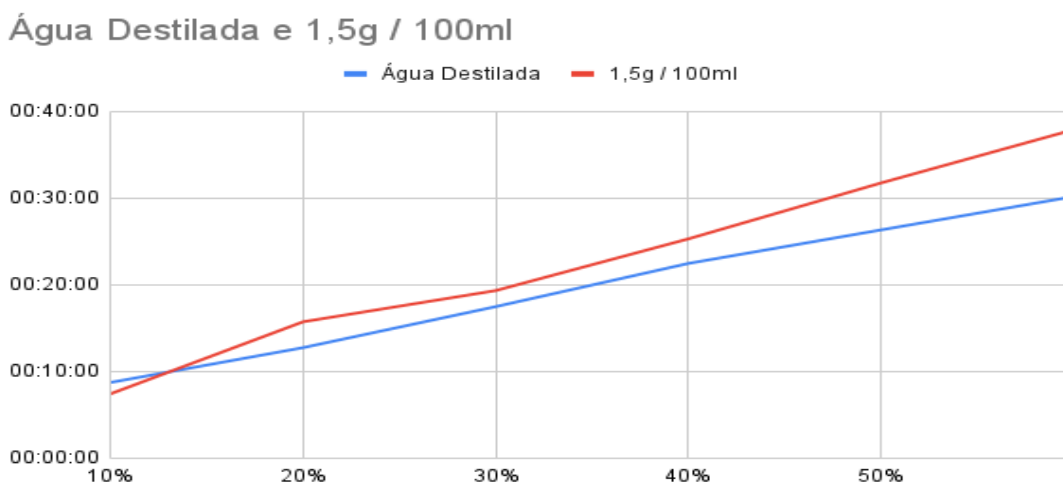
Tabela 3 – Perda volumétrica x Tempo - carbonato de cálcio em água

| Concentração em 100ml | Perda de 10% | Perda de 20% | Perda de 30% | Perda de 40% | Perda de 50% | Perda de 60% |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Água                  | 08:44        | 12:45        | 17:29        | 22:48        | 26:20        | 30:11        |
| 1.5g                  | 07:25        | 15:44        | 19:20        | 25:18        | 31:45        | 37:30        |

Fonte: O autor.

A diferença é notavelmente menor do que a do bicarbonato, o que era previsto. Porém, ainda existe uma contribuição de aproximadamente sete minutos de aumento do tempo de evaporação do mesmo volume.

**Gráfico 4 - Amostra de carbonato de cálcio e água destilada (100ml)**

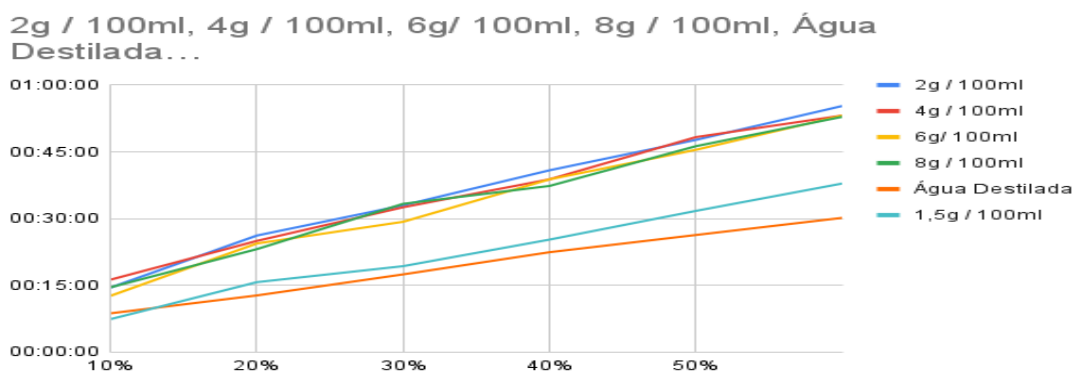


Fonte: O autor.

Veja que o aumento é evidente, de 23%. Como ambos os carbonatos estarão em solução na mistura, o carbonato de cálcio irá também contribuir para o resfriamento total.

Tem-se, portanto, o gráfico final com os experimentos da etapa laboratorial:

**Gráfico 5 - Amostra de carbonato de cálcio, bicarbonato de sódio e água destilada (100ml)**



Fonte: O autor.

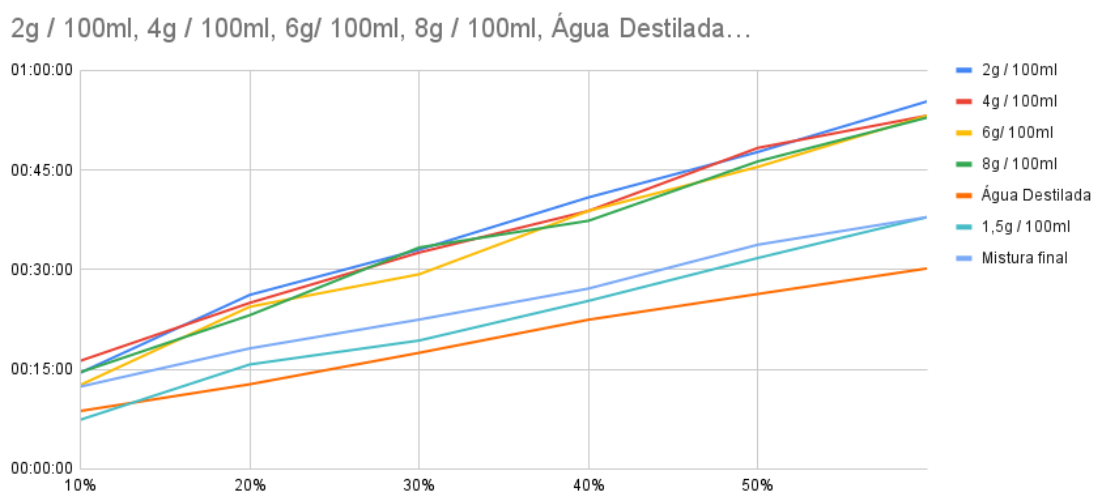
Fica claro a comprovação de que existe uma diferença significativa da capacidade térmica da mistura quando comparada à água.

