

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCAM

**QUEIMAS CONTROLADAS EM RESÍDUOS VEGETAIS DE EUCALIPTO:
COMPORTAMENTO DO FOGO E USO DE RETARDANTES**

DAIANE CRISTINA DE LIMA

Sinop, Mato Grosso

Dezembro, 2018

DAIANE CRISTINA DE LIMA

**QUEIMAS CONTROLADAS EM RESÍDUOS VEGETAIS DE EUCALIPTO:
COMPORTAMENTO DO FOGO E USO DE RETARDANTES**

Orientador: Prof. Dr. Adilson Pacheco de Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário de Sinop, como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais.
Área de concentração: Biodiversidade

Sinop, Mato Grosso

Dezembro, 2018

Sinopse:

Estudou-se a eficiência de retardantes do fogo em queimas controladas de eucalipto no município de Sorriso, Mato Grosso.

Aspectos como o comportamento do fogo, material combustível disponível e remanescente, e variáveis micrometeorológicas foram avaliadas.

Palavras-chave:

Incêndios florestais, material combustível, volume de calda.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Luiz Alberto de Lima e Cleonice Stamm de Lima que sempre foram a minha base de sustentação em todos os momentos de minha existência.

Ao meu esposo Fernando Gonçalves Cabeceira por todo o carinho, amor, força e confiança, me mostrando que as coisas sempre vão dar certo é só ter foco e fé.

Ao meu orientador Dr. Adilson Pacheco de Souza pelo conhecimento e contribuição científica e prática nesse trabalho. Agradeço também por ter me incentivado e acolhido desde o primeiro experimento a trabalhar com incêndios florestais.

Aos membros da banca de qualificação Dr. Diego Martins Stangerlin, Dr. Alexander Claro Garcia e Dr. Arlindo de Paula Machado Neto por todas as contribuições e sugestões referentes ao trabalho.

Aos colegas do grupo de pesquisa “Interações Ambiente e Planta” que contribuíram nas várias etapas do experimento, Thammy, Charles, Brena, Suzana, Alan, Luana, Daniela e Henrique. Agradeço em especial a Josiane Keffer meu braço direito em todos os trabalhos e amiga nos momentos necessários, e a Mariana Pizzatto pelas horas dedicadas em ajudar nos enigmas do trabalho e pela amizade concedida.

Agradeço a Universidade Federal de Mato Grosso e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais pelo suporte e contribuições oferecidos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – (Capes) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

Os incêndios florestais geram diversos prejuízos econômicos, sociais e ambientais em florestas nativas e plantadas. No combate de incêndios florestais o emprego de retardantes do fogo (químicos ou somente água) tem se mostrado eficiente, entretanto, apresenta algumas lacunas envolvendo toxicidade ambiental, custos elevados e carência de recomendações de uso prático. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a eficiência de diferentes retardantes no comportamento do fogo em área com cultivo do híbrido *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (Clone H13) com 6,0 anos, considerando diferentes volumes de calda, concentrações e tempos pós-aplicação dos retardantes do fogo. Foram avaliados três retardantes: dois comerciais (Phos-Chek® e Hold Fire®) e um alternativo (polímero hidrotentor), com cinco concentrações cada (conforme as recomendações dos fabricantes), nos volumes de calda de 0,5; 1,0 e 2,0 L m⁻², em três tempos pós-aplicação de 60, 90 e 120 minutos. Foram avaliadas a velocidade de propagação da linha do fogo, comprimento de chama e suas respectivas taxas de redução, material combustível remanescente pós-queima e material combustível consumido em resposta ao efeito dos retardantes com água, apenas água e sem aplicação (controle). O aumento do volume de calda em todos os retardantes possibilitou maior eficiência em relação a redução do comportamento do fogo, sendo recomendado o volume de calda de 2,0 L m⁻² no emprego dos retardantes. Todavia, a concentração ideal do Phos-chek foi de 1,0%, Hold Fire de 1,3% e polímero hidrotentor de 0,0060%. Os retardantes comerciais Phos-chek e Hold fire apresentaram modelos lineares, o aumento da concentração propiciou a eficiência do retardante, em contrapartida o polímero hidrotentor apresentou melhores ajustes no modelo polinomial indicando a concentração ideal a ser aplicada.

Palavras-chave: phos-chek, hold fire, polímero hidrotentor, comportamento do fogo.

ABSTRACT

Forest fires generate diverse economic, social and environmental damages in native and planted forests. In firefighting, the use of fire retardants (chemicals or water only) has proved to be efficient, however, it has some gaps involving environmental toxicity, high costs and lack of recommendations for practical use. In this sense, the objective of this study was to evaluate the efficiency of different retardants in the fire behavior in a *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (Clone H13) area with 6.0 years, considering different volumes of syrup, concentrations and post-fire retardant times. Three retardants were evaluated: two commercial (Phos-Chek® and Hold Fire®) and one alternative (hidroretentor polymer), with five concentrations each (according to the manufacturers' recommendations), in syrup volumes of 0.5; 1.0 and 2.0 L m⁻². The fire speed propagation rate, flame length and their respective reduction rates were evaluated, the fuel material remaining after burning and consumed in response to the effect of the retarders with water, only water and without application (control). The increase of the syrup volume in all the retarders allowed a greater efficiency in relation to the reduction of fire behavior, and volume of syrup of 2.0 L m⁻² in the use of retarders was recommended. However, the ideal Phos-chek concentration was 1.0%, Hold Fire 1.3% and hidroretentor polymer 0.0060%. The commercial retarders Phos-chek and Hold fire presented linear models, the increase of the concentration favored the retardant efficiency, in contrast the hidroretentor polymer presented better adjustments in the polynomial model indicating the ideal concentration to be applied.

Key words: phos-chek, hold fire, hidroretentor polymer, fire behavior. **Key words:** phos-chek, hold fire, hidroretentor polymer, fire behavior.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS.....	10
INTRODUÇÃO GERAL	11
Polímero hidrotentor como retardante do fogo?.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
3.2 Elementos meteorológicos.....	25
3.3 Comportamento do fogo.....	27
4 CONCLUSÃO.....	32
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
Volume de calda e concentração de retardantes do fogo em queimas controladas em área de eucalipto na transição Cerrado-Amazônia	38
1 INTRODUÇÃO.....	39
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
3.1 Material combustível disponível	46
3.2 Elementos meteorológicos.....	49
3.3 Comportamento do fogo.....	51
4 CONCLUSÃO.....	58
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
CONCLUSÃO GERAL	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1 - Localização da área experimental de <i>E. urograndis</i> (Clone H13) em Sorriso-MT, Brasil.....	19
Figura 2 - Instalação das parcelas (A), preparação dos retardantes nas parcelas (B), aplicação dos retardantes nas subparcelas (C), amostragem de serrapilheira (D), separação de classes (E), controle de variáveis micrometeorológicas (F), avaliação do comportamento do fogo (G) e avaliação do material combustível remanescente (H), em área de <i>E. urograndis</i> (Clone H13) em Sorriso-MT, Brasil.....	21
Figura 3 - Correlações entre concentrações do retardante polímero hidroretentor com variáveis descritivas do comportamento do fogo em queimas controladas em áreas de <i>E. urograndis</i> (Clone H13), com volume de calda de 2,0 L m ⁻² , Sorriso-MT, Brasil. Velocidade de propagação da linha do fogo (VP) (A); comprimento das chamas (L) (B); taxa de redução da velocidade de propagação da linha de fogo (TVP) (C); taxa de redução do comprimento das chamas (TL) (D)	30
Figura 4 - Massa seca de material combustível remanescente pós-queima (A), estimativa do percentual do material combustível remanescente pós-queima (B), massa seca estimada do material combustível consumido (C) e estimativa percentual do material combustível consumido (D) em queimas controladas em área de <i>E. urograndis</i> (Clone H13) no município de Sorriso-MT, Brasil.....	31

