



UnB

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS

Ciências Ambientais

ALENCAR KOS DUARTE BRAGA

AVALIAÇÃO DE RETARDANTES DE CHAMAS EM ESCALA LABORATORIAL:

Sistemas embarcados e triagem de retardantes para queimas em campo

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção de grau de bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henke de Oliveira

Brasília-DF
Dezembro de 2022

**AVALIAÇÃO DE RETARDANTES DE CHAMAS EM ESCALA LABORATORIAL:
Sistemas embarcados e triagem de retardantes para queimas em campo**

Alencar Kos Duarte Braga
Prof. Orientador: Dr. Carlos Henke de Oliveira

Brasília-DF, 02 de dezembro de 2022

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Carlos Henke de Oliveira (Orientador)
Instituto de Ciências Biológicas - UnB

Prof. Dra. Cristiane Gomes Barreto
Centro de Desenvolvimento Sustentável - UnB

RESUMO

O presente trabalho buscou contribuir para a análise dos impactos causados pelo uso de retardantes de chamas no combate a incêndios florestais (IF) no bioma Cerrado. Os retardantes de chamas são utilizados em países da Europa e da América do Norte em lançamentos aéreos para combater incêndios de grande magnitude ou em locais de difícil acesso. No Brasil o uso deste tipo de substância no combate a IF é recente e não existe legislação específica. Assim, como os IF podem causar diversos impactos socioeconômicos e ambientais, o mau uso dos retardantes de chamas também apresenta um risco para o meio ambiente e para a saúde humana. Neste cenário o projeto PROMETEU desenvolve desde 2015 uma Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) do combate a IF, com ênfase no uso de retardantes de chamas sob diferentes condições de combate. Este trabalho de conclusão de curso representa uma pequena parte dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do projeto PROMETEU e focou nos impactos operacionais e na eficácia de retardo dos produtos sob condições de combate direto com bomba costal, diferente do uso convencional com aeronaves. Sobre a eficácia, os dados foram obtidos em escala laboratorial, utilizando uma câmara de combustão, a sonda Osiris, por meio da qual a cinética de perda de massa (CPM) e a temperatura entre duas bandejas (com retardante e controle) foram analisadas em queimas simultâneas. Os impactos operacionais foram observados nas queimas em escala laboratorial e principalmente em campo, onde brigadistas do Prevfogo/Ibama participaram dos experimentos. A Osiris desempenhou um papel importante na análise da eficácia dos retardantes antes dos mesmos serem testados em campo. Com a sonda Osiris foi possível selecionar os produtos com melhor potencial retardante, ajustando suas concentrações e taxas de aplicação (l/m^2), evitando que tempo e recursos fossem gastos em campo desnecessariamente. Dentre os sete produtos testados na Osiris, três foram selecionados para ir a campo. As parcelas das queimas em campo serão monitoradas ao longo do tempo por outros pesquisadores do projeto PROMETEU. Pesquisas direcionadas a cada bioma devem ser realizadas, pois mesmo que outros países utilizem essa tecnologia, a realidade no Brasil é diferente. O uso de retardantes de chamas deve ser feito com cautela. Mais importante do que adotar uma nova tecnologia de combate é prevenir os incêndios, manejar adequadamente o fogo e fortalecer as instituições públicas responsáveis.

Palavras-chave: Retardantes de chamas, Projeto Prometeu, Eficácia de Retardantes, Câmara de Combustão.

ABSTRACT

The present work sought to contribute to the analysis of the impacts caused by the use of flame retardants in fighting wildfires in the Cerrado biome. Flame retardants are used in European and North American countries in airdrops to fight large fires or in places that are difficult to access. In Brazil, the use of this type of substance in wildfire combat is recent and there is no specific legislation. Thus, as wildfires can cause various socioeconomic and environmental impacts, the misuse of flame retardants also poses a risk to the environment and human health. In this scenario, the PROMETEU Project has been developing, since 2015, an Environmental Impact Assessment (EIA) with emphasis on the use of flame retardants under different combat conditions. This work represents a small part of PROMETEU Project activities and focused on the delaying effectiveness and operational impacts of the products under conditions of direct combat with coastal pumps, different from conventional use with aircrafts. Regarding the effectiveness, data were obtained on a laboratory scale, using a combustion chamber, the Osiris probe, through which the mass loss kinetics and the temperature between two trays (with retardant and control) were analyzed in simultaneous burns. The operational impacts were also observed in the burnings on a laboratory scale but mainly in the field, where firefighters from Prevfogo/Ibama participated in the experiments. Osiris played an important role in analyzing the effectiveness of the retardants before they were tested in the field. With the Osiris probe, it was possible to select the products with the best retarding potential, adjust their concentrations and application rates (l/m^2), prevent time and resources from being spent unnecessarily in the field. Among the seven products tested at Osiris, three were selected to go into the field. The plots of field burns will be monitored over time by other PROMETEU Project researchers. Researches directed at each biome must be carried out, because even if other countries use this technology, the reality in Brazil is different. The use of flame retardants must be done with caution. More important than adopting a new firefighting technology is preventing fires, properly managing fires, and strengthening the responsible public institutions.

Keywords: Wildfires, Fire retardants, embedded systems.

Ficha catalográfica

1.	INTRODUÇÃO	8
1.1	Justificativa.....	9
1.2	Contextualização	11
1.2.1	Retardantes de chamadas	11
1.2.2	Retardantes de chamadas no Brasil, um breve histórico	13
1.3	Projeto Prometeu	14
1.3.1	Experimento 1	16
1.3.2	Experimento 2	16
1.3.3	Objetivo geral.....	17
1.3.4	Objetivos específicos	17
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
2.1	Os retardantes empregados.....	18
2.2	Sonda Osíris	18
2.3	Queimas em escala laboratorial.....	21
2.4	Os impactos operacionais.....	23
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
5.	REFERÊNCIAS.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elementos do Triângulo do Fogo. Fonte: ICMBio, 2010.	11
Figura 2: Queima do Experimento 2 na Área Alfa da Marinha (DF), brigadistas posicionados aguardando o avanço da linha de fogo em direção aos aceiros úmidos, com retardante e controle.	17
Figura 3: a) Sonda Osiris em funcionamento na UnB; b) Interior e display do dispositivo eletrônico da Osiris.	19
Figura 4: a) Primeira queima na Osiris durante a fase de adequação do experimento. As bandejas afetaram as medições das células de carga; b) queima na versão mais recente da Osiris com bandejas novas.	20
Figura 5: a) Coleta de capim roçado na Área Alfa da Marinha, local das queimas de campo; b) Procedimento de aplicação com borrifador manual.	22
Figura 6: Orientações metodológicas para o intercâmbio de dados entre laboratório e campo (Experimento 2). O diagrama mostra o fluxo de informações entre campo e laboratório, e vice-versa, pelo qual parâmetros obtidos em campo foram empregados para padronização das queimas na Osiris. Também, os parâmetros adotados na sonda foram conduzidos a campo, onde foi possível identificar eventuais impactos operacionais, tais como entupimento de vias, colapso de mangueiras, que motivou adequações diversas, inclusive a redução das concentrações de retardantes, sob pena de não atingimento dos objetivos de campo.	24
Figura 7: a) Abastecimento da bomba costal com retardante Papa Wiskie utilizando a peneira da própria bomba; b) mangueira danificada (colapsada por pressão negativa) pelo bombeamento do retardante Papa Wiskie sob concentração de 49,2%.	25
Figura 8: Cinética de perda de massa para o produto Papa Wiskie sob concentração de 13,5% com o tratamento seco (a) e (b), e com o tratamento úmido (c) e (d). Densidade de biomassa de 650g/m ² e taxa de aplicação de 0,25l/m ² . As curvas tratamento (retardante) e controle estão similares. Com o tratamento úmido o retardante teve melhor desempenho, porém ainda insuficiente. Tempo de queima: (a) 5 minutos, (b) 4 minutos, (c) 15 minutos, (d) 12 minutos.	26
Figura 9: Cinética de perda de massa Papa Wiskie sob concentrações de (a) 49,2% e (b) 24,6%. Sob estas concentrações o produto demonstrou eficácia no retardo em comparação ao controle tanto na queima (a) quanto na (b). O fogo foi extinto antes que toda a bandeja fosse consumida. Apesar da proporção ser reduzida pela metade, a eficácia do produto não sofreu o mesmo efeito. Tempo de queima: (a) 13 minutos, (b) 21 minutos.	27

Figura 10: Cinética de perda de massa Lima Papa (a) e Lima Bravo (b) a 60%. Os dois produtos tiveram efeito retardante em relação ao controle. Lima Bravo (b) teve desempenho um pouco melhor. Tempo de queima: (a) 18 minutos, (b) 14 minutos..... 27

Figura 11: Cinética de perda de massa do Foxtrot Romeu I a 49,2% (a) e Foxtrot Papa a 78,4% (b). Em (a) o efeito retardante ficou evidente. Em (b) mesmo sob a maior concentração de toda a amostra o efeito retardante foi pouco expressivo. Nenhum dos dois foi testado em campo. Tempo de queima: (a) 13 minutos, (b) 12 minutos. 28

Figura 12: Cinética de perda de massa Wiskie a 1,6% (a) e Bravo a 2% (b). Em (a) o produto teve o pior desempenho de todas as queimas em relação a água, queimando mais rápido. Em (b) o retardante conseguiu mostrar alguma eficácia em relação a água, porém na própria bandeja controle o fogo foi extinto antes de consumir todo o combustível. Tempo de queima: (a) 14 minutos, (b) 10 minutos. 28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação, recomendações de uso e número de queimas dos retardantes avaliados na Osíris..... 18

Tabela 2 – Parâmetros e valores de queimas na Osíris ajustados conforme diagnóstico em campo. 21

Tabela 3 – Ficha resumo das queimas na Osíris 29

1. INTRODUÇÃO

Retardantes de chamas são produtos que operam quimicamente, fisicamente, ou de forma combinada, ajudando no processo de combate ao fogo num incêndio. Sua função não é a de extinção ou a supressão do fogo, mas uma redução na velocidade da combustão e das temperaturas do meio, de forma a possibilitar intervenções diretas, com aproximação maior e mais segura dos equipamentos e pessoas, esses sim com finalidade de extinção total. Retardantes também dão mais tempo à equipe de combate, que contribui para uma atuação mais efetiva. O uso de retardantes de chamas é, por vezes, referido como “combate químico”, podendo ser orientado a incêndios estruturais (urbanos, prediais, em instalações etc.), vestimentas e EPIs (equipamentos de proteção individual), ou incêndios florestais (IF). Este último é o tema do presente trabalho.