Ambos os carbonatos irão aumentar a energia necessária para evaporação, que é o objetivo desta pesquisa. Cabe a ressalva de que esta etapa é somente para comprovação da teoria química. Por mais que seja evidente a melhora, esta pode ser irrelevante perante as condições de um incêndio florestal. Por isso as etapas seguintes serão fundamentais para averiguar se existe eficiência no uso do produto final da pesquisa.

#### 4.1.1. Análise da mistura dos carbonatos

No gráfico final (Gráfico 4) percebe-se que, ao contrário do que foi teorizado, a mistura não possui capacidade calorífica igual ou maior que a soma das partes. Pelo contrário, nem mesmo é igual ao melhor ganho de absorção térmica, que é, no caso, do bicarbonato de sódio. A mistura dos dois carbonatos comportou-se de forma similar à solução do carbonato de cálcio aquoso, isto é, a contribuição do bicarbonato de sódio diminuiu quando diluído junto com o carbonato de cálcio.

**Gráfico 6 - Todas as amostras realizadas**



**Fonte: o Autor**

A mistura idealmente teria um comportamento similar com as amostras de bicarbonato de sódio, pois, como dito anteriormente, a contribuição do

carbonato de cálcio é pequena para o resfriamento. Porém, visto que este reduziu a capacidade de resfriamento total do sistema, optou-se por retirar o carbonato de cálcio do produto final e prosseguir somente com o bicarbonato de sódio para a etapa de simulação. Por mais que a possível contribuição do carbonato de cálcio fosse, em teoria, válida, o potencial demonstrado pelo bicarbonato de sódio em laboratório prevalece.

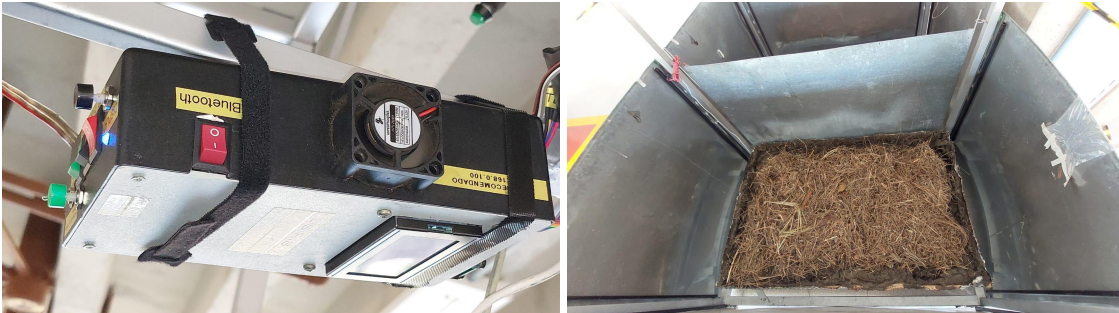
A interação química entre os carbonatos causadora de tal interferência na capacidade térmica demonstrada pelo bicarbonato de sódio não é, neste momento, clara. Sugerem-se estudos sobre o tema, pois a literatura não evidenciou nenhum motivo evidente para tamanha inconformidade da teoria com os experimentos.

#### **4.2. Projeto Osiris**

Esta etapa foi de simulações. A ideia inicial era de realizar queimas controladas visando comparar a água com a mistura proposta, e usar parâmetros visuais para diferenciar a eficiência entre os instrumentos de combate.

Sendo assim, foi solicitado o auxílio do Professor Carlos Henke da Universidade de Brasília. Cooperador e consultor do CBMDF acerca de temas relacionados ao uso de retardantes no combate a incêndio florestal, já possui vasta experiência sobre o tema e realiza pesquisas e estudos neste tópico rotineiramente. Portanto, ele desenvolveu um instrumento chamado de Projeto Osiris, justamente para poder realizar simulações de queimas de forma mais controlada e precisa, incluindo os parâmetros de termogravimetria e imagens térmicas aos processos de queima. O instrumento mostrou-se ideal para a realização da parte de simulação deste trabalho.

**Imagem 5 e 6 - Módulo de processamento e gaveta de queima**



**Fonte: o Autor**

**Imagem 7 - Projeto Osiris**



**Fonte: o Autor**

O foco da etapa é a queima em paralelo usando a água e a mistura. É de fundamental importância e grande valia poder realizar as queimas em condições quase idênticas de tempo, local e meteorologia, visto que o vento é um fator influente em fogos florestais.

#### **4.2.1. Parâmetros e condições experimentais**

Para as queimas, foram usados cargas e local indicados pelo professor Henke, fruto de sua experiência com o instrumento. Os simulados ocorreram na Universidade de Brasília, no Instituto de Biologia, no dia 07 de julho de 2023. A primeira queima iniciou às 11h31 BRT, e a última encerrou-se às 16h09 BRT.