Capítulo 2

Figura 1 - Localização da área experimental de <i>E. urograndis</i> (Clone H13) em Sorriso-MT, Brasil.....	41
Figura 2 - Croqui das parcelas de queima controlada em área de <i>E. urograndis</i> (Clone H13) em Sorriso-MT, Brasil.....	42
Figura 3 - Etapas do experimento com a instalação das parcelas (A), amostragem de serrapilheira (B), separação de classes (C), preparação dos retardantes (D), aplicação dos retardantes nas subparcelas (E), controle de variáveis micrometeorológicas (F), avaliação do comportamento do fogo (G) e avaliação de material combustível remanescente (H), em área de <i>E. urograndis</i> (Clone H13 em Sorriso-MT, Brasil	44
Figura 4 - Taxas de redução da velocidade de propagação do fogo (TRVP) e do comprimento da chama (TRL) em queimas controladas com diferentes concentrações e	

volumes de calda de retardantes de fogo, em áreas de <i>E. urograndis</i> (Clone H13) no município de Sorriso-MT, Brasil.....	54
Figura 5 - Correlações lineares e polinomiais quadráticas entre incremento das concentrações dos retardantes do fogo e: velocidade de propagação da linha de fogo (VP), comprimento das chamas (L), taxa de redução do VP (TRVP) e taxa de redução do L (TRL), nos volumes de calda aplicados em queimas controladas de <i>E. urograndis</i> (Clone H13) no município de Sorriso-MT, Brasil.....	55
Figura 6 - Massa seca e estimativa do percentual do material combustível remanescente pós-queima (MCR), massa seca e estimativa percentual do material combustível consumido (MCC) em queimas controladas de <i>E. urograndis</i> (Clone H13), no município de Sorriso-MT, Brasil.....	57

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1 - Análise de variância da massa seca total das parcelas representativas das concentrações do retardante polímero hidrotentor em queimas controladas em área de E. urograndis (Clone H13), no município de Sorriso, Mato Grosso, Brasil.....	23
Tabela 2 - Material combustível disponível nos tratamentos referentes as queimas controladas em área de E. urograndis (Clone H13), no município de Sorriso-MT, Brasil	23
Tabela 3 - Elementos meteorológicos aferidos no momento das queimas controladas em área de E. urograndis (Clone H13), no município de Sorriso-MT, Brasil.....	26
Tabela 4 - Comportamento do fogo e taxas de redução para aplicações do retardante polímero hidrotentor em queimas controladas de E. urograndis (Clone H13) nas concentrações, volumes de calda e tempos pós-aplicação, em Sorriso- MT, Brasil	27

Capítulo 2

Tabela 1 - Material combustível disponível nos tratamentos referentes as queimas controladas em E. urograndis (Clone H13), no município de Sorriso, Mato Grosso, Brasil	47
Tabela 2 - Elementos meteorológicos aferidos no momento das queimas controladas em área de E. urograndis (Clone H13), no município de Sorriso-MT, Brasil.....	50
Tabela 3 - Velocidade de propagação do fogo (VP) e comprimento da chama (L) em queimas controladas com diferentes concentrações e volumes de calda de retardantes de fogo, em áreas de E. urograndis (Clone H13) no município de Sorriso-MT, Brasil.....	51

INTRODUÇÃO GERAL

Os incêndios florestais são eventos preocupantes em escalas global, regional e local, em função dos inúmeros impactos econômicos, sociais e ambientais que geram (Fiedler et al., 2006; Moritz et al., 2014; Silva et al., 2018). Associado a isso, as adversidades climáticas envolvendo o aumento da temperatura do ar e a ocorrência de secas intensas, em conjunto com ações antrópicas tem intensificado a frequência e severidade dos incêndios florestais em países como Austrália, Portugal, Chile, Estados Unidos, Canadá e o Brasil (Bowman et al., 2009; Enright et al., 2015; Jolly et al., 2015; Torres et al., 2016). Essas ocorrências, por sua vez, evidenciam a necessidade do desenvolvimento de métodos de combate e prevenção dos incêndios florestais mais eficazes e com respostas em menores escalas temporais (Moritz et al., 2014; Moreira & Pe'er, 2018; Torres et al., 2018).

Em áreas atingidas por incêndios florestais, inúmeros danos podem ser observados, como a perda da biodiversidade, mortalidade (Allen et al., 2010; Brando et al., 2012; Young et al., 2017; Stephens et al., 2018), redução da evapotranspiração das árvores (Nolan et al., 2014), alterações no balanço de carbono das florestas (Bond-Lamberty et al., 2007; McDowell et al., 2011; Gordon et al., 2018; Soler et al., 2018), incremento de aerossóis na atmosfera (Melosh et al., 1990; Grell et al., 2011; Menezes et al., 2018; Palácios et al., 2018), riscos as populações próximas as áreas afetadas pelos incêndios (Andrade Filho et al., 2017; Almeida, 2018), dentre outros.

Em relação aos prejuízos econômicos, especificamente na área florestal, a redução da produtividade é relevante tanto em florestas nativas (Soares & Santos, 2002; Seger et al., 2012; Guimarães et al., 2014; Machado Neto et al., 2017) quanto em florestas plantadas (Soares & Santos, 2002; Tetto et al., 2012). Em regiões com expansão e desenvolvimento do processamento industrial dos setores agrícola, alimentício e energético ocorre uma elevação da demanda de energia de biomassa (lenha e carvão), indicando que nesse cenário, as plantações florestais podem ser destacar no suprimento da matéria-prima aos demais setores (Filgueiras et al., 2017; Brun et al., 2018; Simioni et al., 2018).

Dentre as diferentes espécies empregadas em plantações florestais, destacam-se as do gênero *Eucalyptus*. Segundo os dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017) os plantios de *Eucalyptus* ocupam uma área de 5,7 milhões de hectares no Brasil, com destaque para os estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul. No estado de

Mato Grosso a inserção de *Eucalyptus* é recente, atingindo uma área plantada de 185.219 hectares em 2016 (IBÁ, 2017) direcionada principalmente para a conversão de energia da biomassa. Os plantios de *Eucalyptus* são importantes no setor florestal brasileiro e regional, porém são suscetíveis a ocorrência de incêndios florestais em períodos críticos de estiagem (Soares & Santos, 2002; Borges et al., 2011), demandando estudos voltados a proteção florestal.

Para a prevenção e o combate de incêndios florestais é importante conhecer o comportamento do fogo em cada ambiente com potencial de seu desenvolvimento. Esse entendimento depende da descrição direta em campo dos parâmetros associados a velocidade de propagação da linha do fogo e do comprimento das chamas (Soares & Batista, 2007; Batista et al., 2013). O comportamento do fogo é influenciado pela interação entre as condições meteorológicas, topográficas e os resíduos vegetais (material combustível) inerentes ao ambiente de sua ocorrência (Hoffmann et al., 2012; Gomes et al., 2018; Stephens et al., 2018).

Considerando as condições meteorológicas, áreas submetidas a secas extremas são suscetíveis a maior ocorrência de incêndios florestais. A redução da umidade relativa do ar e aumento da temperatura do ar, em conjunto com os ventos, intensificam a perda de umidade do material combustível para o ambiente (Torres et al., 2010; Gould et al., 2011; Bourne et al., 2015), facilitando a sua ignição e, conseqüentemente, a propagação do fogo (Souza et al., 2012; Machado Neto et al., 2014). Em relação a topografia, relevos com aclives apresentam maior velocidade de propagação do fogo especialmente na presença de ventos (Soares & Batista, 2007). Entretanto, as características dos materiais combustíveis como a espessura, densidade, partições vegetais e teor de umidade são determinantes na flamabilidade (Soares & Batista, 2007; Andreu et al., 2011; Beutling et al., 2012; McAllister et al., 2012).