Este trabalho foi realizado como parte de uma pesquisa mais ampla, o projeto Prometeu (item 1.3). Com sua natureza interdisciplinar e extensionista, o projeto Prometeu desenvolve uma Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) do combate a incêndios florestais (IF). Atualmente, a ênfase do projeto avalia os impactos do combate com retardantes de chamas, em relação ao combate convencional. As queimas de campo são conduzidas em uma área de Cerrado, dentro da Área Alfa da Marinha do Brasil, localizada a 30km do centro de Brasília (DF).

Os parâmetros avaliados incluem “as dimensões biofísica (atmosfera, recursos hídricos, flora, fauna), socioeconômica (condições laborais e bem-estar do combatente de IF) e institucional (normativas, finanças e planejamento estratégico, tático e operacional).” (HENKE-OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Conforme disposto na legislação brasileira, o termo incêndio florestal refere-se ao fogo não controlado em floresta ou qualquer outra forma de vegetação (BRASIL, 1998). Os incêndios florestais de origem antrópica representam um grande desafio para a humanidade. Seus danos incluem destruição de florestas, perda de biodiversidade, perda da fertilidade dos solos, poluição atmosférica, queda na qualidade e quantidade de recursos hídricos, perda de patrimônio, paralisação de aeroportos, desligamento das linhas de transmissão de energia elétrica e perda de vidas humanas em casos extremos. (LEMOS, *et al.*, 2010).

De acordo com relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), no cenário atual, as projeções para variabilidade do clima indicam aumento no risco e severidade de incêndios (*wildfires*) em diversos biomas. Sendo o aumento de temperatura e diminuição de precipitação os principais fatores (JIA *et al.*, 2019). Ainda segundo o IPCC, sob as condições

projetadas para 2050, prevê-se aumento de 27% na frequência de incêndios, globalmente, em relação ao ano 2000. No Brasil, as regiões Norte, Nordeste e parte do Centro-Oeste seriam as mais suscetíveis ao aumento do risco de incêndios (HUGGEL *et al.*, 2021).

Com este cenário adiante é cada vez mais necessária a atuação de instituições como as corporações de bombeiros, o Instituto Chico Mendes da Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (Ibama), por meio do PREVFOGO (Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais).

Coordenado pelo Ibama, o PREVFOGO tem por finalidade:

“[...] o desenvolvimento de programas, integrados pelos diversos níveis de governo, destinados a ordenar, monitorar, prevenir e combater incêndios florestais, cabendo-lhe, ainda, desenvolver e difundir técnicas de manejo controlado do fogo, capacitar recursos humanos para difusão das respectivas técnicas e para conscientizar a população sobre os riscos do emprego inadequado do fogo.” (BRASIL, 1998).

Dentro da variedade de atribuições do PREVFOGO, as ações relacionadas à prevenção e educação ambiental são prioritárias para redução dos incêndios, porém o objeto desta pesquisa centra-se na questão do combate aos incêndios, ou seja, no último recurso a ser empregado pelas instituições e suas respectivas brigadas no manejo do fogo. Considerando o escopo do PREVFOGO, fica evidente que sua participação nas atividades do projeto Prometeu é fundamental, principalmente nas atividades de campo.

O destaque de uma instituição não diminui a importância das demais envolvidas, porém enquanto parte do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), o IBAMA, ICMBio e PREVFOGO têm a responsabilidade de compreender os impactos ambientais com mais rigor do que as corporações de bombeiros ao empregar novas tecnologias de combate, por exemplo.

No Brasil, o uso de retardantes de chamas em combates a IF é recente, com poucos casos registrados e menos ainda monitorados. Não existe legislação específica para estes produtos. O registro e uso dessa classe de substância não é regulamentado, o mais próximo disso são recomendações de precauções, publicadas pelo IBAMA¹, que incluem a utilização de retardantes apenas em último caso, quando outros meios de combate forem ineficientes (IBAMA, 2018).

Pois assim como os IF causam diversos impactos ambientais, os retardantes de chamas são produtos potencialmente danosos e seu mau uso representa diversos riscos para a biodiversidade e o meio ambiente como um todo.

1.1 Justificativa

¹ Parecer Técnico nº 514/2018 e Nota Técnica nº 24/2020.

Dentre as etapas do projeto Prometeu, o Experimento 2 (detalhado no item 1.3.2) necessita de uma avaliação prévia da eficácia dos retardantes de chamas em escala laboratorial, visando decidir quais produtos devem ir posteriormente a campo, bem como estabelecer detalhes de como deverá ser o seu emprego. Portanto os ensaios laboratoriais são imprescindíveis. Para isto, são realizadas queimas em uma câmara de combustão equipada com sistemas embarcados², a sonda Osiris (item 2.2).

Assim busca-se comparar o comportamento da queima simultânea entre duas bandejas preparadas com capim seco. Uma das bandejas serve como controle (sem retardante) e a outra como o fator a ser testado (com retardante, sob uma dada concentração e taxa de aplicação). Os parâmetros para avaliar as queimas são a cinética de perda de massa (CPM) e a temperatura, obtidas por meio de células de carga e sensor infravermelho, respectivamente.

A ideia embutida no emprego da Osiris é que os resultados auxiliariam na triagem de quais produtos haveriam de ir às queimas de campo. Nessa lógica, o uso dos retardantes na Osiris simula as condições do combate da etapa de campo do Experimento 2, usando bombas costais.

Os produtos sem potencial retardante avaliados na Osiris não precisariam de queimas em campo, que são mais complexas, burocráticas, dispendiosas e com algum grau de risco ou impacto ambiental, visto que é durante o período da seca que o projeto realiza seus experimentos de campo. É justamente quando os casos de incêndios se multiplicam pelo país. Portanto, a janela climática é mais um fator que torna precioso o tempo dos brigadistas e da equipe de campo destinados ao Experimento 2.

As observações em cada escala (ex. campo e laboratório) permitem explorar novas abordagens para as queimas seguintes. Assim, os aprendizados de um dia de queima de campo influenciam as queimas seguintes na escala laboratorial, e vice-versa. Por exemplo: a densidade de biomassa empregada nas bandejas atualmente foi determinada a partir de dados levantados em campo, durante estudos conduzidos entre 2018 e 2021. Os dados obtidos pelas sondas OBÁ (um dos sistemas embarcados presentes no Experimento 2), também forneceram dados para a Osiris sobre a taxa de aplicação (litros/m²) de fluídos durante os combates reais, por combatentes especializados. Estes dados mostraram que o volume de retardante (ou água) que reflete a realidade do combate aos incêndios com bombas costais é muito aquém do proposto pelos fabricantes de retardantes. Isto, por sua vez, implicou na diminuição das taxas de aplicação (litros/m²) e no aumento das concentrações das soluções, as quais foram testadas na Osiris para avaliar a eficácia dos retardantes.

Assim busca-se explorar os impactos do combate a IF utilizando retardantes de chamas, com foco na eficácia dos produtos (impactos positivos) e nos impactos operacionais (impactos negativos),

² Sistemas embarcados são dispositivos eletrônicos com elevado grau de automatização e que combinam *hardware* e *software* para a execução de tarefas específicas (ALMEIDA *et al.*, 2019).

presentes na escala laboratorial. É importante destacar que estes impactos são imediatos, ocorrem durante ou imediatamente antes ou após o combate. Outros impactos ambientais sobre solos, fauna, flora estão noutra escala temporal (dias a anos) e são monitorados ao longo dos anos por outros pesquisadores do projeto. Neste contexto, os questionamentos do projeto Prometeu são multiescalares na dimensão temporal e espacial. O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) contribui na amarra entre algumas destas escalas, e se fundamenta na busca de caminhos para elucidar os impactos positivos e negativos do combate químico aos incêndios florestais.

1.2 Contextualização

1.2.1 Retardantes de chamas

Os retardantes de chamas atuam para atrasar a queima, evitando que o fogo consuma o material combustível rapidamente. Assim, os combatentes ganham mais tempo para agir e conseguem se aproximar mais do fogo, permitindo atuação direta. A própria água pode ser considerada um retardante, bem como a terra, areias e argilas.

A ação dos combatentes baseia-se no princípio do Triângulo do Fogo: eliminando um dos lados do triângulo, modifica-se, controla-se ou extingue-se o fogo (Figura 1).

Os retardantes de chamas podem ser classificados por seu tempo de duração e por sua composição. “Atualmente existem mais de 175 produtos químicos classificados como retardantes de chama, divididos em quatro grandes grupos: a) inorgânicos (hidróxidos de alumínio, antimônio e estanho); b) orgânicos halogenados (clorados e bromados); c) organofosforados e d) à base de nitrogênio.” (PIERONI et al, 2017).



Figura 1: Elementos do Triângulo do Fogo. Fonte: ICMBio, 2010.

Em relação a seu tempo de duração são classificados em duas categorias:

- 1- **Retardantes de curta duração:** atuam exclusivamente aumentando a capacidade de extinção da água, seja por favorecer a retenção de líquidos pelo combustível ou para atrasar a evaporação. Portanto há um limite de tempo para a interação entre o fogo e a área com retardante de curta duração, já que seu efeito depende da presença de água.
- 2- **Retardantes de longa duração:** também são diluídos em água para aplicação, porém parte do efeito retardante permanece após a evaporação da água, restando sobre a vegetação uma película que diminui sua inflamabilidade, alterando a velocidade de pirólise do combustível. O que não exclui a possibilidade de utilizá-los sem aguardar a evaporação da água, como os de curta duração.

O lançamento aéreo de retardantes é muito utilizado em alguns países da Europa e da América do Norte para combater incêndios de grande magnitude ou em locais de difícil acesso, o que não exclui a necessidade do combate terrestre para a extinção completa do fogo (BATISTA, 2008). Entretanto, as condições socioeconômicas e ambientais no Brasil são diferentes dos países que fazem amplo uso de retardantes. Exatamente por isso é fundamental que sejam conduzidos estudos sob a ótica da realidade brasileira, visando as particularidades de cada bioma.

Nos Estados Unidos, já na década de 1990, foi estimado que cerca de 120 milhões de litros de retardantes são utilizados todos os anos no combate aéreo a incêndios (BLAKELY, 1990 *apud* BATISTA, 2008) Este fato pode servir de argumento para o uso destes produtos em nosso país, porém é importante observar que nos EUA as pesquisas na área iniciaram na década de 1930.

Nos EUA, os principais parâmetros estudados na área de retardantes de longa duração são: qualidade, eficácia, sistemas de aplicação e impactos ambientais. Porém, foi apenas na década de 90 que os estudos sobre impactos ambientais ganharam força. Houve um momento em que acreditava-se, ou pelo menos divulgava-se, não haver efeitos adversos sob o meio ambiente pois os componentes principais dos retardantes são fertilizantes agrícolas (GIMÉNEZ *et al.*, 2004).