O combustível escolhido foi o capim-gordura (*Melinis minutiflora*), devido à fácil aquisição e à representatividade da flora usualmente encontrada no cerrado. Doze caixas de um kilo e meio de capim foram separadas antes do dia da queima e deixadas ao ar livre, para que se secasse o combustível e, assim, simular as condições reais da vegetação incendiada. O volume final de combustível foi menor do que o pesado inicialmente, visto a secagem do capim no sol por doze dias.

Seis queimas foram realizadas da seguinte maneira: três pares de queimas, sendo cada par com uma simulação de linha fria e, em seguida, um combate direto. Todos estes pares de amostra ocorreram paralelamente, pois assim as condições experimentais seriam praticamente idênticas, principalmente considerando o vento na hora da simulação. Tal formato buscou separar os métodos de combate a fim de evitar vícios experimentais e proporcionar descanso aos aplicadores dos produtos analisados. Além disso, a cada par de linha fria/combate direto, trocou-se ou o agente extintor ou o combatente. Sendo assim, foi minimizado o risco de ter vícios e procurou-se condições quase iguais de queima para os pares.

As reproduções ficaram na seguinte disposição:

**Tabela 4 - Distribuição das queimas**

| <b>Réplica e método</b>    | <b>Massa de combustível para água (g)</b> | <b>Massa de combustível para bicarbonato (g)</b> | <b>Tempo total de queima (min)</b> |
|----------------------------|---|--|------------------------------------|
| Réplica 1 - Linha fria     | 1297                                      | 1148   | 34                                 |
| Réplica 1 - Combate direto | 1484                                      | 1247   | 14                                 |
| Réplica 2 - Linha fria     | 1239                                      | 962  | 26                                 |
| Réplica 2 - Combate direto | 1343                                      | 1250   | 16                                 |
| Réplica 3 - Linha fria     | 1114                                      | 1267   | 22                                 |
| Réplica 3 - Combate direto | 1336                                      | 1408   | 16                                 |

**Fonte: o Autor**

Para a aplicação dos agentes extintores, foi usado um pulverizador da marca Guarany, código 0424:

**Imagem 6**



**Fonte:**

<https://www.clavoura.com.br/guarany-pulverizador-de-comp-previa-1-25-lt/p>



Foi colocado em cada pulverizador um volume de 500ml do agente correspondente (água ou água com bicarbonato de sódio). A concentração escolhida de bicarbonato foi de 9%, visando obter o máximo possível de massa sem atingir a saturação e causar decantação do sal. Tinha-se, portanto, 45g de bicarbonato em 500ml de água em uma queima, e 500ml de água pura em outra.

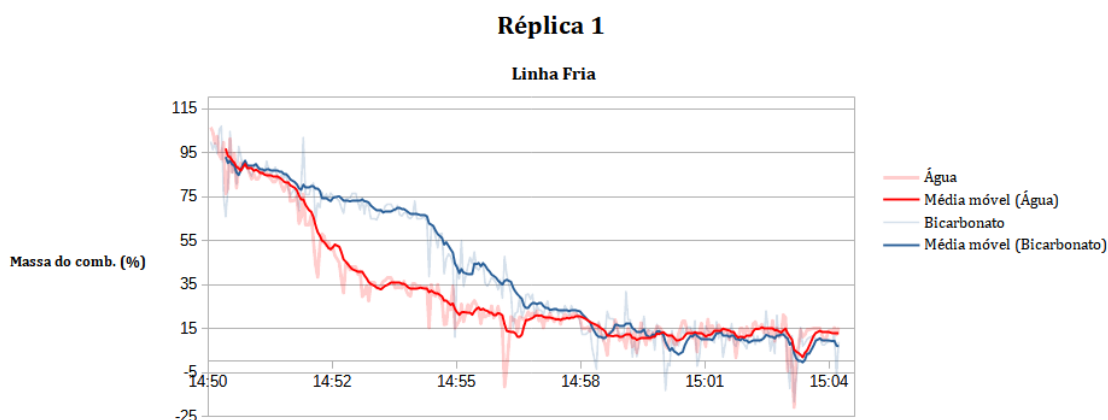
Os combatentes que realizaram a aplicação da linha fria e a simulação do combate direito foram o Cadete Balduino, autor deste trabalho, e o Cabo Arthur Moraes, lotado no 10º GBM. A administração instrumental da Osiris e a aquisição de imagens/vídeos foram feitas pelo prof. Henke.

#### 4.2.2. Simulação das linhas frias

A primeira queima de cada réplica foi a simulação de linha fria. O combustível usado foi distribuído de forma uniforme em cima das plataformas da Osiris e, em seguida, o agente extintor respectivo àquela queima era aplicado sobre todo o capim, novamente de forma uniforme. Para garantir a ignição do fogo, uma pequena quantidade do capim foi mantida seca e separada e após a aplicação do agente extintor sobre o material, era colocada por cima do pavio embebido de álcool e gasolina.