Para a minimização dos efeitos e da severidade de incêndios florestais foram desenvolvidos alguns métodos de prevenção e/ou combate fundamentados no estudo do comportamento do fogo. Nesse caso, destacam-se duas formas importantes de prevenção/controle que estão associadas a realização ou não de queimas prescritas. As queimas controladas ou aceiros negros, consistem no manejo monitorado do fogo, promovendo a descontinuidade do material combustível com potencial risco de ignição (Ryan et al., 2013; Freeman et al., 2017; Walker et al., 2018; Whitman et al., 2018), enquanto que, os aceiros molhados ou aceiros químicos, envolvem faixas com aplicação de retardantes químicos diluídos em água (ou apenas água), visando impedir a passagem

do fogo para áreas circunvizinhas (Filho et al., 2012; Plucinski & Pastor, 2013; Alves et al., 2017).

Os retardantes do fogo são produtos químicos constituídos principalmente por sulfato e fosfato de amônia, e atuam modificando a flamabilidade e impem a liberação de gases responsáveis pelo pré-aquecimento e combustão do material combustível (Ribeiro et al., 2006; Canzian et al., 2016; Plucinski et al., 2017). Atualmente os retardantes são divididos em duas categorias: retardantes de longa duração, que aplicados sobre o material combustível retém os resíduos inibidores da combustão mesmo após a evaporação da água; e os retardantes de curta duração que potencializam o efeito da água na extinção do fogo dificultando a sua evaporação (Liodakis et al., 2002; Ribeiro et al., 2006; Canzian et al., 2016).

Os retardantes do fogo potencializam o efeito da água na perda de calor do material combustível no momento de um incêndio, reduzindo a intensidade e propagação do fogo nas áreas (Ribeiro et al., 2006; Plucinski et al., 2017). Neste cenário, a disponibilidade de água pode ser racionada na ausência de recursos hídricos para a captação, exigindo maiores concentrações de retardantes para volumes de calda pequenos. Entretanto alguns estudos evidenciam que a eficácia dos retardantes tendem a aumentar com o incremento do volume de calda nas mesmas concentrações aplicadas (Batista, 2008; Filho et al., 2012; Plucinski et al., 2017; Canzian et al., 2018).

Em geral, os retardantes do fogo são eficientes, entretanto apresentam algumas incertezas envolvendo a toxicidade ambiental (Dietrich et al., 2014; Fernández-Fernández et al., 2015), custos elevados (Filho et al., 2012), e no caso do Brasil, ocorre a ausência de legislações normativas relacionadas as restrições, uso indiscriminado de retardantes e efeitos quando empregado em largas escalas (Batista, 2008).

Na busca por alternativas na substituição aos retardantes do fogo, podem ser empregados os polímeros hidroretentores, que foram desenvolvidos para várias aplicações na agricultura. Esse material consiste em um condicionador hídrico composto de moléculas orgânicas de forma granular e quebradiça (poliacrilamida e/ou metilcelulose), que ao serem hidratadas por polimerização, formam moléculas maiores elásticas com formato de gel, que podem absorver cerca de 100 vezes o seu peso em água e liberar gradativamente (Balena, 1998; Al-Humaid & Mofteh, 2007; Prevedello & Loyola, 2007; Andry et al., 2009; Bartieres et al., 2016). Esses produtos geralmente não são tóxicos, apresentam preços acessíveis já que são aplicados em baixas dosagens (Almed, 2015; Navroski et al., 2015) e podem ser eficientes na retenção de umidade do

material combustível florestal, apresentando, portanto, potencialidade para atuação como retardante do fogo.

Diante da importância dos métodos de combate de incêndios florestais, aliados a carência de informações referentes ao emprego e eficiência dos retardantes do fogo em áreas atingidas por incêndios, o objetivo desse estudo foi avaliar a eficiência de diferentes retardantes no comportamento do fogo em área de *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (Clone H13), considerando diferentes volumes de calda, concentrações e tempos pós-aplicação dos retardantes.

A dissertação apresenta estrutura básica dividida em dois capítulos: No primeiro capítulo, um consiste em um artigo científico que abrange a “Polímero hidrorretentor como retardante do fogo?”; no segundo capítulo, consta-se outro artigo científico com o tema “Volume de calda e concentração de retardantes do fogo em queimas controladas em área de eucalipto na transição Cerrado-Amazônia”. Os capítulos encontram-se na forma de artigos, considerando a possível submissão na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Agriambi), selecionada por apresentar escopo e Qualis igual ou superior a B2 na área de Ciências Ambientais, conforme resolução do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

Polímero hidroretentor como retardante do fogo?

Resumo: Os retardantes do fogo são produtos químicos eficientes utilizados no combate de incêndios florestais. Entretanto apresentam algumas lacunas envolvendo toxicidade ambiental, custos elevados e ausência de recomendações de uso prático. Neste cenário, o emprego do polímero hidroretentor como retardante pode ser uma alternativa de substituição aos retardantes comerciais. Avaliou-se o emprego do polímero hidroretentor (nutrigel) como retardante do fogo em queimas controladas em uma área de *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (Clone H13) com 6,0 anos, na região de transição Cerrado-Amazônia do Mato Grosso. Foram avaliadas diferentes concentrações, volumes de calda e tempos pós-aplicação, em queimas controladas a favor do vento (entre 10 e 14 horas), em parcelas de 9,0 m², entre julho e agosto de 2017. O polímero hidroretentor foi aplicado nos volumes de calda de 0,5; 1,0 e 2,0 L m⁻² e nas concentrações de 0; 0,0010; 0,0025; 0,0050; 0,0075 e 0,0100% (diluído em água) sobre o material combustível de *E. urograndis*. Após 60 e 120 minutos da aplicação, foram realizadas queimas controladas para avaliação da velocidade de propagação do fogo e comprimento da chama, percentagem do material combustível remanescente e consumido. O aumento do volume de calda em conjunto com o incremento das concentrações de polímero hidroretentor propiciou redução nas variáveis descritivas do comportamento do fogo. O polímero hidroretentor pode ser indicado como retardante de fogo e apresentou melhor eficiência quando aplicado com volume de calda de 2,0 L m⁻² na concentração de 0,0060% (diluído em água), sendo eficiente até 120 minutos após a aplicação.

Palavras-chave: comportamento do fogo, material combustível, incêndios florestais, concentração e volume de calda

Hidroretentor polymer as fire retardant?

Abstract: Fire retardants are efficient chemicals used in forest fires combating. However, they present some gaps involving environmental toxicity, high costs and lack of recommendations for practical use. In this scenario, the use of hidroretentor polymer as a retardant may be a substitution alternative to commercial retardants. The use of the hidroretentor polymer (nutrigel) as fire retardant in controlled burning in *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (Clone H13) area with 6.0 years in the Cerrado-

Amazon transition region of Mato Grosso. The hidroretentor polymer was applied in different concentrations, syrup volume and post-application times were evaluated in wind-controlled burnings (between 10 and 14 hours), in 9.0 m² plots between July and August 2017. The hidroretentor polymer was applied in syrup volumes of 0,5; 1.0 and 2.0 L m⁻² and at concentrations of 0; 0.0010; 0.0025; 0.0050; 0.0075 and 0.0100% (diluted in water) on the combustible material of *E. urograndis*. After 60 and 120 minutes of application, controlled burns were performed to evaluate the flame propagation rate and flame length, percentage of the remaining and consumed fuel material. The increase of the syrup volume together with the increase of concentrations of hidroretentor polymer propitiated reduction in the descriptive variables of the fire behavior. The hidroretentor polymer can be indicated as a fire retardant and has better efficiency when applied with 2.0 L m⁻² syrup volume at a concentration of 0.0060% (diluted in water), being efficient up to 120 minutes after application.