Em relação a toxicidade, os estudos dividem-se em efeitos na qualidade da água e organismos aquáticos, efeitos na vegetação e efeitos de toxicidade em humanos. Dentre as diferentes substâncias presentes nos retardantes de chamas, várias são componentes tóxicos, como amônia e inibidores de corrosão. A amônia é proveniente da dissociação de sais de amônia, presentes na maioria dos retardantes de longa duração. (GIMÉNEZ *et al.*, 2004 p.8).

Ainda que estudos direcionados para a realidade de outros países não sejam o melhor subsídio para uma tomada de decisão, eles servem como modelo e inspiração para que as instituições nacionais conduzam suas próprias pesquisas.

1.2.2 Retardantes de chamas no Brasil, um breve histórico

Os primeiros retardantes utilizados no Brasil foram os líquidos geradores de espuma (LGE), que são de curta duração. São principalmente as corporações de bombeiros que empregam essa tecnologia, utilizando os LGE para incêndios em estruturas e áreas urbanas. Sua aplicação é mais efetiva utilizando equipamentos pressurizados e bicos com entrada de ar, para aeração da mistura. Um diferencial da espuma é o efeito de fisicamente isolar as chamas e o combustível do oxigênio, abafando o incêndio. Em relação aos retardantes de longa duração, o uso destes para combates de IF em território nacional é recente.

No ano de 2008, dois episódios de uso de retardantes foram noticiados, uma operação na Estação Ecológica do Taim (RS) e outra no Parque Nacional da Chapada Diamantina (BA). Nas duas ocasiões foram realizados lançamentos aéreos de retardantes de longa duração, fosforado e nitrogenado, respectivamente. As operações contaram com apoio da Força Aérea Brasileira (FAB). Foram as duas primeiras missões oficiais de combate a IF com a aeronave modelo C-130 Hércules (MORAIS *et al.*, 2008).

Em 2015, em um incêndio na Terra Indígena de Araribóia (MA), foi realizado lançamento aéreo de retardantes no combate, 20 mil litros do produto foram doados ao Brasil pelo governo do Chile. (ASCOM/IBAMA, 2015).

Dada a inexistência de legislação e normas específicas para os retardantes no Brasil, o IBAMA publicou o Parecer Técnico nº 514/2018, que trata sobre os retardantes de chamas aplicados a incêndios florestais. A publicação traz informações que as empresas fabricantes disponibilizaram ao IBAMA, servindo como avaliação ambiental preliminar dos produtos. No total cinco produtos foram abordados, porém apenas dois foram descritos mais detalhadamente, visto que para os demais produtos as informações concedidas foram insuficientes.

O documento cita as lacunas mais importantes: declaração de composição incompleta, ausência de certificado de análise química e ausência de relatórios de ensaios eco toxicológicos. Os autores explicam que não foram considerados ensaios de verificação da eficácia do produto no combate a IF: “atentamos apenas para os dados sobre a segurança da formulação em relação a aspectos eco toxicológicos e ambientais.” (IBAMA, 2018).

Em 2020, os retardantes de chamas protagonizaram polêmicas envolvendo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), que planejava a compra emergencial de 20 mil litros de retardante nitrogenado para o qual o próprio IBAMA em 2018, por meio de parecer técnico, recomendou uso restrito, visto que “os dados sobre a ecotoxicidade ainda são incipientes”. (IBAMA, 2018).

Ainda em 2020, uma nota técnica foi publicada pelo IBAMA, tratando especificamente sobre um retardante nitrogenado. Este mesmo produto foi utilizado para combate na Chapada dos Veadeiros (GO). A ocasião rendeu protestos e ação judicial dos moradores locais, em resposta ao lançamento aéreo na Área de Proteção Ambiental (APA) do Pouso Alto e dentro do perímetro do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV).

Em nota de esclarecimento o IBAMA justificou o uso da tecnologia pois o produto foi classificado como pouco tóxico e pouco persistente:

“Frente às perdas potenciais da biodiversidade que o fogo oferece em ecossistemas complexos e sensíveis, prescindir do uso de produtos retardantes de chama que são pouco tóxicos e pouco persistentes no ambiente seria ignorar a preponderância dos ganhos versus os riscos avaliados, restando claro que os ganhos, no caso concreto, superam em muito os riscos.” (IBAMA, 2020).

A questão é se as informações do parecer, que não avaliou a eficácia em combate, são suficientes para demonstrar que os ganhos superam em muito os riscos. Talvez a melhor resposta para esse problema seja a realização de mais pesquisas, justamente o que o projeto Prometeu vem realizando nos últimos anos.

Instituições como o IBAMA devem encarar com seriedade a incorporação de novas substâncias no combate a IF. O Projeto de Lei nº 6.299/02, conhecido como “PL do Veneno”, representa bem como pressões econômicas prejudicam a legislação ambiental. Na ementa do PL 6.299/02, o termo “produtos de controle ambiental” é utilizado para referir-se ao que a Lei Federal nº 7.802/89 chama de agrotóxicos. Outra alteração retira da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e do IBAMA o poder de concessão e registro de produtos agrotóxicos, colocando o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA como responsável por conceder o registro. (FOLGADO; DE SOUSA, [s. d.]).

1.3 Projeto Prometeu

Conforme dito anteriormente, o presente TCC constitui uma pequena parte de um projeto mais amplo, intitulado projeto Prometeu. Assim, a plena compreensão deste documento demanda do entendimento do escopo geral do projeto, bem como dos seus dois experimentos principais (Experimento 1 e Experimento 2).

Iniciado em 2015, o projeto é possível devido a parceria entre Universidade de Brasília (UnB), Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO) e Instituto Chico Mendes da Conservação da Biodiversidade

(ICMBio). O local para os experimentos em campo situa-se na Área Alfa da Marinha do Brasil em Santa Maria (DF).

O projeto Prometeu tem como objetivo a elaboração de uma Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) do combate a incêndios florestais. Na ênfase atual o projeto avalia os impactos do combate com retardantes em relação ao combate convencional. O projeto busca não divulgar o nome comercial dos produtos, mas tão somente a tecnologia associada (fosforado, nitrogenado etc.), de forma a evitar conflitos de interesses entre o público e o privado.

Uma das principais características do projeto é a utilização de sistemas embarcados (*embedded systems*), que são dispositivos eletrônicos com elevado grau de automatização e que combinam *hardware* e *software* para a execução de tarefas específicas (ALMEIDA *et al.*, 2019). O projeto contava com três famílias de embarcados: SAPHIRA 3, Prometeu, OBÁ, e mais recentemente OYÁ e Osíris foram desenvolvidas, cada uma para atender demandas específicas.

Por dois anos, durante a pandemia de COVID-19, não aconteceram queimas devido a interrupção das atividades presenciais na UnB. Neste meio tempo, o projeto produziu um documentário chamado “Fogo na Mata: o guerreiro e suas armas”, que traz reflexões sobre o combate a incêndios florestais no Brasil com relatos de especialistas, incluindo brigadistas, analistas, pilotos e pesquisadores.

Em 2022, com o retorno das atividades presenciais na UnB, os experimentos tanto em escala laboratorial quanto em campo voltaram a acontecer. As queimas foram conduzidas durante o período da seca, correspondendo aos meses dos incêndios mais severos no país, quando as condições de temperatura e umidade são extremas.

A preparação das parcelas para queimas em campo é um ponto fundamental na avaliação dos impactos ambientais dos retardantes de chamas. Amostras de solo, da flora e da fauna foram recolhidas antes e após as queimas para monitoramento das parcelas. Sobrevoos de drone são feitos periodicamente com a sonda Prometeu para mapeamento da área, análise da vegetação e demais modificações na paisagem.

A principal diferença entre os Experimentos 1 e 2, reside no **método de combate**. O Experimento 1 foca no combate indireto a incêndios florestais utilizando retardantes de chamas em **aceiros secos**, simulando lançamentos aéreos. Enquanto no Experimento 2, os retardantes são utilizados para o combate direto com **aceiros úmidos**, usando bombas costais. Nos dois experimentos, são realizadas avaliações prévias da eficácia dos retardantes em escala laboratorial. Posteriormente, os produtos com potencial retardante são testados em escala de campo, simulando situações de combate no bioma Cerrado.

1.3.1 Experimento 1

O Experimento 1 teve suas primeiras queimas em 2019. Os produtos empregados foram anteriormente analisados em queimas em escala laboratorial. Bandejas metálicas foram preenchidas com capim seco, onde aplicou-se água ou retardante, diferenciando a bandeja controle e a bandeja com tratamento. A partir destas queimas, os retardantes foram selecionados para o campo.

Na escala de campo utilizou-se um veículo equipado com motobomba, criando uma faixa de vegetação de 10 metros de largura coberta com retardantes para simular lançamentos aéreos nas parcelas. Tanto em laboratório quanto em campo, aguardou-se a evaporação da água (**aceiro seco**) antes de iniciar a linha de fogo, para evidenciar o efeito retardante de **longa duração**.

1.3.2 Experimento 2

Iniciado em 2022, o Experimento 2 do projeto Prometeu (Figura 2) é uma adaptação do Experimento 1. Desta vez, a proposta inclui a avaliação dos impactos do **combate direto**, que atua diretamente sob a frente de avanço do fogo:

“O método direto aplica-se, geralmente, em incêndios superficiais, de lenta propagação e altura baixa das chamas, condições que permitem o trabalho dos homens na margem do fogo, ainda que o uso de água, às vezes, torne possível a proximidade do combatente quando a intensidade calórica é alta.” (LEMOS *et al.*, 2010. p.56).

No combate direto, os brigadistas utilizam bombas costais conjugadas com abafadores. Este ponto influencia muito na questão da taxa de aplicação, pois apenas com as bombas seria inviável obter uma taxa de aplicação semelhante a um lançamento aéreo.



Figura 2: Queima do Experimento 2 na Área Alfa da Marinha (DF), equipes de brigadistas posicionadas aguardando o avanço da linha de fogo em direção aos aceiros úmidos, com retardante (R) e controle (C). A coloração avermelhada evidencia a vegetação que recebeu o retardante.

O projeto dispõe de duas bombas costais (20 litros) equipadas com uma sonda da família OBÁ, que contém GPS e medidor de fluxo na mangueira. Com elas é possível mapear as cicatrizes químicas geradas pelo combate e analisar as condições laborais dos brigadistas, fundamentais para outros questionamentos do projeto, que não são o foco deste documento.

Nas queimas em campo, as bombas costais foram utilizadas para fazer os aceiros, com dimensões menores do que no experimento anterior. Desta vez, para avaliar o efeito de **curta duração** dos retardantes, não se aguardou a evaporação da água (**aceiro úmido**).