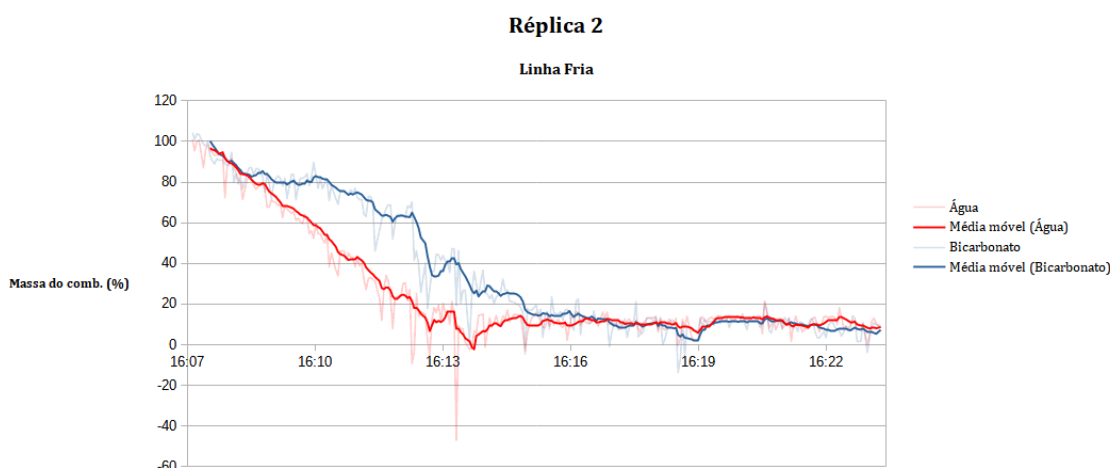
Seguem os dados, gráficos e imagens correspondentes das queimas:

**Gráfico 7 - Primeira réplica de linha fria**



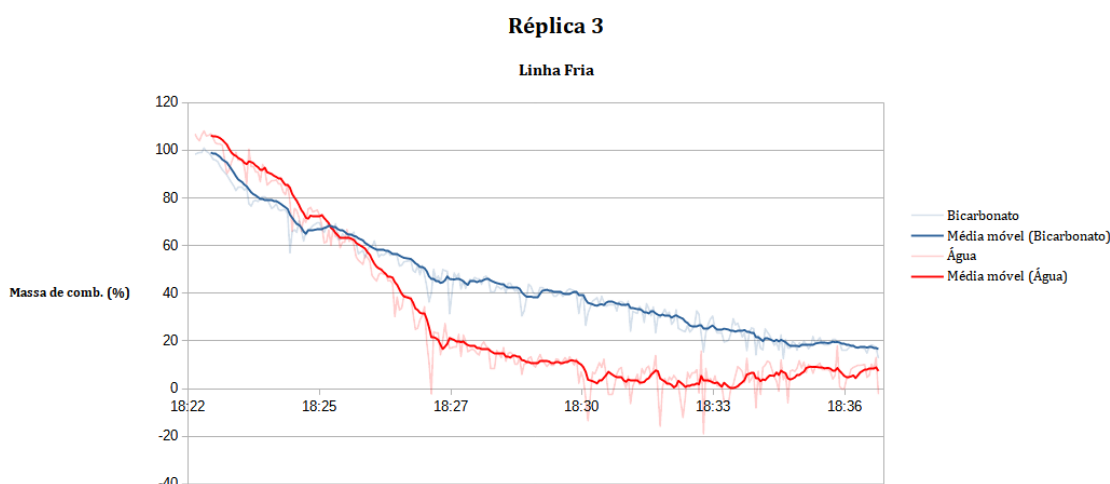
Fonte: o Autor

## Gráfico 8 - Segunda réplica de linha fria



Fonte: o Autor

## Gráfico 9 - Terceira réplica de linha fria



Fonte: o Autor

Os gráficos demonstram o recorte dos dados relativos à queima em si, no momento em que foi iniciado a decomposição térmica da massa presente. Devido à variação dos dados brutos (representados pela linha transparente) causada pelo vento nos momentos de queima, delineou-se uma média móvel para fins comparativos, com a mesma amplitude de dados.

Percebe-se a diferença nítida entre as amostras: o decaimento da massa onde foi aplicada somente água é maior do que onde o bicarbonato foi adicionado ao agente extintor.

No gráfico 7, a massa do lado com água chegou a 35% do valor inicial em aproximadamente três minutos. O lado com a mistura carbonada demorou pouco mais de seis minutos para atingir o mesmo valor.

No gráfico 8, demorou por volta de cinco minutos para o lado com apenas água atingir 20% do valor da massa inicial, e oito para o lado com bicarbonato de sódio.

Por fim, no gráfico 9, foram cinco minutos novamente para chegar aos 20%, enquanto o lado com bicarbonato percorreu mais de dez para alcançar tal redução de massa.

Ficou demonstrado, através destes gráficos, a diferença do potencial extintor da água com bicarbonato de sódio quando comparada paralelamente à água sem aditivos quando usados como linha fria. Tal diferença já se fez nítida empiricamente durante as simulações do dia 07 de julho de 2023 desde a primeira amostra e, então, comprovada pelos dados aqui demonstrados.

#### **4.2.3. Simulação de combate direto**

A segunda queima de cada réplica foi a simulação de combate direto. Para tentar proporcionalizar o combate ao ambiente da Osiris, esse foi feito com o próprio pulverizador. Foi feito também um revezamento de combatentes e agentes extintores, de forma a tentar reduzir o fator combatente à análise; ambos os combatentes usaram os dois agentes extintores e atuaram de ambos os lados da Osiris.