Key words: fire behavior, combustible material, forest fires, concentration and volume of syrup

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais consistem na propagação do fogo sem controle sobre qualquer tipo de vegetação florestal e geram prejuízos econômicos, sociais e ambientais em áreas nativas ou plantadas (Soares & Batista, 2007; Nepstad et al., 2008; Parizotto et al., 2008; Brando et al., 2012; Moritz et al., 2014; Flores et al., 2017; Arruda et al., 2018). Em relação aos prejuízos econômicos, tem-se uma redução evidente da produtividade nas florestas plantadas, especialmente quando constituídas pelo gênero *Eucalyptus*, devido a constituição/disposição do material combustível e riscos de flamabilidade em épocas de secas (Bowman et al., 2013; Cheney et al., 2012; Alves et al., 2017).

Para a prevenção e o combate de incêndios florestais é importante o conhecimento da predição do comportamento do fogo em diferentes ambientes com possibilidade de ocorrência, sendo resultado do sinergismo entre fatores meteorológicos, topográficos e de material combustível disponível (Coen et al., 2012; Holffmann et al., 2012; Alves et al., 2017; Bassett et al., 2017). O comportamento do fogo pode ser descrito pela velocidade de propagação da linha do fogo e o comprimento das chamas, sendo esses

considerados como parâmetros fundamentais para a mitigação dos incêndios pelos gestores (Soares & Batista, 2007; Batista et al., 2013; Seger et al., 2013).

A partir do conhecimento do comportamento do fogo foram desenvolvidos alguns métodos de combate e/ou prevenção aos incêndios florestais, como a queima controlada ou prescrita, que consiste na remoção do material combustível com risco de ignição (Freeman et al., 2017; Walker et al., 2018), construção de aceiros negros para a quebra de continuidade do material combustível (Medeiros & Fiedler, 2004; Soares & Batista, 2007) e a aplicação de retardantes do fogo no combate aos incêndios (Ribeiro et al., 2006; Filho et al., 2012).

Os retardantes do fogo são produtos químicos constituídos principalmente por sulfato e fosfato de amônia diluídos em água, que reduzem a flamabilidade por meio da inibição dos gases responsáveis pelo pré-aquecimento e consequentemente combustão do material combustível (Canzian et al., 2016; Plucinski et al., 2017). Em geral, os retardantes do fogo são fundamentais para otimizar o uso da água e reduzir a sua evaporação ao longo do tempo de aplicação sobre o material combustível (Liodakis et al., 2002; Ribeiro et al., 2006).

O emprego de retardantes no combate de incêndios florestais pode ser considerado como eficiente, entretanto apresenta algumas lacunas envolvendo a toxicidade ambiental (Backer et al., 2004; Dietrich et al., 2014; Song et al., 2014; Fernández-Fernández et al., 2015), custos elevados visto que são produtos com fabricação internacional, assim como ausência de recomendações referentes ao seu uso prático, como a preparação e aplicação em diferentes concentrações, volumes de calda e eficiência no tempo pós-aplicação sobre diferentes materiais combustíveis (Filho et al., 2012; Fiedler et al., 2015; Canzian et al., 2018).

Produtos alternativos têm sido estudados para aplicações como retardante do fogo em incêndios florestais, visando principalmente a conservação da umidade dos materiais combustíveis por um período prolongado e sem resíduos que possam contaminar o meio ambiente (Souza et al., 2012; Almed, 2015; Navroski et al., 2015). Neste cenário, o emprego do polímero hidrorretentor utilizado no setor agroflorestal para a retenção de umidade no solo próximo as raízes das plantas, pode ser considerado como uma alternativa eficiente na retenção de umidade no material combustível dos incêndios florestais.

O polímero hidrorretentor é um condicionador hídrico constituído de moléculas orgânicas (poliacrilamida e/ou metilcelulose) granulares e quebradiças, que em contato

com a água por polimerização, aumenta seu tamanho e transformam-se em moléculas elásticas com forma de gel (Balena, 1998; Andry et al., 2009). As moléculas de polímeros hidroretentores podem absorver mais de 100 vezes o seu peso em água e liberar de forma gradativa ao ambiente (Balena, 1998; Andry et al., 2009; Bartieres et al., 2016). Em geral, a recomendação técnica para esses produtos é para uso na implantação de áreas agrícolas ou florestais, visto que permite combater a erosão, aumento da infiltração de água no solo, maior eficiência da irrigação, menor perda de nutrientes e melhor aproveitamento de água pelas plantas.

O emprego do polímero hidroretentor como retardante do fogo é um estudo recente e pouco explorado (Souza et al., 2012), ausente de recomendações voltadas a preparação e aplicação do produto sobre o material combustível. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar as formas de uso (volume de calda e concentração) de polímero hidroretentor como retardante do fogo, em queimas controladas em área de *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (Clone H13) com seis anos de idade, na transição Cerrado-Amazônia do Mato Grosso.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Santo Antônio – UPL3, propriedade da Empresa Brasil Foods S.A., localizada no município de Sorriso, unidade de Lucas do Rio Verde (12°51'35,04" S e 55°52'33,54" W, com relevo plano e altitude de 365 m), estado de Mato Grosso, Brasil, entre julho e agosto de 2017 (Figura 1). A área experimental está inserida na mesorregião considerada como transição dos biomas Cerrado e a Amazônia. O clima da região pela classificação de Köppen é do tipo Aw (tropical quente e úmido), com duas estações hídricas bem definidas: seca (maio a setembro) e chuvosa (outubro a abril), com precipitação média anual em torno de 1900 mm, temperatura do ar média mensal variando de 22,0 a 25,0 °C (Souza et al., 2013).

O experimento foi conduzido no centro de um talhão com cultivo do híbrido *E. urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (Clone H13), com 6,0 anos de idade, implantado no espaçamento de 3,0 x 3,0 m (linha x entrelinha), com altura total das árvores de aproximadamente 26,0 m e um percentual de ocupação de copa de 62,0%. A área apresenta a leste uma interface com um fragmento de floresta nativa ripária e a oeste uma interface com lavoura com cultivos sucessivos de soja, milho e algodão.