Diferentemente do Experimento 1, em escala laboratorial a sonda Osiris (item 2.2) foi utilizada na avaliação prévia da eficácia dos retardantes, a partir do imageamento termal e da cinética de perda de massa (CPM). Buscando maior precisão nesta etapa.

Destacadas as principais diferenças entre os Experimentos 1 e 2, bem como o escopo geral do projeto, vale ressaltar que as análises expostas neste documento se centralizam nos **impactos operacionais** e na **eficácia dos retardantes** observadas na etapa laboratorial do Experimento 2, visando auxiliar no emprego dos retardantes na etapa de campo.

OBJETIVOS

1.3.3 Objetivo geral

Este trabalho busca avaliar o efeito de sete retardantes químicos de chamas na combustão de matéria vegetal fina em escala laboratorial.

1.3.4 Objetivos específicos

- Auxiliar na seleção dos retardantes de chamas mais promissores para as queimas em campo do Experimento 2 (combate direto com bomba costal), uma das etapas do projeto Prometeu.

- Analisar a adequabilidade de aplicação de retardantes de chamas sob condições mais próximas ao combate real (campo), considerando o combustível, a diluição do produto e o volume de aplicação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Os retardantes empregados

No total sete retardantes foram testados em escala laboratorial. Cada produto tem suas particularidades, seja na duração, tecnologia, viscosidade, coloração etc. (Tabela 1 – Classificação, recomendações de uso e número de queimas dos retardantes avaliados na Osíris. Cinco deles são classificados como de longa duração, visto que é este tipo de retardante o mais utilizado para combate a IF em outros países. Apenas dois são de curta duração, estes não possuem classificação baseada na tecnologia:

Tabela 1 – Classificação, recomendações de uso e número de queimas dos retardantes avaliados na Osíris.

Apelido do retardante (*)	Duração	Componente Principal (tecnologia)	Concentração Recomendada (%)	Aplicação Recomendada (l/m ²)	Nº de Queimas
Papa Wiskie	Longa	Fosforado	15.3	0.8	6
Lima Bravo	Longa	Borado	15.3	1	2
Wiskie (LGE)	Curta	-	0.5	0.8	2
Foxtrot Papa	Longa	Nitrogenado	15.3	1.4	2
Lima Papa	Longa	Fosforado	15.3	1	1
Foxtrot Romeu 1	Longa	Fosforado	15.3	0.8	1
Bravo (LGE)	Curta	-	0.3	0.8	1

(*) O projeto Prometeu busca não divulgar o nome comercial dos produtos, mas tão somente a tecnologia associada (fosforado, nitrogenado etc.), de forma a evitar conflitos de interesses entre o público e o privado.

2.2 Sonda Osíris

A Osíris (Figura 3) é um sistema de queima em escala laboratorial, em desenvolvimento, constituído por duas partes principais: a estrutura para realização das queimas, e o dispositivo eletrônico para obtenção dos dados. No sistema é possível realizar duas queimas por vez, uma em cada bandeja, sendo elas separadas por uma chapa metálica, ao centro.

A estrutura física principal funciona como suporte para o sensor infravermelho termal, as oito células de carga, a estação meteorológica e as bandejas metálicas com o material combustível. É composta por hastes metálicas unidas por soldas e parafusos, o que permite seu transporte e montagem, quatro rodas na base ajudam no deslocamento quando não é necessário desmontar o equipamento.

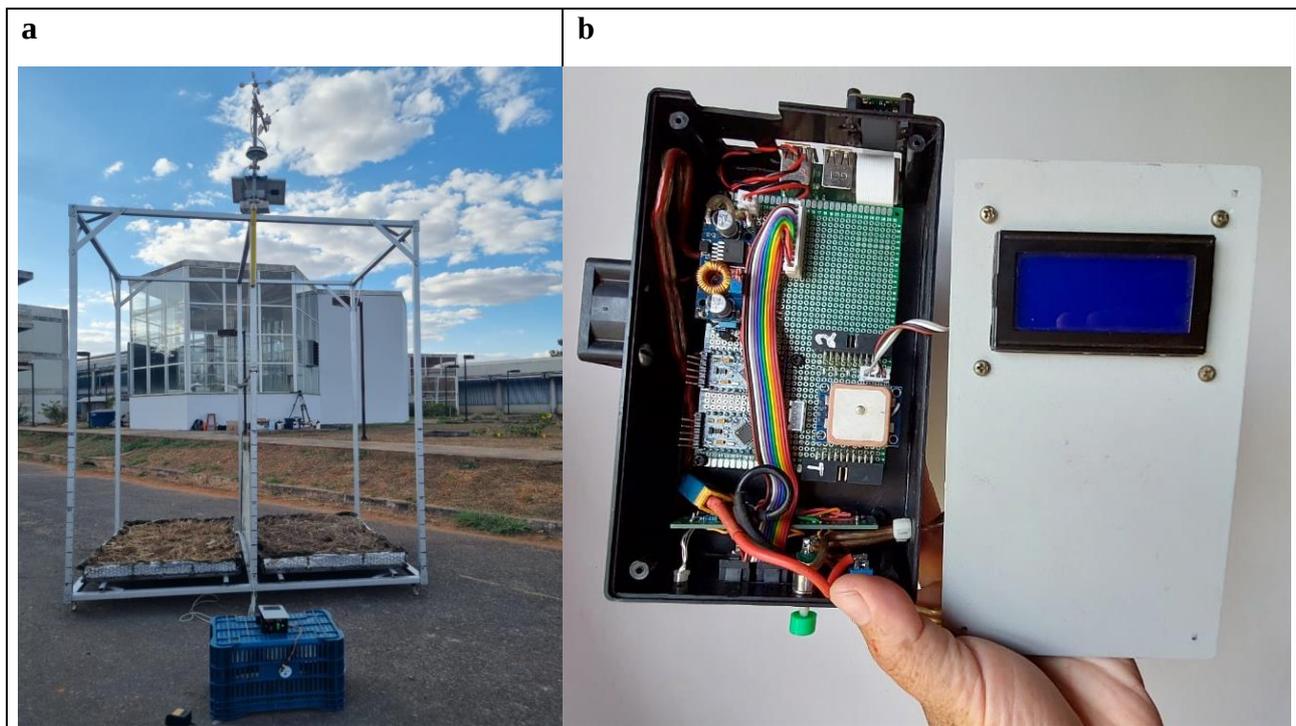


Figura 3: a) Sonda Osiris em funcionamento na UnB; b) Interior e display do dispositivo eletrônico da Osiris.

O dispositivo eletrônico, baseado em um nanocomputador Raspberry Pi contém dois arduínos, ventoinha, receptor de sinal GPS e câmera digital colorida. Todos esses componentes estão contidos dentro de uma caixa plástica na qual estão acoplados os botões, luzes e *display* da Osiris como interface. O dispositivo eletrônico e estrutura física são conectados por cabos, estes isolados termicamente com lã de rocha e fita adesiva aluminizada. O *software* foi desenvolvido em linguagem Python utilizando o Ambiente de Desenvolvimento Integrado Ninja-IDE. O desenvolvimento da Osiris foi realizado pelo coordenador do projeto Prometeu, assim como foram os demais sistemas embarcados do projeto.

A cada log, são gerados também três animações em formato gif, duas provêm da câmera termal e a outra da câmera frontal colorida. As animações são importantes para visualizar o processo de queima novamente, confrontando com os gráficos gerados na planilha.

Para observar a cinética de perda de massa (CPM), são utilizados dados provenientes das oito células de carga, quatro para cada bandeja, posicionadas nas extremidades da estrutura metálica. Já para a temperatura, o sensor infravermelho centralizado acima das bandejas fornece dados de temperatura mínima, máxima e média de cada frame capturado.

Os dados apresentados neste trabalho foram obtidos durante três dias de queima na Osiris, porém antes disso foram feitas queimas em outras ocasiões. Estas queimas iniciais serviram ao propósito de adequação do experimento, os dados obtidos não fizeram parte dos resultados

apresentados. Porém, a partir delas foi possível ajustar as quantidades de combustível, testar variações de diluição e aplicação de retardantes, além de pôr à prova a sonda e o método.

Além disso, ao longo do semestre foram feitos melhoramentos de *hardware* e *software*. Um dos problemas na fase inicial foi o efeito do calor, que fazia as bandejas pularem com a dilatação, afetando os dados obtidos com as células de carga. Como solução foram feitas novas bandejas, maiores e mais firmes, com isolamento térmico do leito com lã de rocha (Figura 4).