A escolha de alternar dentro das réplicas o combate direto e a linha fria foi feita para dar um tempo de descanso entre os combates que, por mais que fossem de baixa intensidade visto a pequena massa de material combustível, poderiam gerar cansaço e atrapalhar a replicabilidade dos combates.

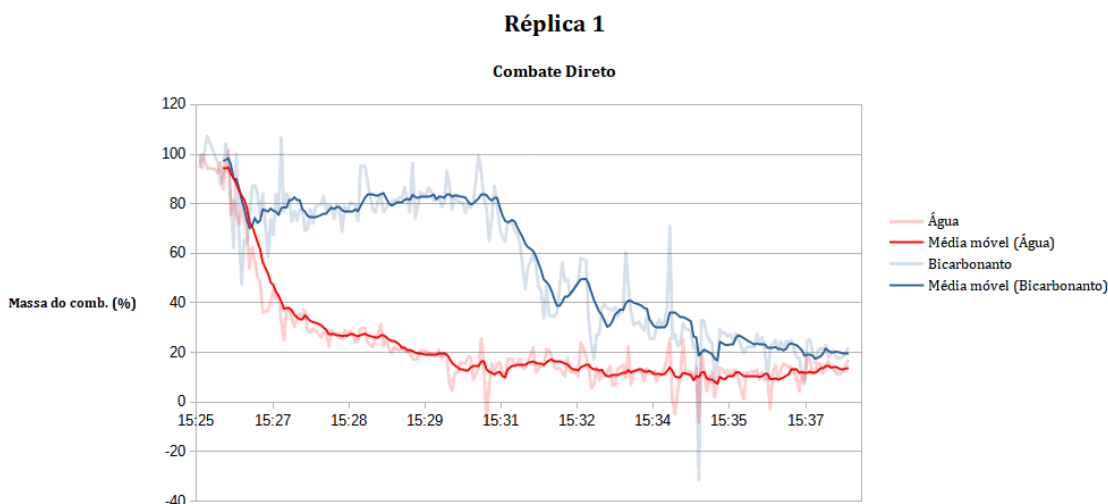
O capim foi todo posto em cima das plataformas da Osiris. Foi colocado um pavio igual ao das linhas frias, para garantir uniformidade. Os combatentes ficaram a postos, equipados de EPIs e usando o pulverizador para aplicar o agente extintor. Deu-se início à queima e, no momento que a queima atingiu

um ápice de intensidade, os combatentes iniciavam o combate simultaneamente, cada um de um lado e com um agente extintor distinto.

O volume usado foi o já mencionado: 500ml de água ou água com bicarbonato de sódio a 9%. Se o combatente obteve sucesso no combate, usava todo o volume para realizar o rescaldo (resfriamento) do combustível, e até mesmo uma pequena linha fria, caso sobrasse muito volume de agente extintor. Isto para garantir o uso total do volume aplicado e não gerar diferença de massa na análise final, visto que a massa de água e bicarbonato era adicionada ao sistema total e apareceria nos dados gravimétricos da análise.

Seguem os gráficos referentes aos simulados de combate direto das réplicas:

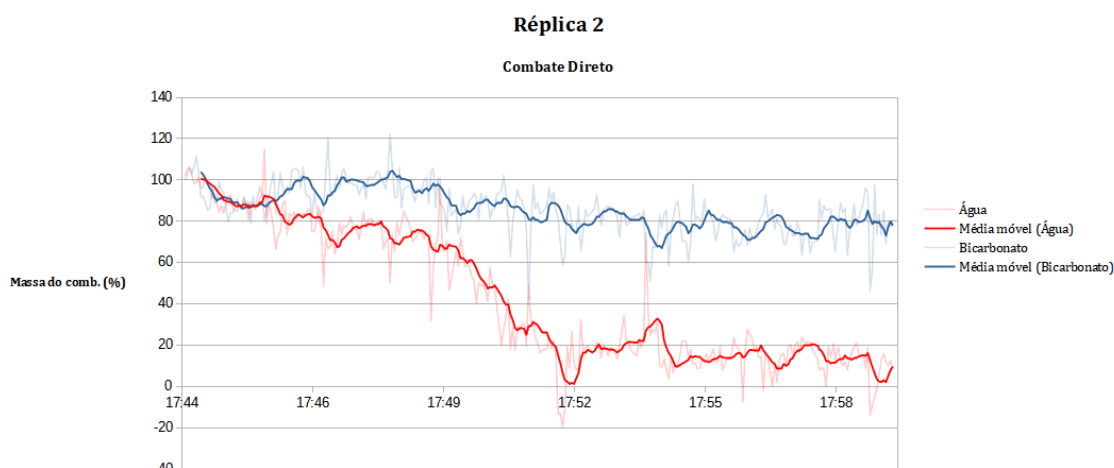
**Gráfico 10 - Primeira réplica de combate direto**



**Fonte: o Autor**

No Gráfico 10, o fogo logo saiu do controle do combatente que utilizou água. Em menos de um minuto, já atingiu 40% da massa e foi usado todo o volume dentro do pulverizador para tentar cessar a queima. Do outro lado, o combate foi realizado por seis minutos de forma eficiente, segurando o avanço das chamas para consumir somente 20% do material. Foi somente após acabar o agente extintor que o fogo avançou e consumiu o material, chegando a 40% sete minutos depois do início da queima.