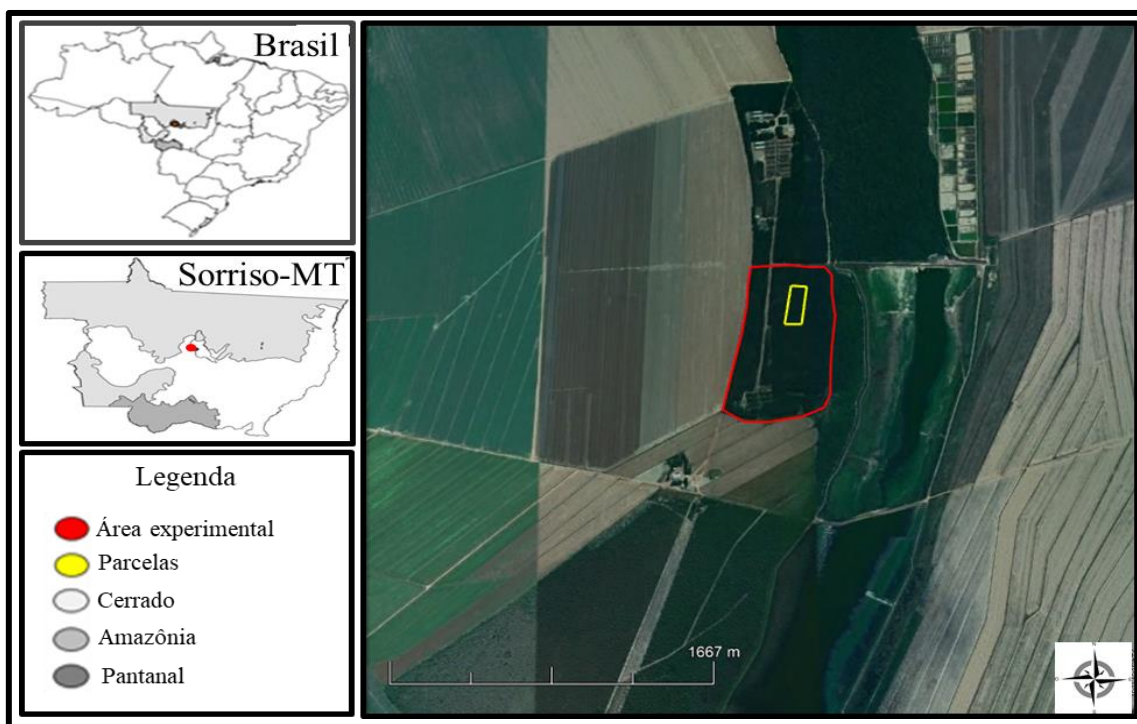


Figura 1. Localização da área experimental de *E. urograndis* (Clone H13) em Sorriso-MT, Brasil

Foram instaladas parcelas de 25,0 x 3,0 m (comprimento x largura), compostas de subparcelas de 3,0 x 3,0 m (comprimento x largura) intercaladas “sem” e “com” a aplicação do retardante do fogo. As subparcelas foram divididas em três repetições de 1,0 x 3,0 m (comprimento x largura), onde foram fixados pontos de observações do comportamento do fogo (Figura 2A). As interfaces das parcelas foram delimitadas por aceiros de 1 m de largura para evitar a passagem do fogo as áreas vizinhas (Alves et al., 2017). Entre as subparcelas foram instaladas zonas de transições de 1,0 x 3,0 m (comprimento x largura) para a eliminação de resíduos provenientes das subparcelas com retardantes para as subparcelas sem retardantes.

Avaliou-se a eficiência do polímero hidroretentor – “hidrogel” (comercial Nutrigel®) como retardante do fogo por meio de sua aplicação em diferentes concentrações e volumes de calda, considerando dois tempos pós-aplicação sobre o material combustível para início da avaliação do comportamento do fogo. Esse produto apresenta 27,80; 49,70; 8,70 e 18,10 % de CaO, CaCO₃, MgO e MgCO₃, com poder de neutralização de 67,50% (perfazendo em classificação semelhante a calcário dolomítico) e polímeros sintéticos de poliácridamida.

Foram avaliadas seis concentrações de polímero hidroretentor diluídas em água (0/água; 0,0010; 0,0025; 0,0050; 0,0075 e 0,0100%) e três volumes de calda de água (0,5;

1,0 e 2,0 L m⁻²) (Figura 2B). Em seguida, as caldas foram pulverizadas sobre o material combustível com uma bomba costal anti-incêndio, dispondo de um bico de abertura tipo leque (Figura 2C). As subparcelas sem aplicação do retardante foram consideradas como controle, visando mostrar as condições reais do material combustível e o comportamento do fogo nas áreas de *E. urograndis*. As queimas controladas ocorreram 60 e 120 minutos (1,0 e 2,0 horas) após a aplicação do retardante nas subparcelas.

O delineamento experimental adotado foi de parcelas subdividas no tempo, em blocos inteiramente casualizados, perfazendo em um arranjo fatorial em 3 níveis: 6 x 3 x 2 (concentrações do retardante x volumes de calda x tempos pós-aplicação de retardante), com três repetições por tratamento (subparcelas).

Foram realizadas as caracterizações do material combustível disponível próximo as parcelas do experimento, por meio de coletas aleatórias de amostras destrutivas do combustível em área de 1,0 m², sendo uma amostra por parcela (Figura 2D). Em cada amostra, foi obtida a espessura média da camada de material combustível, com posteriormente separação das partições vegetais nas classes: i) material combustível morto (seco): folhas, cascas, galhos finos com diâmetro ($d < 0,7$ cm (G1) e galhos médios $0,7 \leq d \leq 2,5$ cm (G2); ii) material combustível vivo (úmido) composto principalmente por plantas herbáceas e gramíneas (MH) (Rothermel, 1972; Alves et al., 2017) (Figura 2E).

As partições vegetais foram pesadas em campo para a obtenção da massa úmida, e posteriormente, secas em estufa de circulação forçada de ar, na temperatura de 65,0°C ($\pm 2,0$ °C), até atingir a massa constante, para a determinação da massa seca e o teor de umidade do material combustível (Alves et al., 2017). A densidade do material combustível por hectare foi estimada com base na soma de todas as partições vegetais.

As variáveis meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento) foram monitoradas a cada minuto durante as queimas controladas por meio de uma estação meteorológica automática portátil com datalogger (Instrutemp Weather Station model ITH1080), instalada suspensa a 2,0 m, no centro da área de *E. urograndis* (Figura 2F).



Figura 2. Instalação das parcelas (A), preparação dos retardantes nas parcelas (B), aplicação dos retardantes nas subparcelas (C), amostragem de serrapilheira (D), separação de classes (E), controle de variáveis micrometeorológicas (F), avaliação do comportamento do fogo (G) e avaliação do material combustível remanescente (H), em área de *E. urograndis* (Clone H13) em Sorriso-MT, Brasil

As queimas controladas foram realizadas a favor do vento entre as 10 e 14 h (horário solar local), em função dos horários de maior intensidade do fogo e com poucas variações dos ângulos zenitais (Lima et al., 2017). O comportamento do fogo foi avaliado por meio de medidas diretas dos seguintes parâmetros: i) velocidade de propagação da linha do fogo (VP, em m min^{-1}), cronometrando o tempo de percurso da linha de fogo entre dois pontos de observações consecutivos; ii) comprimento das chamas (L, em cm), por meio da estimativa visual com uma régua fixada junto ao ponto de observação no momento da passagem do fogo (Figura 2G). Em seguida, foram calculadas as taxas de redução da velocidade de propagação da linha de fogo (TVP) e comprimento das chamas (TL), tendo o comportamento do fogo inicial como controle.

O material combustível remanescente pós-queima foi coletado com três amostras aleatórias de $1,0 \text{ m}^2$ nas subparcelas das queimas controladas (Figura 2H). Após a coleta, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de $65,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 2,0 \text{ }^\circ\text{C}$), até atingir a massa constante, para a determinação da massa seca e consequentemente a massa seca total de material combustível remanescente (MCR, em t ha^{-1}). O Material combustível consumido (MCC) foi obtido por meio da diferença entre o material combustível disponível e MCR. Também foi realizada a estimativa visualmente da porcentagem de material combustível consumido com base no material remanescente.