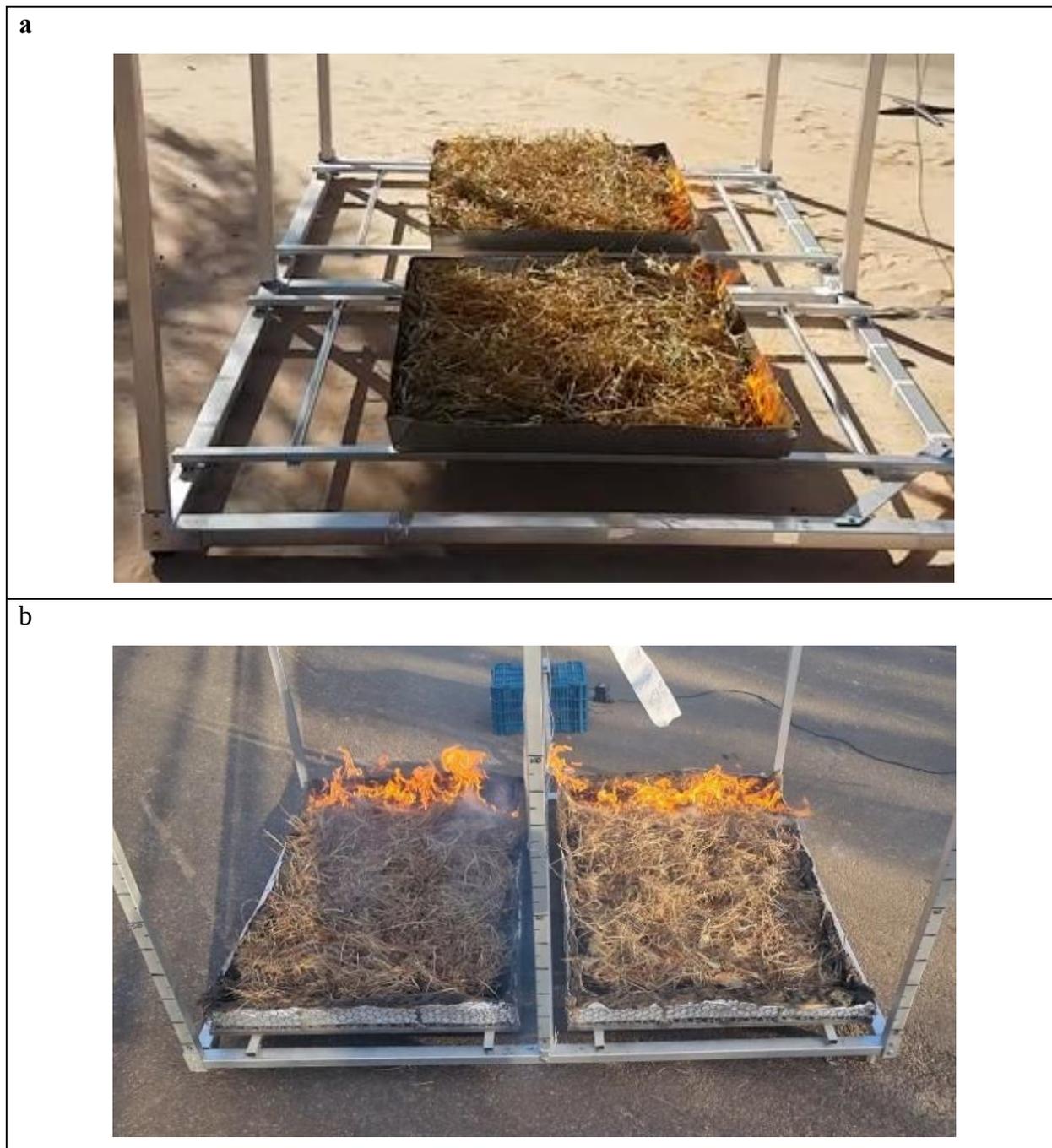


Figura 4: a) Primeira queima na Osíris durante a fase de adequação do experimento. As bandejas afetaram as medições das células de carga; b) queima na versão mais recente da Osíris com bandejas novas.

2.3 Queimas em escala laboratorial

As queimas aconteceram em ambiente aberto, no pátio da garagem do Instituto de Ciências Biológicas (IB) da UnB, sempre com bomba costal e extintor de incêndio como medidas de segurança da equipe, composta pelo orientador, técnicos do Departamento de Ecologia e estudantes do projeto. Os dados obtidos após o período de ajustes, resultaram de 15 queimas, realizadas no final de agosto de 2022, estação da seca no DF.

A versão mais recente da Osíris recebeu bandejas maiores (100x150cm). A densidade de biomassa foi ajustada para 650 g/m², aproximando das condições de biomassa média na área do Experimento 2, dados levantados por outros pesquisadores do projeto. Já a taxa de aplicação foi ajustada para 250 ml/m², correspondendo ao valor obtido pelos medidores de fluxo das sondas OBÁ durante combate direto em campo, que aconteceu no período de ajustes da Osíris.

Portanto cada bandeja recebeu 975g de combustível e nelas foram aplicados 375ml de solução ou água (Tabela 2). Nestas queimas pequena parte do capim não recebeu tratamento, pois foi utilizado como estopim para o início do fogo.

Tabela 2 – Parâmetros e valores de queimas na Osíris ajustados conforme diagnóstico em campo.

Área do Leito (m ²)	Taxa de aplicação (ml/m ²)	Volume aplicado (ml)	Densidade de Biomassa (g/m ²)	Total de Combustível (g)
1,5m ²	250ml/m ²	375ml	650g/m ²	975g

O material combustível foi recolhido nas parcelas do Experimento 2 (Figura 5), três semanas após a vegetação ser roçada para a criação dos aceiros. Os brigadistas do PREVFOGO realizaram essa atividade durante alguns dias. No local o material passou por uma primeira seleção, com a retirada dos galhos mais evidentes. Uma vez transportado para a UnB, o material foi selecionado de maneira mais criteriosa, buscando mais homogeneidade do combustível. Caixas de papelão foram preenchidas com 975g de capim previamente, visando maior agilidade nos dias de queima.

Para cada queima, duas bandejas são preparadas com a mesma quantidade de capim, retirado das caixas de papelão previamente pesadas. A diferença entre as bandejas está no fluido aplicado, que pode ser água ou solução retardante. Para a aplicação, dois borrifadores de pressurização manual foram abastecidos com o mesmo volume de fluido. O procedimento consistiu em borrifar e remexer o material para uma distribuição uniforme, realizada por duplas simultaneamente, para evitar diferenças devido à evaporação (Figura 5).

As soluções retardantes foram preparadas no Laboratório de Ecologia Aplicada (ECOA) do IB. Com o auxílio de uma proveta a quantidade de retardante desejada foi separada e misturada

manualmente com água momentos antes da aplicação sobre o capim. Um passo importante consiste na homogeneização dos retardantes ainda dentro de suas embalagens originais, visto que ocorre a separação em fases durante o período de armazenamento.



Figura 5: a) Coleta de capim roçado na Área Alfa da Marinha (DF), local das queimas de campo; b) Procedimento de aplicação com borrifador manual em dupla.

O primeiro produto avaliado, o *Papa Wiskie*, retardante fosforado de longa duração (Tabela 1), foi testado com efeito de longa e de curta duração no mesmo dia, com isso verificou-se quão diferente seria a eficácia do produto sob cada condição.

Para o efeito de curta duração, o tratamento foi aplicado nas bandejas momentos antes da queima, enquanto para o efeito de longa duração foram preparadas no dia anterior para que a água evaporasse, restando uma película do produto nas bandejas com retardante. Os demais produtos de longa duração foram testados somente sob o efeito de curta duração, visto que esse é o foco do Experimento 2 (combate direto com bomba costal).

Visto que o *Papa Wiskie* a 13,5% não surtiu efeito retardante, nas queimas seguintes a concentração foi aumentada. Isso também valeu para os demais retardantes de longa duração, que já começaram a ser avaliados sob novas concentrações, variando entre 49,2% e 60%. A maioria dos retardantes mostrou efeito retardante sob estas novas concentrações, porém para o *Foxtrot Papa* foi necessário aumentar ainda mais (78,4%) para obter efeito retardante.

2.3 Os impactos operacionais

Para a triagem dos retardantes foram realizados também testes em relação a parte operacional, avaliando se a viscosidade da solução afetaria o bombeamento, ou ainda se partículas como argila poderiam obstruir o fluxo pelas mangueiras.

A existência de atividades de campo ocorrendo de forma intercaladas às laboratoriais favoreceu a observação dos impactos operacionais, basicamente descritos como aqueles fenômenos observados que facilitam ou dificultam as operações com retardantes de chamas. Portanto, durante todas as atividades de campo e laboratório foram observadas atentamente todas as características dos produtos em manipulação, tomadas as notas necessárias e obtidos fotos e vídeos de qualquer fenômeno que pudesse se caracterizar como impacto operacional.

A Figura 6 resume as informações trocadas entre laboratório e campo para adequação do Experimento 2. Os parâmetros de aplicação e biomassa foram mantidos constantes, enquanto as concentrações foram ajustadas ao longo das queimas. As análises em cada escala complementam-se. Seguindo os parâmetros de combustível e combate em campo, as observações em laboratório apontaram a necessidade de aumento das concentrações, porém de volta em campo as concentrações tiveram de ser reduzidas por causa dos impactos operacionais.

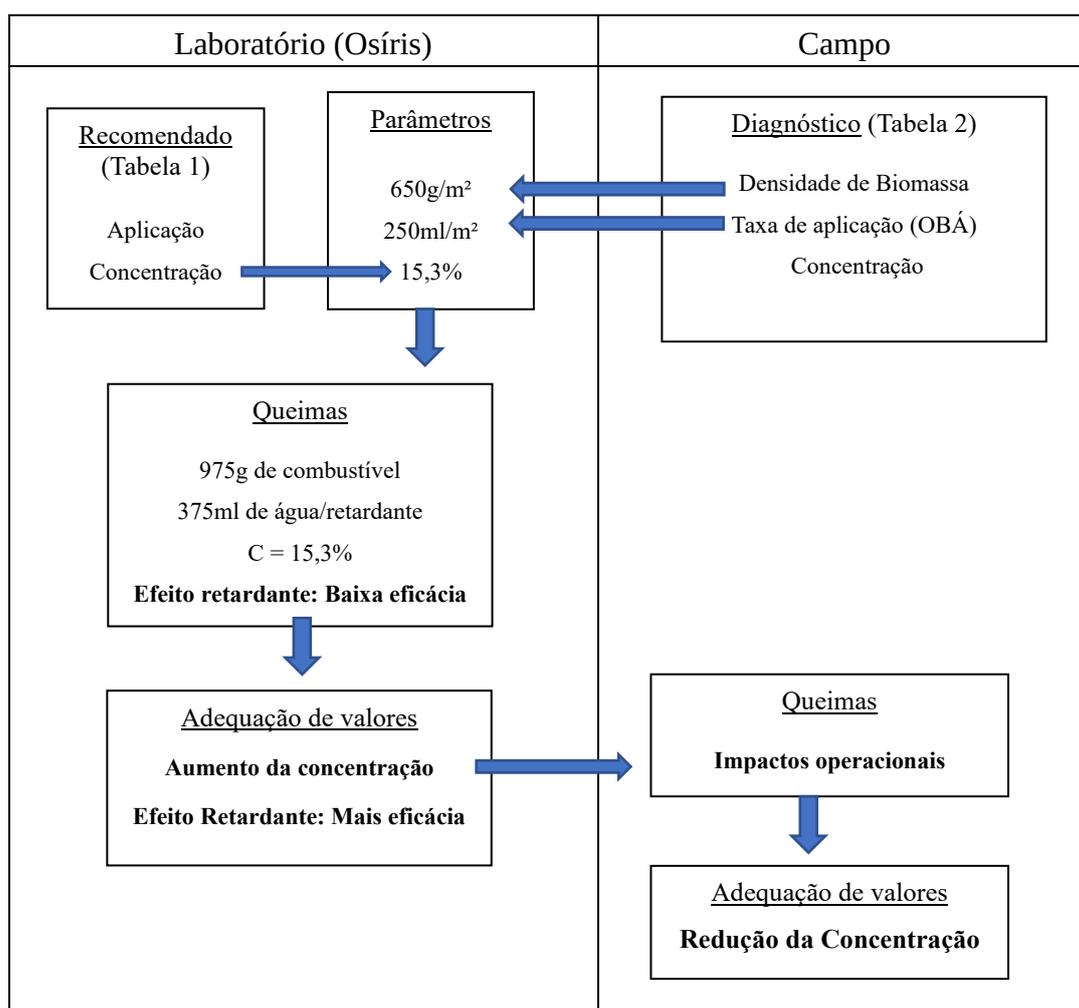


Figura 6: Orientações metodológicas para o intercâmbio de dados entre laboratório e campo (Experimento 2). O diagrama mostra o fluxo de informações entre campo e laboratório, e vice-versa, pelo qual parâmetros obtidos em campo foram empregados para padronização das queimas na Osiris. Também, os parâmetros adotados na sonda foram conduzidos a campo, onde foi possível identificar eventuais impactos operacionais, tais como entupimento de vias, colapso de mangueiras, que motivou adequações diversas, inclusive a redução das concentrações de retardantes, sob pena de não atingimento dos objetivos de campo.