**Gráfico 11 - Segunda réplica de combate direto**

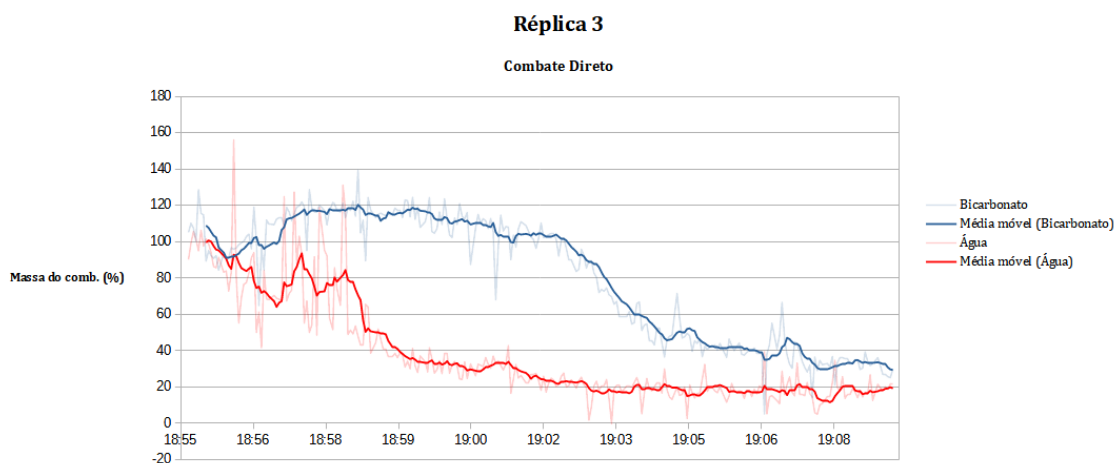


**Fonte: o Autor**

No gráfico 11, o combate foi realizado de forma mais eficiente de ambos os lados. Apesar disso, percebe-se que a água foi mais permissiva, estando sempre abaixo da eficiência do bicarbonato. Neste caso, o combatente que estava usando água tentou resfriar o ambiente para evitar a reignição, sem sucesso; o fogo persistiu além do volume de água usado e terminou de consumir o capim.

Do outro lado, de forma similar, o combatente foi efetivo no combate inicial. Porém, resfriou os focos de calor e aplicou uma linha fria com o que sobrou de volume de mistura carbonada. A massa manteve-se por volta de 80% até o final da análise, ou seja, o combate foi efetivo por completo, evitando o consumo total de combustível, mesmo com volume limitado de agente extintor.

**Gráfico 12 - Terceira réplica de combate direto**



### **Fonte: o Autor**

No Gráfico 12, o combate com água foi mais efetivo, segurando por volta de três minutos o avanço das chamas e mantendo 60% de massa intacta, até que seu agente extintor acabou e o fogo alastrou-se livremente. O combate com bicarbonato, porém, controlou plenamente as chamas, mantendo toda a massa íntegra por um pouco mais de sete minutos, e então, com uma reigniçã o e acabando também o agente extintor, degradou-se o combustível.

### **4.3. Discussão experimental**

De acordo com os resultados obtidos com os experimentos, há nítida vantagem da água acrescida com bicarbonato de sódio quando comparada à água pura. Tanto no combate estático (linha fria) quanto dinâmico (combate direto). Os gráficos e dados demonstram que o decaimento de massa combustível é mais lento e, em alguns casos, menor (por cessar a queima) nos combates com a mistura. As imagens térmicas demonstram também a diferença de temperatura dos dois ambientes e o resfriamento causado pela mistura é, novamente, superior.

Como colocado na etapa de revisão de literatura, os dois principais mecanismos de ação do bicarbonato previstos são o abafamento e o resfriamento. A eficiência demonstrada pelo estudo experimental não pode ser claramente atribuída para um ou para o outro, nem mesmo quantitativamente. Os dois mecanismos atuam juntos, e não há como apontar qual é o maior contribuinte.

Mesmo assim, um fator pode ser o diferencial no uso do bicarbonato, observado empiricamente durante os experimentos na Osíris. A quantidade de fumaça branca, ou seja, pirolisada, mas que não entrou em combustão e, portanto, não contribuiu para a reação em cadeia, foi muito maior no lado da Osíris em que o bicarbonato foi usado, fosse em linha fria ou em combate direto. Sendo assim, levanta-se aqui a hipótese de que o abafamento causado pela produção de CO<sub>2</sub> no microambiente da reação impeça os gases da pirólise de entrar em combustão.

Além disso, por estar diluído em água e, portanto, possuir uma superfície de contato distribuída ao longo do combustível, a presença do bicarbonato onde a solução é aplicada é uniforme. Assim, onde ocorre a queima, há bicarbonato para causar o abafamento quando decompõe.

Note que esta é apenas uma hipótese, e de difícil comprovação experimental. Como a queima acontece em escala molecular, pode-se apenas conjecturar sobre os possíveis mecanismos no microambiente da queima no momento.