Os dados foram submetidos a análise de normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk. Posteriormente, realizou-se análise de variância (ANOVA) para as variáveis do material combustível e do fatorial (concentrações x volumes de calda x tempos pós-aplicação do retardante), e quando apresentaram diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5,0% de significância. Para a determinação da concentração ideal do polímero hidrorretentor foi realizada análise de correlação de Pearson entre os parâmetros comportamento do fogo (variável independente) e concentrações do retardante (variável dependente) no volume de calda de $2,0 \text{ L m}^{-2}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características do material combustível

A homogeneidade entre as parcelas dos tratamentos foi fundamental para a avaliação da eficiência do retardante (polímero hidrorretentor), visto que não foram observadas

diferenças significativas entre a serrapilheira (material combustível) das parcelas empregadas na avaliação das concentrações dos retardantes e suas interações com volume de calda e tempo após aplicação (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância da massa seca total das parcelas representativas das concentrações do retardante polímero hidrorretentor em queimas controladas em área de *E. urograndis* (Clone H13), no município de Sorriso, Mato Grosso, Brasil

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Bloco	2	4,817200	2,408600	0,225	0,8027
Concentração	5	59,334533	11,866907	1,107	0,4148 ^{NS}
Erro	10	107,187667	10,718767		
Total Corrigido	17	171,339400			

Em que: FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: valor de F calculado; Pr: probabilidade; ^{NS}: não significativo

As variações das partições vegetais do material combustível representadas pela espessura da camada, percentagem das classes dos resíduos vegetais, massa seca e o teor de umidade também não apresentaram variações entre as parcelas que receberam as diferentes concentrações do retardante (Tabela 2).

Tabela 2. Material combustível disponível nos tratamentos referentes as queimas controladas em área de *E. urograndis* (Clone H13), no município de Sorriso-MT, Brasil

Classes do material combustível	Concentração do retardante (%)					
	0	0,0010	0,0025	0,0050	0,0075	0,0100
Espessura da camada de material combustível (cm)						
	8,67	8,83	9,00	11,33	9,00	9,67
Percentagem das classes do material combustível (%)						
Folha	41,61	42,18	46,90	34,51	40,86	41,40
Casca	10,97	9,39	7,11	7,30	7,34	7,76
G1	15,15	21,53	18,05	13,16	17,61	13,84
G2	30,36	26,91	27,93	41,37	31,38	32,08
MH	1,88	-	-	3,65	2,82	4,92
Massa seca do material combustível (t ha⁻¹)						
Folha	11,30	11,23	11,87	10,40	12,06	10,67
Casca	2,93	2,50	1,80	2,20	2,17	2,20
G1	4,17	5,73	4,57	3,97	5,20	3,57
G2	7,94	7,17	7,07	12,47	9,27	8,27
MH	0,43	-	-	1,10	0,83	1,27
MS total	26,76	26,63	25,27	30,10	29,53	25,80
Teor de umidade (%)						
Folha	11,70	11,95	11,89	11,74	14,60	11,95
Casca	11,50	12,82	12,05	12,48	13,05	12,82
G1	11,20	11,12	10,21	10,43	12,20	10,56
G2	10,33	10,88	10,85	10,75	12,68	9,42
MH	21,23	-	-	25,31	43,08	20,68

*Valores médios dos tratamentos para as variáveis testadas não apresentaram diferenças pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância. G1: galho fino com diâmetro < 0,7 cm; G2: galho médio com diâmetro 0,7 ≤ d ≤ 2,5 cm; MH: material herbáceo; -: MH ausente no tratamento; MS total: massa seca total

A espessura média da camada do material combustível foi de 9,42 cm, com variações entre 8,67 e 11,33 cm nas concentrações de 0 e 0,0050%, respectivamente. Em relação as classes do material combustível, as folhas apresentaram maior representatividade com média de 40,0% (variando de 34,51 a 46,90%), galhos médios (classe G2) com média de 32,0% (variando de 26,91 a 41,37%) e galhos finos (classe G1) com médias de 17,0% (variando de 13,16 a 21,53%). As demais classes, cascas e material herbáceo (classe MH) apresentaram ocorrências em média 8,31% (variando de 7,11 a 10,97%) e de 2,0% (variando de 1,88 a 4,92%), respectivamente.

Os valores da distribuição percentual das classes do material combustível foram semelhantes ao observado em florestas nativas secundárias na região de transição Cerrado-Amazônia (Barlow et al., 2007; Mateus et al., 2013; Almeida et al., 2015; Carmo et al., 2018) e em áreas de *Eucalyptus* com idade entre 5,0 e 7,0 anos na estação seca (Diniz et al., 2011; Corrêa et al., 2013; Carmo et al., 2018).

A massa seca total média foi de 27,35 t ha⁻¹, sendo destes 11,25; 4,53; 8,69; 2,30 e 0,91 % para folhas, galhos finos, galhos médios, cascas e MH, respectivamente. Nessa mesma área de cultivo, Alves et al. (2017) observaram para *E. urograndis* com idade de 4,5 anos para o mês de agosto de 14,36 t ha⁻¹, enquanto que, Carmo et al. (2018), avaliando o mesmo material genético nessa região, obtiveram massas secas totais para áreas com 7,0 anos de idade em média 21,0 t ha⁻¹ na composição da serrapilheira e material herbáceo.

O aumento da camada de serrapilheira (material combustível) é comum em cultivos de *E. urograndis* com idade entre 5,0 a 7,0 anos (Schumacher et al., 2011; Eloy et al., 2012; Carmo et al., 2018), devido à alta deposição de material combustível pelo crescimento das árvores, e em contrapartida com a lenta decomposição resultante das interações com o microclima (Sanches et al., 2009). Todavia, Carmo et al. (2018) verificaram que em áreas de *E. urograndis* com idade superior a 7,0 anos ocorre o aumento da mortalidade de árvores e conseqüentemente a redução deposição de material combustível superficial.

Foram observados percentuais de umidade do material combustível inferiores a 15,0%, exceto para os materiais herbáceos (entre 21,2 e 43,1%). Os valores observados do teor de umidade foram superiores aos reportados por Alves et al. (2017) nessa mesma área no mês de agosto, quando o cultivo estava com 4,5 anos (8,38; 8,32; 8,74 e 9,87 % de umidade em folhas, galhos finos, galhos médios e material herbáceo, respectivamente).

O aumento do teor de umidade do material combustível observado pode ser decorrente das menores evaporações de água do solo com o aumento da camada de serrapilheira. Fisicamente, o processo de evaporação de água do material combustível, é dependente das transferências de água da camada superficial do solo para os fragmentos vegetais que compõem a serrapilheira. Nesse caso, de maneira generalizada, o movimento ascendente da água no solo é dado por ascensão capilar, sendo essa condição interrompida em função do aumento do espaço poroso nos fragmentos da serrapilheira. Como ocorrem alterações significativas dos balanços de energia na camada limite serrapilheira-atmosfera, os fragmentos superficiais secam com maior intensidade quando comparado com os fragmentos próximos a superfície do solo, todavia, pela baixa transferência de água na camada de serrapilheira, ocorre uma tendência de aumento da umidade média com o incremento da altura da camada de serrapilheira (material combustível).

As características observadas no material combustível, envolvendo a elevada densidade proveniente da abscisão de folhas em resposta ao estresse hídrico das árvores (Xu et al., 2010), em conjunto com teores de umidades inferiores de 25%, possibilitam a ocorrência de incêndios florestais em áreas de eucalipto (Soares & Batista, 2007; Gould et al., 2011; Souza et al., 2012; Yebra et al., 2013), visto que a ignição é facilitada pela flamabilidade do material combustível nestas condições ambientais.

3.2 Elementos meteorológicos

De maneira geral, os elementos meteorológicos de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, monitorados instantaneamente não apresentaram variações entre os tratamentos avaliados (Tabela 3), indicando condições micrometeorológicas próximas no momento das queimas controladas. Os valores médios de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento variaram de 28,5 a 34,5 °C; 21,0 a 32,5 e 0 a 1,8 m s⁻¹.