Neste trabalho, os dados das queimas em campo resumem-se aos impactos operacionais e na adequação de valores para as queimas em escala laboratorial (Figura 6), portanto a análise sobre a eficácia dos retardantes foi feita somente com base nos dados de temperatura e CPM, obtidos com a Osiris.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realmente, alguns produtos apresentaram dificuldade para serem bombeados (Figura 7) seja por serem muito viscosos ou pela presença de pedaços solidificados do produto, requerendo as vezes alteração da diluição ou peneiramento da solução. No caso do peneiramento, nitidamente gastou-se

mais tempo para encher a bomba, o que em uma situação de combate poderia atrapalhar a operação. Em campo, os brigadistas que operaram as bombas com retardantes relataram sentir desgaste físico maior durante o combate devido à densidade da solução.

Outro impacto operacional foi manifestado pelos brigadistas, que as vezes, por alguma circunstância adversa, recorrem à água da bomba costal para consumo próprio (dessedentação). A preocupação era de não poder consumir a água da bomba que recebeu retardante ao menos uma vez, quer a bomba esteja no momento com retardante ou não, por receio de contaminação. Similar a isto, os brigadistas que utilizaram a bomba com retardante tiveram suas roupas de trabalho manchadas pelas substâncias corantes dos produtos.

A preparação da solução, que no Experimento 1 teve o auxílio da motobomba também é um impacto. Sem a motobomba resta a preparação manual. Alguns produtos exigem maior esforço para preparo da solução, sendo necessário sacudir bastante os retardantes quando apresentarem fase sólida por estarem a algum tempo armazenados no laboratório. Vão somando-se mais variáveis ao processo de combate, que por si só, já é complexo.

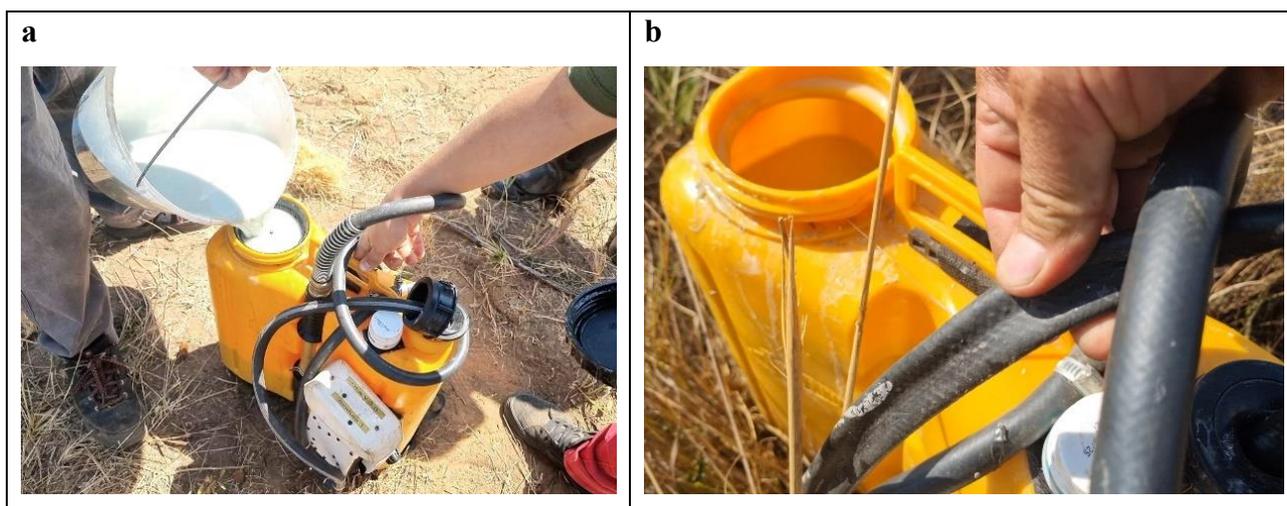


Figura 7: a) Abastecimento da bomba costal com retardante *Papa Wiskie* utilizando a peneira da própria bomba; b) mangueira danificada (colapsada por pressão negativa) pelo bombeamento do retardante *Papa Wiskie* sob concentração de 49,2%.

Na avaliação de eficácia com a *Osiris*, o primeiro retardante testado e com maior número de queimas foi o *Papa Wiskie*. Sob concentração de 13,5%, com o tratamento úmido ou seco não demonstrou eficácia no retardo das queimas em comparação ao controle, portanto aumentou-se a concentração nas queimas seguintes. (Figura 8). Não foram feitas mais queimas com tratamento seco.

Sob concentrações de 49,2% e 24,6% o mesmo produto mostrou eficácia no retardo (Figura 9). O fogo foi extinto antes que toda a bandeja fosse consumida. Em campo sob concentração de 49,2% o bombeamento do produto mostrou-se inviável (Figura 7), portanto foi reduzida para 24,6%.

Nas queimas seguintes, os produtos similares ao *Papa Wiskie* em relação ao tempo de duração (longa) foram testados sob concentrações a partir de 49,2%. Alguns foram testados a 60% e mostraram eficácia no retardo (Figura 10), visto que eram menos propensos a causar entupimento das bombas. Ainda assim, em campo a concentração foi reduzida para 30% pois apesar de não entupir, necessitava-se muito esforço físico para bombear o líquido.

Em contraponto, o produto *Foxtrot Papa* não pôde sequer ser aplicado com o borrifador manual devido a seu caráter pastoso. O que indica o obstáculo que seria tentar aplicá-lo com a bomba costal, ainda mais sob a concentração de 78,4%, a menor testada em que se observou efeito retardante para aquele produto (Figura 11).

Diferente dos demais, os retardantes *Wiskie* e *Bravo* são LGE, retardantes de curta duração, suas concentrações foram as mais baixas de todas as queimas. A aplicação com o borrifador de pressurização manual não produziu espuma suficiente. Para uma boa aplicação de LGE é necessário equipamento pressurizado e com bico adaptado. *Wiskie* (1,6%) teve o pior desempenho dentre todos. Na queima com *Bravo* (2%) observou-se a concentração mais baixa de todas que mostrou eficácia no retardo (Figura 12).

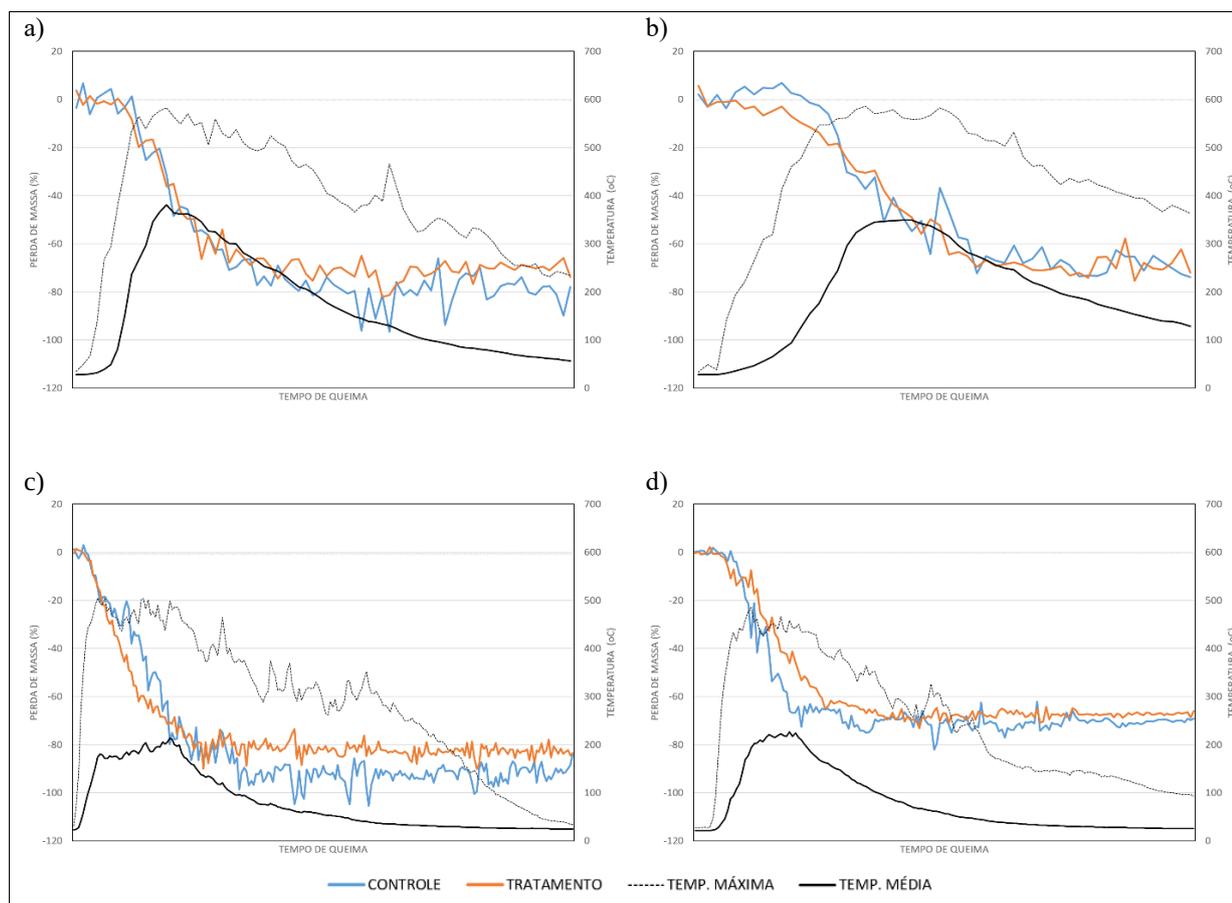


Figura 8: Cinética de perda de massa para o produto *Papa Wiskie* sob concentração de 13,5% com o tratamento seco (a) e (b), e com o tratamento úmido (c) e (d). Densidade de biomassa de 650g/m² e taxa de aplicação de 0,25l/m². As curvas tratamento (retardante) e controle estão similares. Com

o tratamento úmido o retardante teve melhor desempenho, porém ainda insuficiente. Tempo de queima: (a) 5 minutos, (b) 4 minutos, (c) 15 minutos, (d) 12 minutos.