#### **4.4. Elaboração do plano de pesquisa**

Visto a comprovação experimental da eficiência do bicarbonato, pode-se então seguir com as etapas necessárias para o uso real deste retardante. O fator de maior preocupação é o ambiental, questão amplamente estudada e cuidadosamente monitorada. O uso de químicos em combates florestais não é novidade. Porém, com o avançar tecnológico e crescente atenção aos impactos ambientais destes retardantes, tornou-se um desafio encontrar um instrumento químico que possa ser usado em larga escala.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) já elaborou diversos pareceres sobre o uso de retardantes no Brasil. Dentre eles, o Parecer Técnico nº 514/2018-COASP/CGASQ/DIQUA. Este discorre extensivamente sobre alguns retardantes químicos já utilizados em outros países e sobre o fato de ser possível considerá-los candidatos ao combate florestal no Brasil. Diversos critérios são levados em conta, com alguns sendo eliminados e outros permitidos, ainda que sob condições e recomendações, como, por exemplo, não serem usados em Áreas de Preservação Permanente (APP) e em nascentes de corpos d'água. Torna-se, então, a partir deste ponto da pesquisa, a viabilizar normativamente o uso do bicarbonato, através de estudos para atender às condições de permissão do IBAMA.

Aqui vale citar que não há comparação válida a ser feita com outros retardantes no parecer técnico. O bicarbonato de sódio é um sal simples e as suas características não se assemelham a outros retardantes químicos para

que possa haver parâmetros e previsão de percurso do estudo. Apesar disso, sua atoxicidade é comprovada, e os impactos da sua parte catiônica, o íon de sódio, serão mais quantitativos do que qualitativos, pois este não é uma substância estranha ao solo. Pelo contrário, é parte essencial do equilíbrio mineral, cabendo então avaliar o aumento de sua concentração do ambiente e os impactos, se existentes, nos prazos parametrizados pelo IBAMA.

O Parecer Técnico nº 60/2021-COASP/CGASQ/DIQUA oferece critérios de seleção para retardantes:

- Se possuir corante, este deve ser autorizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA);
- Não possuir na composição nenhum Poluente Orgânico Persistente (POP);
- Não conter ferrocianeto de sódio (YPS), polifosfatos de amônio, metais pesados (Cd, As, Cr, Pb, Hg), compostos orgânicos halogenados (Bifenilas Policloradas-PCB e Éteres Difenílicos Polibromados-PBDE), borato ou outros compostos contendo boro, dicromatos e tiouréia;
- Não ser da Classe I para os parâmetros de Persistência, Transporte, Bioacumulação e Ecotoxicidade.

Dentre estes, o bicarbonato já está apto nos primeiros três critérios. Não possui corantes, não é um POP e nem decompõe para um e não possui nenhum dos elementos/substâncias listadas no terceiro critério. Cabe avaliar o quarto critério com os parâmetros do IBAMA, para ser considerado um retardante de chamas utilizável em combates florestais.

Cerra-se, então, a etapa de discussão já tendo um norte para uma pesquisa futura sobre o fruto deste trabalho. Após vencida a etapa de registro e de permissão do IBAMA, outras etapas seguirão, como a avaliação de custo-benefício, elaboração de processos de aquisição e testes reais do produto em quantidades pequenas, a fim de se verificar como seria o possível uso na rotina do combate florestal.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho científico de pesquisa foi avaliar uma possibilidade nova, que atenda à realidade do CBMDF e mantenha seus ideais, auxiliando a atividade dos nossos combatentes sem ferir o meio ambiente. Há uma delicadeza grande ao realizar ciência aplicada, pois segue parâmetros estritos e há de se levar em conta todas as diretrizes da metodologia científica, seguindo sua rigidez, mas, ao mesmo tempo, tentando inovar e abrir caminho para novos horizontes.

Os resultados atenderam muito bem o objetivo. Apesar do percalço da exclusão do carbonato de cálcio durante a etapa laboratorial, o estudo do bicarbonato de sódio no Projeto Osiris rendeu resultados surpreendentes e promissores. O aumento de efetividade ficou nítido em todas as réplicas e métodos, demonstrado por gráficos e imagens. Empiricamente, o autor deste trabalho e os colaboradores presentes durante o dia de ensaios visualizaram claramente a potência da mistura, e ficou claro que há quase que uma obrigação de levar para frente o projeto; tal potencial não pode ser desperdiçado.

Tais resultados e os métodos usados estão delineados no produto final deste trabalho: um relatório de pesquisa. Este pretende, de forma sucinta, evidenciar os aspectos técnico-científicos das etapas práticas do trabalho, a fim de prover a reprodutibilidade do que foi feito, característica fundamental para qualquer ensaio científico.

O avanço daqui em diante, porém, deve ser feito de forma cautelosa. O uso de retardantes em combate florestal é um assunto delicado, como já levantado e debatido anteriormente e, apesar dos apontamentos iniciais favoráveis ao bicarbonato de sódio, tudo deve ser concluído com precisão e sem espaço para dúvidas. O CBMDF tem uma missão a cumprir, mas também um nome a zelar, e a excelência em todas as etapas deve ser mantida.

O autor deste trabalho priorizará a continuação das etapas junto aos colaboradores do trabalho após o término do atual curso de formação. Agora que os objetivos deste trabalho foram cumpridos e que se mostrou eficiente e potente o uso da mistura sugerida, resta viabilizar legalmente tal uso, para que o CBMDF possa, eventualmente, modernizar-se uma vez mais.

## REFERÊNCIAS

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual básico de combate a incêndio**: comportamento do fogo. 2. ed. Brasília, 2012a.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Missão, visão e valores do Corpo de Bombeiros**. Brasília, 2012b. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/institucional/2012-11-13-16-50-03>. Acesso em: 21 fev. 2020.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual para normatização de trabalhos acadêmicos**. Ed. rev. Brasília: CBMDF, 2019.

DIAS, Diogo Lopes. "O que é ebulioscopia?"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-ebulioscopia.htm>. Acesso em 15 de julho de 2023.