Tabela 3. Elementos meteorológicos aferidos no momento das queimas controladas em área de *E. urograndis* (Clone H13), no município de Sorriso-MT, Brasil

Concentração (%)	VC (L m ⁻²)	Tempo (h)	T (°C)			UR (%)			VV (m s ⁻¹)		
			méd	máx	min	méd	máx	min	méd	máx	min
0	0,5	1,0	33,8	33,8	33,7	22,5	23,0	22,0	1,1	1,7	0,3
		2,0	34,1	34,2	34,1	21,0	21,0	21,0	1,1	2,0	0,0
0	1,0	1,0	34,0	34,1	33,9	21,7	22,0	21,0	1,0	1,4	0,7
		2,0	33,8	33,9	33,6	22,7	23,0	22,0	1,0	1,7	0,0
0	2,0	1,0	32,6	32,7	32,6	23,0	23,0	23,0	0,0	0,0	0,0
		2,0	31,5	31,8	31,4	29,0	29,0	29,0	0,0	0,0	0,0
0,0010	0,5	1,0	30,2	30,5	30,1	30,7	31,0	30,0	1,7	2,0	1,4
		2,0	31,1	31,3	31,0	31,1	29,0	29,0	1,6	2,0	1,0
0,0025	0,5	1,0	32,2	32,3	32,1	24,5	25,0	32,1	1,5	1,7	1,4
		2,0	32,0	32,4	31,1	22,0	24,0	13,0	1,7	2,0	1,4
0,0050	0,5	1,0	29,5	29,8	29,1	30,0	31,0	29,0	1,4	1,7	1,0
		2,0	31,0	31,1	30,8	24,7	26,0	23,0	1,7	2,0	1,4
0,0075	0,5	1,0	32,0	32,8	31,4	22,0	23,0	20,0	0,0	0,0	0,0
		2,0	33,2	33,4	32,9	21,7	22,0	20,0	0,2	1,0	0,0
0,0100	0,5	1,0	33,0	33,1	33,0	23,3	24,0	23,0	1,1	1,7	0,7
		2,0	32,7	33,0	32,1	25,2	27,0	24,0	1,0	1,7	0,0
0,0010	1,0	1,0	32,0	32,0	31,8	24,0	25,0	23,0	1,3	1,7	0,7
		2,0	32,2	32,2	32,1	28,4	25,0	24,0	1,2	1,4	0,7
0,0025	1,0	1,0	30,5	30,9	30,2	30,7	31,0	30,0	1,8	2,4	1,4
		2,0	31,4	31,4	31,3	28,7	29,0	28,0	1,3	2,0	0,7
0,0050	1,0	1,0	28,5	29,4	27,9	32,5	34,0	30,0	1,4	1,7	1,0
		2,0	30,7	30,9	30,6	25,3	26,0	25,0	1,7	2,0	1,4
0,0075	1,0	1,0	33,0	33,4	32,6	21,0	22,0	20,0	1,1	1,4	1,0
		2,0	33,1	33,5	32,8	21,3	22,0	20,0	0,2	1,0	0,0
0,0100	1,0	1,0	31,4	32,1	30,9	29,2	31,0	26,0	0,2	1,0	0,0
		2,0	32,8	32,8	32,6	22,0	22,0	22,0	0,9	1,4	0,7
0,0010	2,0	1,0	34,5	34,8	34,3	21,0	21,0	21,0	0,9	1,4	0,0
		2,0	34,3	34,6	34,1	21,0	21,0	21,0	0,5	1,0	0,0
0,0025	2,0	1,0	33,5	34,1	33,3	25,2	26,0	24,0	0,6	1,0	0,0
		2,0	33,7	34,7	33,1	23,8	25,0	23,0	0,8	1,4	0,0
0,0050	2,0	1,0	32,7	32,7	32,7	23,7	24,0	23,0	0,9	1,4	0,0
		2,0	32,9	33,5	32,7	23,5	24,0	23,0	0,4	1,4	0,0
0,0075	2,0	1,0	31,5	31,7	31,4	25,0	25,0	25,0	0,0	0,0	0,0
		2,0	33,2	33,8	32,5	22,6	23,0	22,0	0,5	1,0	0,0
0,0100	2,0	1,0	32,6	32,6	32,4	29,0	29,0	29,0	1,1	1,7	0,7
		2,0	32,6	32,7	32,4	28,2	29,0	28,0	1,2	2,0	0,3

VC: Volume de calda de água; T: Temperatura do ar; UR: Umidade relativa do ar; VV: Velocidade do vento; méd: Média; máx.: Máxima; min: Mínima. *Concentração de 0% considera apenas a aplicação de água, enquanto que nas demais concentrações, considera-se o polímero hidroretentor dissolvido na água

As condições microclimáticas relatadas somadas com as características supracitadas do material combustível na área de *E. urograndis*, indicam que o ambiente apresentava riscos de ignição e propagação do fogo podendo levar a ocorrências de incêndios florestais (Andreu et al., 2011; Hoffmann et al., 2012; Souza et al., 2012; Alves et al., 2017). Diante desse cenário ambiental, é importante o desenvolvimento de modelos de previsão do comportamento do fogo e métodos de combate com retardantes do fogo em áreas suscetíveis a incêndios florestais.

3.3 Comportamento do fogo

O comportamento do fogo descrito pela velocidade de propagação da linha de fogo (VP) e o comprimento das chamas (L), assim como suas taxas de redução (TRVP e TRL), apresentaram diferenças entre os tratamentos no desdobramento do fatorial triplo de concentrações, volumes de calda e tempos pós-aplicação do retardante (polímero hidrorretentor) (Tabela 4). A análise demonstra interação entre os fatores supracitados, e que no caso, em conjunto, a preparação e a aplicação do retardante do fogo influenciam na eficácia do retardante no comportamento do fogo.

Tabela 4. Comportamento do fogo e taxas de redução para aplicações do retardante polímero hidrorretentor em queimas controladas de *E. urograndis* (Clone H13) nas concentrações, volumes de calda e tempos pós-aplicação, em Sorriso- MT, Brasil