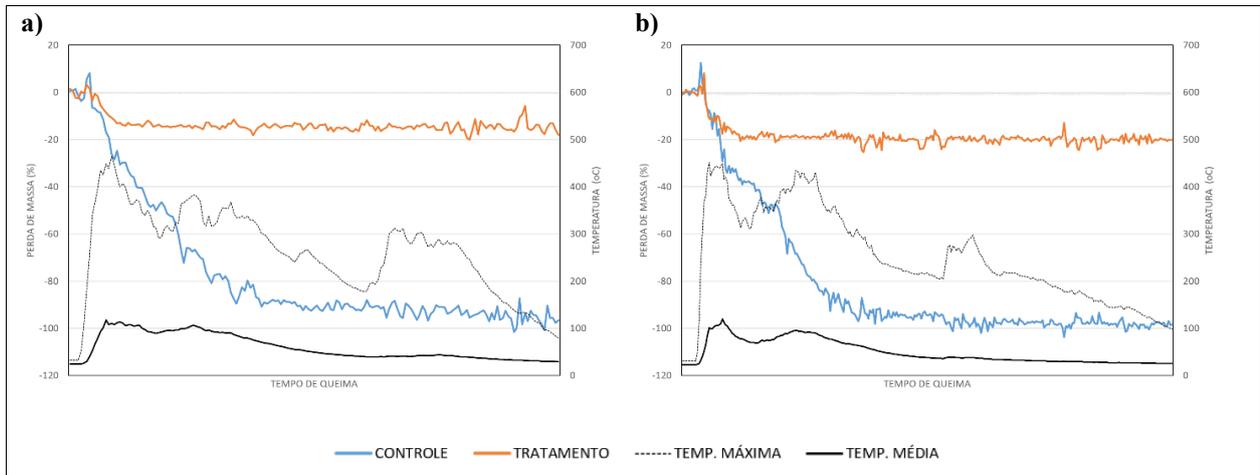


Figura 9: Cinética de perda de massa Papa Wiskie sob concentrações de (a) 49,2% e (b) 24,6%. O produto demonstrou eficácia no retardo em comparação ao controle em ambas. O fogo foi extinto antes que toda a bandeja fosse consumida. Apesar da proporção reduzida pela metade, a eficácia do produto não sofreu o mesmo efeito. Tempo de queima: (a) 13 minutos, (b) 21 minutos.

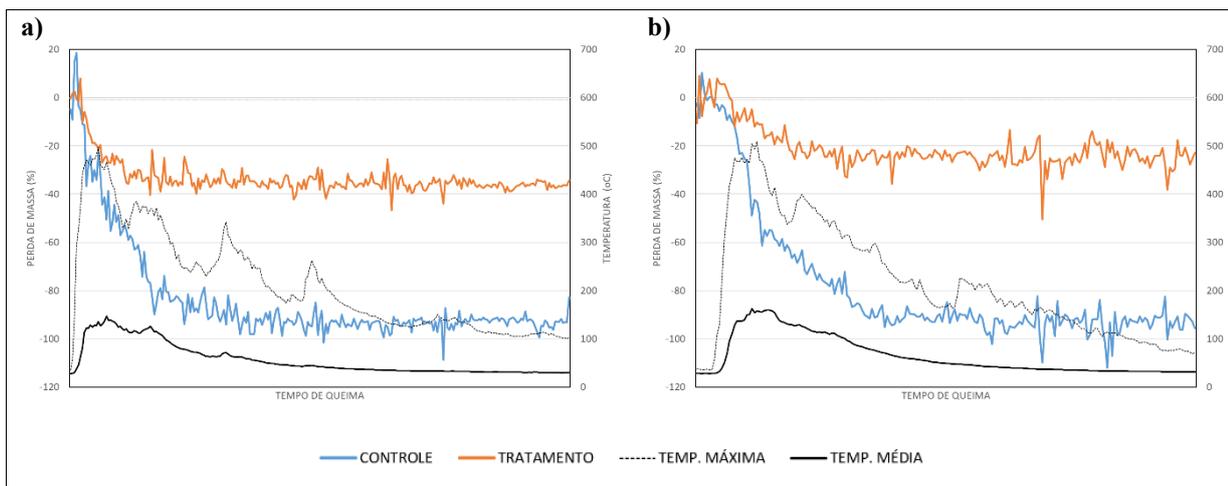


Figura 10: Cinética de perda de massa Lima Papa (a) e Lima Bravo (b) a 60%. Os dois produtos tiveram efeito retardante em relação ao controle. Lima Bravo (b) teve desempenho um pouco melhor. Tempo de queima: (a) 18 minutos, (b) 14 minutos.

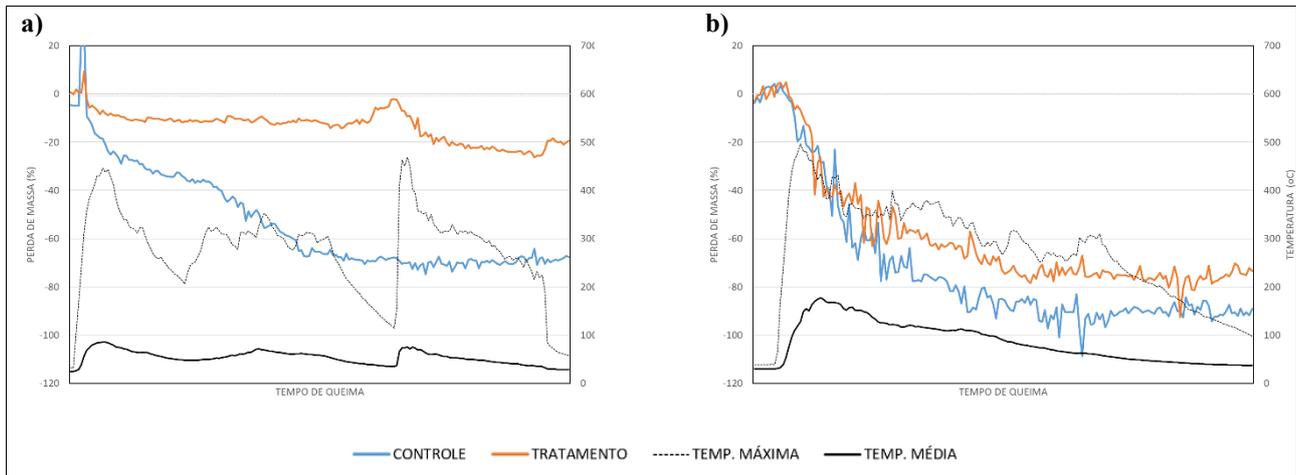


Figura 11: Cinética de perda de massa do Foxtrot Romeu 1 a 49,2% (a) e Foxtrot Papa a 78,4% (b). Em (a) o efeito retardante ficou evidente. Em (b) mesmo sob a maior concentração de toda a amostra o efeito retardante foi pouco expressivo. Nenhum dos dois foi testado em campo. Tempo de queima: (a) 13 minutos, (b) 12 minutos.

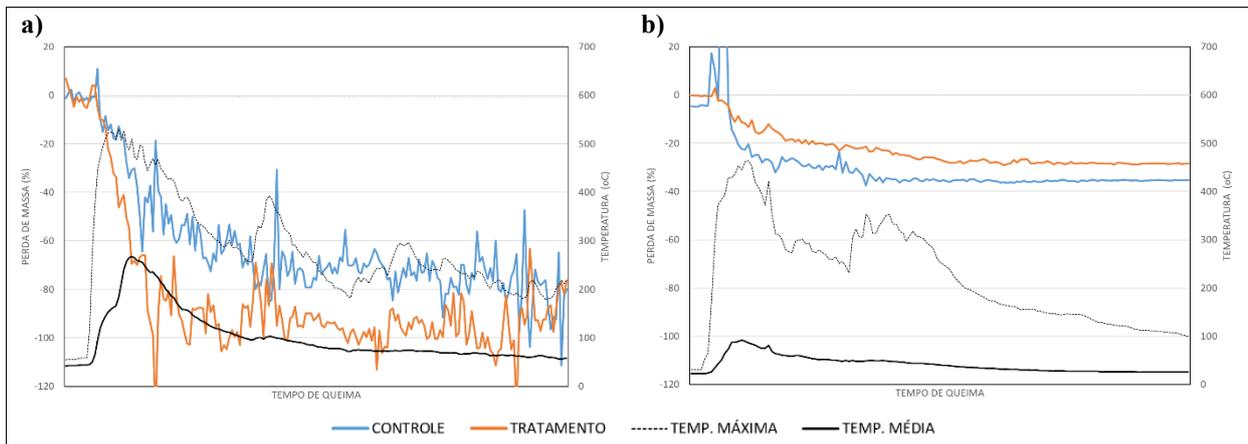


Figura 12: Cinética de perda de massa Wiskie a 1,6% (a) e Bravo a 2% (b). Em (a) o produto teve o pior desempenho de todas as queimas em relação a água, queimando mais rápido. Em (b) o retardante conseguiu mostrar alguma eficácia em relação a água, porém na própria bandeja controle o fogo foi extinto antes de consumir todo o combustível. Tempo de queima: (a) 14 minutos, (b) 10 minutos.

O uso de retardantes de chamas para combate terrestre tem diversas implicações. A começar pela menor capacidade das bombas em relação ao lançamento aéreo, o que acarreta mudanças na taxa de aplicação e nas concentrações. Até certo ponto estas mudanças não causaram entupimento das bombas. Para alguns produtos, o problema foi a falta de eficácia, para outros a eficácia apenas sob altas concentrações ou ainda a incompatibilidade com o equipamento de aplicação. No geral, a preparação das soluções de praticamente todos os produtos foi trabalhosa, desde o agitação dos recipientes de armazenamento, passando pela mistura durante a diluição, até no momento de abastecer as bombas.

Considerando a eficácia constatou-se que alguns produtos testados tiveram efeito de retardo na queima de matéria vegetal fina (Tabela 3). Pode-se dizer que houve impacto positivo nas queimas em escala laboratorial, e em escala de campo houve impacto negativo no quesito operacional. Sobre os impactos negativos para o meio ambiente, estes serão estudados na escala de campo e por outras vertentes do projeto Prometeu, situando-se fora da alçada deste trabalho.

Três produtos foram selecionados para ir a campo, *Papa Wiskie*, *Lima Bravo* e *Bravo*. Os dois primeiros foram os retardantes de longa duração com melhor desempenho comparativo ao controle. O *Bravo*, apesar de eficácia pior que outros produtos que não foram a campo, mostrou-se melhor que o outro LGE (*Wiskie*), além de ter sido a concentração mais baixa da amostra (2%) que surtiu efeito.