FIEDLER, Nilton César. RODRIGUES, Thiago Oliveira. MEDEIROS, Marcelo Brilhante de. Avaliação das condições de trabalho, treinamento, saúde e segurança de brigadistas de combate a incêndios florestais em unidades de conservação do Distrito Federal: estudo de caso. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, nº 1, p. 55-63, Fev. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/GvRvjw5TLM4DCDyRB9djD5s/?lang=pt>. Acesso em 25 de junho de 2021.

FINNERTY, Anthony E. KIEFT, Lawrence J. Vande. **Fire-extinguishing powders**. Pesquisa de laboratório militar. US. Army Research Laboratory Aberdeen Proving Ground, Faith Farm Street, 1997.

FLORES, Bráulio Cançado; ORNELAS, Éliton Ataíde; DIAS, Leônidas Eduardo. **Fundamentos de Combate a Incêndio** – Manual de Bombeiros. Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Goiânia-GO, 1ªed: 2016, p. 30.

GUERRA, António Matos. COELHO, José Augusto. LEITÃO, Ruben Elvas. **Fenomenologia da combustão e extintores**. 2.ª edição, revista e actualizada. Sintra: Escola Nacional de Bombeiros, 2006.

MAIA, Alessandra de Souza; OSORIO, Viktoria Klara Lakatos. **Decomposição térmica do bicarbonato de sódio–do processo solvay ao diagrama tipo ellingham**. Quim. Nova, v. 26, n. 4, p. 595-601, 2003

MARIANO, S. R.; FIEDLER, N. C.; CANZIAN, W. P.; SILVA, E. C. G.; GONÇALVES, S. B.; RAMALHO, A. H. C.. **Eficiência da água no combate aos incêndios florestais**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.2, p.77-85, 2021.

MORTIMER, Eduardo Fleury. MACHADO, Andréa Horta. **Manual do professor Química**; Química - Ensino Médio. 3ª edição. São Paulo: Editora Scipione, 2016.

ONLINE, Arinos Química LTDA. **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico**. Parque Industrial Água Vermelha – Osasco. 2006.

Disponível em:

<http://webapp.expressonepomuceno.com.br/qualidade/FISPQs/FISPQs%20por%20clientes/Arinos/bicarbonato%20de%20sodio.pdf>. Acesso em: 25 de junho de 2022.

ONLINE, Canal Agrícola. Bomba Costal Anti-incêndio Guarany S-4 - 20 Litros Jato 12 metros (0431.30.00). Goiania, 2022. Disponível em:

<https://www.canalagricola.com.br/bomba-costal-anti-incendio-fogo-extintor-guarany-s-4>. Acesso em: 25 de junho de 2022.

ONLINE, **Ficha de Segurança**, 2021. Disponível em:

<https://www.quimicabrasileira.com.br/wp-content/uploads/2021/09/FISPQ-BICARBONATO-DE-SODIO-PA-ACS.pdf>. Acesso em: 12 de outubro de 2023.

PASTOR FERRER, E. **Contribució a l'estudi dels efectes dels retardants en l'exnció d'incendis forestals**. 2004. 304 p. Tese (Doutorado) - Centre de Estudis del Risc tecnològic, Departament d'Enginyeria Química, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona, 2004.

RIBEIRO, G.A. et. al. **Eficiência de um retardante de longa duração na redução da propagação do fogo**. Revista Árvore, v. 30, p. 1025-1031, 2006.

SANT'ANNA, C. M.; FIEDLER, N. C.; MINETTE, L. J. **Controle de incêndios florestais**. Alegre, ES, Editora Suprema, 2007.

SOUZA, Adely Henrique de. **Combate a incêndio florestal:** Utilização de mochilas bombas costais contendo solução aquosa de bicarbonato de sódio e carbonato de cálcio como agente extintor combinado. 2014. Artigo Científico (Pós-graduação em Gerenciamento de Segurança Pública) - Universidade Estadual de Goiás. Goiânia, GO, 2014.

## APÊNDICE A - ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO

1. **Aluno:** Cadete BM/2 Murilo Vieira **Balduino** Andrade
2. **Nome:** Relatório de pesquisa sobre o uso de retardantes em bombas costais; estudo e avaliação da aplicação de mistura água-carbonatos no combate à incêndio florestal.
3. **Descrição:** Relatório de pesquisa que delinea as etapas e metodologias usadas para realizar as partes experimentais do trabalho.
4. **Finalidade:** Descrever os métodos e materiais usados para fins de reprodutibilidade e realizar exposição de resultados da pesquisa.
5. **A quem se destina:** Quaisquer corporações ou entidades que queiram avaliar detalhadamente a pesquisa feita, realizar experimentos similares, ou acessar diretamente os resultados.
6. **Funcionalidades:** Apresentação para os órgãos normativos para averiguação da viabilidade do retardante pretendido. Exposição em revista científica.
7. **Especificações técnicas:** Arquivo em PDF e impresso similarmente ao Trabalho de Conclusão que serve de base, em folha A4, frente e verso, colorido, com 24 páginas. Modelo usado baseado na ABNT NBR 10719.
8. **Instruções de uso:** Material para leitura e possível roteiro de pesquisa. Pode ser referência quanto aos resultados e discussões.
9. **Condições de conservação, manutenção, armazenamento:** Material pode ser arquivado em qualquer local onde se arquivaria um livro ou outros materiais de leitura.