Os produtos não selecionados foram: *Lima Papa*, *Foxtrot Papa*, *Foxtrot Romeu 1* e *Wiskie*. Este último teve o pior desempenho da amostra (Figura 12), onde observa-se que a bandeja com retardante queimou mais rápido. Sobre os demais, *Lima Papa* teve desempenho um pouco pior do que o *Lima Bravo* (Figura 10), fabricado pela mesma empresa, portanto optou-se pela versão borada do produto.

Tabela 3 – Ficha resumo das queimas na Osiris

Data	Horário	Duração	Produto	Réplica	Diluição (%)	Volume aplicado (ml)	Combustível (g)	Eficácia
22/08/22	16h27	00:05:10	Papa Wiskie	1	15,3	375	975	Não
22/08/22	16h49	00:03:50	Papa Wiskie	2	15,3	375	975	Não
22/08/22	17h24	00:15:11	Papa Wiskie	1	15,3	375	975	Não
22/08/22	18h09	00:11:54	Papa Wiskie	2	15,3	375	975	Não
27/08/22	16h36	00:14:33	Lima Bravo	1	60	375	975	Sim
27/08/22	17h13	00:10:26	Lima Bravo	2	60	375	975	Sim
27/08/22	17h46	00:12:52	Papa Wiskie	1	49,2	375	975	Sim
27/08/22	18h03	00:21:02	Papa Wiskie	1	24,6	375	975	Sim
28/08/22	12h36	00:14:18	Wiskie	1	1,6	375	975	Não
28/08/22	13h22	00:18:08	Wiskie	2	1,6	375	975	Não
28/08/22	15h14	00:14:13	Foxtrot Papa	1	49,2	375	975	Não
28/08/22	16h30	00:12:38	Foxtrot Papa	1	78,4	375	975	Sim
28/08/22	17h10	00:18:14	Lima Papa	1	60	375	975	Sim
28/08/22	17h52	00:13:30	Foxtrot Romeu 1	1	49,2	375	975	Sim
28/08/22	18h23	00:10:38	Bravo	1	2	375	975	Sim

Os outros dois, *Foxtrot Romeu 1* e *Foxtrot Papa* tiveram, respectivamente, os piores desempenhos em retardar as queimas sob concentração 49,2%. O *Foxtrot Papa*, além de ter sido o pior, mesmo sob 78,4% (Figura 11), não pôde ser aplicado com os borrifadores nas concentrações testadas, então além da baixa eficácia, os impactos operacionais esperados seriam altos demais.

A sonda Osíris foi importante na seleção dos produtos e os resultados obtidos com ela permitiram que fossem poupados recursos e tempo em campo. Produtos que não se adequariam à realidade do combate em campo não foram testados em campo. Para os produtos testados, ajustes de concentração foram necessários sim, mas já havia dados mostrando que a redução da concentração do *Papa Wiskie*, por exemplo, não resultaria em uma grande perda da eficácia em retardar as chamas.

Com estas colocações, os objetivos que fundamentaram este trabalho foram atendidos. Dentre sete possibilidades de produtos e inúmeras possibilidades de diluição e aplicação, a Osíris apontou quais produtos e parâmetros seriam mais apropriados para as queimas em campo. Do ponto de vista da eficácia em retardar as chamas, os produtos mostraram-se eficazes sob usos diferentes do recomendado pelos fabricantes. Porém do ponto de vista operacional, observado principalmente em campo, fica evidente a importância de integrar as escalas e de analisar os retardantes sob todos os parâmetros (qualidade, eficácia, sistemas de aplicação e impactos ambientais). Dito isto, os resultados apresentados são uma pequena parte da complexa matriz que embasará a AIA do projeto Prometeu.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas variáveis afetam o comportamento do fogo. As queimas em escala laboratorial buscam reduzir o efeito destas variáveis, entretanto eles continuam significativos. Algumas queimas ocorreram próximas ao meio-dia, enquanto outras perto das 19h. Visto que ao longo do dia as condições de vento, umidade e temperatura variam, observou-se que a bandeja controle, virtualmente idêntica em todas as queimas, apresentou diferentes tempos de queima e perda de massa total. Porém a variabilidade das condições reflete o que acontece em campo, e nas áreas sujeitas a IF. Isto dificulta a comparação entre produtos e queimas diferentes. Desse modo, a comparação entre as bandejas controle e retardante de cada queima é a maneira mais adequada para avaliar a eficácia dos retardantes neste estudo.

Como dito, os retardantes de chamas são amplamente utilizados em alguns países, principalmente para lançamentos aéreos, que têm sua própria logística, mais complicada em alguns aspectos, porém mais agilizada em outros, a exemplo da diluição com sistema tanque e motobomba. Com base neste tipo de uso que as empresas fabricantes de retardantes desenvolvem seus produtos e estabelecem os valores de concentração e aplicação.

Diferentemente do emprego usual dos retardantes no combate a IF em outros países, a proposta de utilizá-los em bombas costais é pouco estudada, e seus impactos são múltiplos, seja nas dimensões biofísica, socioeconômica e institucional, fundamentais na AIA que o projeto Prometeu vem desenvolvendo. Os impactos dos retardantes de chamas sobre o bioma Cerrado são pouco conhecidos. Até que estudos sobre o tema sejam desenvolvidos com profundidade, é preciso ter cautela.

Iniciativas que exploram o combate químico sob múltiplas escalas simultaneamente são algo inédito no Brasil. Por isso a equipe, estudantes e professores, além de desenvolverem o trabalho prático, dedicaram um grande esforço para desenvolver protocolos de queima laboratorial (concentrações, carga de biomassa etc.) totalmente novos, interativos e com abundantes percalços.

Alguns produtos mostraram eficácia no retardo e possibilidade de aplicação, indicando que é possível aplicar a tecnologia dos retardantes ao combate direto com bombas costais. Entretanto outros impactos devem ser avaliados, principalmente nas parcelas de campo antes de uma tomada de decisão por parte das instituições responsáveis. A opinião dos brigadistas também é fundamental já que eles estariam diretamente envolvidos com os retardantes caso essa categoria de substância passasse a ser utilizada.

As instituições públicas não devem ceder a pressões movidas por interesses econômicos. Deve-se administrar os eventuais conflitos de interesse, resguardando o interesse público acima de tudo, exatamente por tratar-se de poder público. O “PL do Veneno” evidencia como grupos privados buscam sobrepôr seus interesses às questões socioambientais. Ainda mais importante do que decidir sobre novas tecnologias de combate, é necessário investimento em prevenção e educação ambiental sobre IF, pois estas são prioritárias em relação ao combate. Melhor do que dispor de novas ferramentas para combater é não ter que combater.

Outro problema relacionado à essa categoria de substâncias consiste na dificuldade em obter informações sobre a composição e ensaios eco toxicológicos. As empresas fabricantes não parecem dispostas a compartilhar as informações ou não dispõem delas. O próprio IBAMA relatou dificuldade de acesso a essas informações no parecer técnico elaborado em 2018. No cenário atual, o Brasil que tem aprovado agrotóxicos a índices recordes deve tomar muito cuidado ao incorporar produtos originados da indústria agroquímica.

Como dito anteriormente, os Experimento 1 e 2 prosseguirão ao longo dos anos avaliando os impactos ambientais em campo, além disso, o projeto Prometeu prevê a realização de seu Experimento 3. Portanto assim como o projeto, o uso da Osíris e suas futuras versões (de *software* e *hardware*) terá continuidade. Esta ferramenta tem potencial para ser aprimorada e utilizada para observar o efeito dos produtos retardantes sob outros tipos de vegetação e biomas, necessário para

melhor compreender os impactos desta tecnologia de combate no Brasil e sua eventual adoção. Apenas com paciência e o embasamento de mais pesquisas uma decisão acertada poderá ser feita.

5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. B.; DE OLIVEIRA, C. H.; BERNI, C. R. **As tecnologias de sistemas embarcados na avaliação de impactos ambientais do combate aos incêndios florestais.** [s. l.], p. 1,

ASCOM/IBAMA. **Prevfogo controla incêndio na terra indígena Arariboia, no Maranhão.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/noticias/66-2015/235-prevfogo-controla-incendio-na-terra-indigena-arariboia-no-maranhao>. Acesso em: 24 ago. 2022.

BATISTA, A. **O USO DOS RETARDANTES NO COMBATE AÉREO AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS.** [s. l.], 2008.

BRASIL. **Decreto nº 2.661 de 8 de julho de 1989.** Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (código florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências. 8 jul. 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2661.htm. Acesso em: 21 set. 2022.

FOLGADO, C. A. R.; DE SOUSA, R. C. **UMA LEITURA SOBRE O DESMONTE DA LEGISLAÇÃO DE AGROTÓXICOS NO BRASIL.** [s. l.], p. 14,

GIMÉNEZ, A. *et al.* **Long-term forest fire retardants: A review of quality, effectiveness, application and environmental considerations.** *International Journal of Wildland Fire*, [s. l.], v. 13, 2004.

HENKE-OLIVEIRA, C. *et al.* **PROMETEU: uma pesquisa interdisciplinar na AIA (avaliação de impactos ambientais) do combate aos incêndios florestais.** *Biodiversidade Brasileira - BioBrasil*, [s. l.], n. 1, p. 150–150, 2019.

HUGGEL, C. *et al.* **SP1M2 Central and South America.** [s. l.], p. 128, 2021.

IBAMA, Em atendimento à solicitação efetuada pela Diretoria de Proteção Ambiental (DIPRO) para que a Diretoria de Qualidade Ambiental (DIQUA) se manifeste tecnicamente sobre o uso de retardantes de chamam aplicáveis no combate a incêndios florestais. **Parecer Técnico nº 514/2018-OASP/CGASQ/DIQUA. Brasília, 20 de junho de 2020** Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/quimicos-e-biologicos/retardantes-de-chamas/2018-SEI_IBAMA-Parecer-Tecnico-5142018-COASP-CGASQ-DIQUA.pdf. Acesso em 20 ago. de 2022.

IBAMA, **Uso de produto químico retardante de chamam nos incêndios florestais. NOTA TÉCNICA Nº 24/2020/PREVFOGO/DIPRO.** Acesso em 27 set. 2022.

MORAIS, J. C.; AVELINO, A.; PH.D., P. **Relatorio de uso Equipamento maffs para Hércules C 130.** [S. l.: s. n.], 2008.

PIERONI, M.C., Leonel, J., Fillmann, G. **Retardantes de chama bromados: uma revisão.** *Quim. Nova*, Vol. 40, No. 3, 317-326, 2017.