Concentração (%)	Volume de Calda (L m ⁻²)					
	0,5		1,0		2,0	
	Tempo pós-aplicação do retardante (horas)					
	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0
Comportamento do fogo						
VP (m min⁻¹)						
Controle	0,73 Ca	0,73 Ba	0,73 Ba	0,73 Ba	0,73 Ba	0,73 Ba
0*	0,52 Ba	0,65 Ba	0,39 Aa	0,55 Ba	0,20 Aa	0,30 Aa
0,0010	0,38 Aa	0,60 Bb	0,24 Aa	0,46 Ab	0,17 Aa	0,23 Aa
0,0025	0,35 Aa	0,52 Ba	0,21 Aa	0,41 Aa	0,13 Aa	0,17 Aa
0,0050	0,22 Aa	0,36 Aa	0,18 Aa	0,27 Aa	0,00 Aa	0,13 Aa
0,0075	0,29 Aa	0,31 Aa	0,16 Aa	0,28 Aa	0,00 Aa	0,08 Aa
0,0100	0,25 Aa	0,54 Bb	0,22 Aa	0,32 Aa	0,13 Aa	0,26 Aa
L (cm)						
Controle	86,76 Da	86,76 Ca	86,76 Da	86,76 Ca	86,76 Ca	86,76 Ba
0*	86,66 Da	87,00 Ca	70,00 Ca	70,00 Ba	32,50 Ba	40,00 Aa
0,0010	80,00 Da	85,00 Ca	51,67 Ba	63,33 Ba	30,00 Ba	33,33 Aa
0,0025	70,00 Ca	70,00 Ba	50,00 Ba	55,00 Aa	15,00 Ba	30,00 Aa
0,0050	40,00 Aa	45,00 Aa	30,00 Aa	43,00 Aa	0,00 Aa	30,00 Ab
0,0075	58,33 Ba	62,00 Ba	30,00 Aa	50,00 Ab	0,00 Aa	20,00 Ab
0,0100	70,00 Ca	90,00 Cb	35,33 Aa	53,00 Aa	23,33 Ba	23,33 Aa
TRVP (%)						
0*	28,36 Aa	11,88 Ba	47,12 Aa	25,07 Ba	72,90 Aa	58,82 Aa
0,0010	47,45 Aa	18,70 Bb	66,84 Aa	37,67 Bb	76,16 Aa	67,66 Aa
0,0025	51,94 Aa	29,30 Ba	71,39 Aa	44,49 Ba	81,55 Aa	76,93 Aa
0,0050	69,03 Aa	50,29 Aa	75,52 Aa	62,70 Aa	100,00 Aa	81,71 Aa
0,0075	59,75 Aa	57,89 Aa	77,21 Aa	61,42 Aa	100,00 Aa	89,08 Aa
0,0100	66,02 Aa	26,62 Bb	69,79 Aa	56,41 Aa	81,21 Aa	64,81 Aa
TRL (%)						
0*	0,38 Ca	0,38 Ca	19,54 Ca	19,54 Ba	62,54 Ba	54,02 Aa
0,0010	19,54 Ca	2,30 Ca	40,61 Ba	27,20 Ba	65,42 Ba	61,59 Aa
0,0025	8,05 Ca	19,54 Ba	42,53 Ba	36,78 Aa	82,71 Ba	65,52 Aa
0,0050	54,02 Aa	48,28 Aa	65,52 Aa	51,15 Aa	100,00 Aa	65,52 Ab
0,0075	32,95 Ba	29,12 Ba	65,52 Aa	42,53 Ab	100,00 Aa	77,01 Ab
0,0100	19,54 Ca	-3,45 Cb	59,77 Aa	50,19 Aa	73,11 Ba	73,18 Aa

*Concentração de 0% considera apenas a aplicação de água, enquanto que nas demais concentrações, considera-se o polímero hidrorretentor dissolvido na água; médias seguidas da mesma letra na linha (minúscula) e na coluna (maiúscula) não diferiram entre si pelo teste de Scott Scott-Knott ao nível de 5% de significância. VP (velocidade de propagação da linha do fogo), L (Comprimento das chamas), TVP (taxa de redução da velocidade de propagação da linha de fogo), TL (taxa de redução do comprimento das chamas), Controle (parcela sem aplicação de retardante/água).

As variáveis descritivas da propagação do fogo foram maiores no controle (sem aplicação de retardante ou água) em função da manutenção das condições reais de umidade do material combustível, apresentado VP de $0,73 \text{ m min}^{-1}$ e L de $86,76 \text{ cm}$. Esses valores foram semelhantes ao descrito por Alves et al. (2017) na mesma área de *E. urograndis* com 4,5 anos em agosto, quando observaram VP de $0,74 \text{ m min}^{-1}$ e L de 100 cm .

A aplicação apenas de água (concentração de 0% de retardante) foi mais eficaz que o controle, contudo apresenta redução do seu efeito na velocidade de propagação do fogo com o aumento do tempo após aplicação, independentemente do volume de água aplicado, em função da evaporação da água do material combustível (Alves et al., 2009; Bourne et al., 2015; Plucinski et al., 2017). Considerando apenas a aplicação de água, observa-se melhores respostas na redução do fogo quando ocorre aplicação de $2,0 \text{ L m}^{-2}$.

Considerando o tempo pós-aplicação 1,0 h, as concentrações mais eficientes do retardante foram 0,0050 e 0,0075%. Nesse caso, visando a economia de retardante a concentração de 0,0050% no volume de calda de $0,5 \text{ L m}^{-2}$ apresentou VP de $0,22 \text{ m min}^{-1}$ e L de 40 cm , todavia, no volume de calda a $2,0 \text{ L m}^{-2}$, ocorreu a extinção do fogo. Após 2,0 h da aplicação do retardante, ocorreu aumento de VP e L em todas as concentrações e volumes de calda, todavia, sem diferenças significativas nas concentrações de 0,0050 e 0,0075% a $2,0 \text{ L m}^{-2}$, respectivamente. Por conseguinte, a taxa de redução de VP e L apresentaram padrões dependentes do controle (sem aplicação de retardante ou água), entretanto foram de 100% nessas concentrações e volume de calda.

Nesse caso, o volume de calda foi determinante na redução ou extinção do fogo nas áreas de *E. urograndis*. Batista et al. (2008) em queimas controladas de *Pinus taeda*, verificaram que na aplicação de calda de $0,5 \text{ L m}^{-2}$ de retardante Phos-chek ocorreu a redução das variáveis de propagação do fogo, entretanto, o aumento da calda para $1,5 \text{ L m}^{-2}$ propiciou a extinção do fogo nas áreas.

Em conjunto com o volume de calda, a concentração empregada potencializou a eficiência do retardante, uma vez que inibiu a reação de combustão do material combustível e aumentou a retenção de umidade por um período prolongado (Ribeiro et al., 2006). O retardante dificultou a evaporação da água dos materiais combustíveis devido a liberação lenta da água presente nas moléculas do polímero hidrotentor (Balena, 1998; Ribeiro et al., 2006; Souza et al., 2012; Fiedler et al., 2015), aumentando a eficiência do retardante por um período prolongado.

Todavia, ressalta-se que a concentração de 0,0100% foi menos eficiente na redução do comportamento do fogo, sendo perceptível a formação de uma camada gelatinosa (ou grumos de gel) quando diluído em água (Balena, 1998). Essa aglomeração reduziu a penetração do retardante no interior do material combustível, e conseqüentemente, ocorreu a retenção de umidade apenas na camada superficial do material combustível, justificando a propagação do fogo, porém de forma mais lenta, todavia maior quando comparado com as concentrações de 0,0050 e 0,0075%. Esse comportamento diferiu de outros estudos com outros retardantes comerciais, nos quais indicam que o aumento da concentração de retardante do fogo como (exemplo o Phos-chek) tende a aumentar o efeito do produto na redução das variáveis descritivas do comportamento do fogo (Ribeiro et al., 2006; Canzian et al., 2016).

Com base nos resultados supracitados, determinou-se que as melhores eficiências do retardante foram obtidas no volume de calda de 2,0 L m⁻². Dessa forma, para definição da concentração ideal do polímero hidrotentor, foram ajustados modelos polinomiais com correlações superiores 90% para os dois tempos pós-aplicação (Figura 3).

Por meio da diferenciação dos polinômios quadráticos, observou-se que a concentração de 0,0060% permite melhores eficiências quando aplicadas em volume de calda de 2,0 L m⁻², permitindo indicar, o uso do polímero hidrotentor em aceiros químicos e/ou combate indireto do fogo, após 1,0 ou 2,0 h de aplicação sobre o material combustível de *E. urograndis*, com calda de 2,0 L m⁻². Souza et al. (2012), avaliando a aplicação de polímero para o mesmo volume de calda na concentração de 0,0100% sobre material combustível de capim gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.), constataram que o retardante foi eficiente até um dia após a aplicação sobre o material combustível, com posterior perda de eficiência na retenção de umidade. Dessa forma, as características do material combustível influenciam no tempo de máxima eficiência do polímero hidrotentor quando usado como retardante.

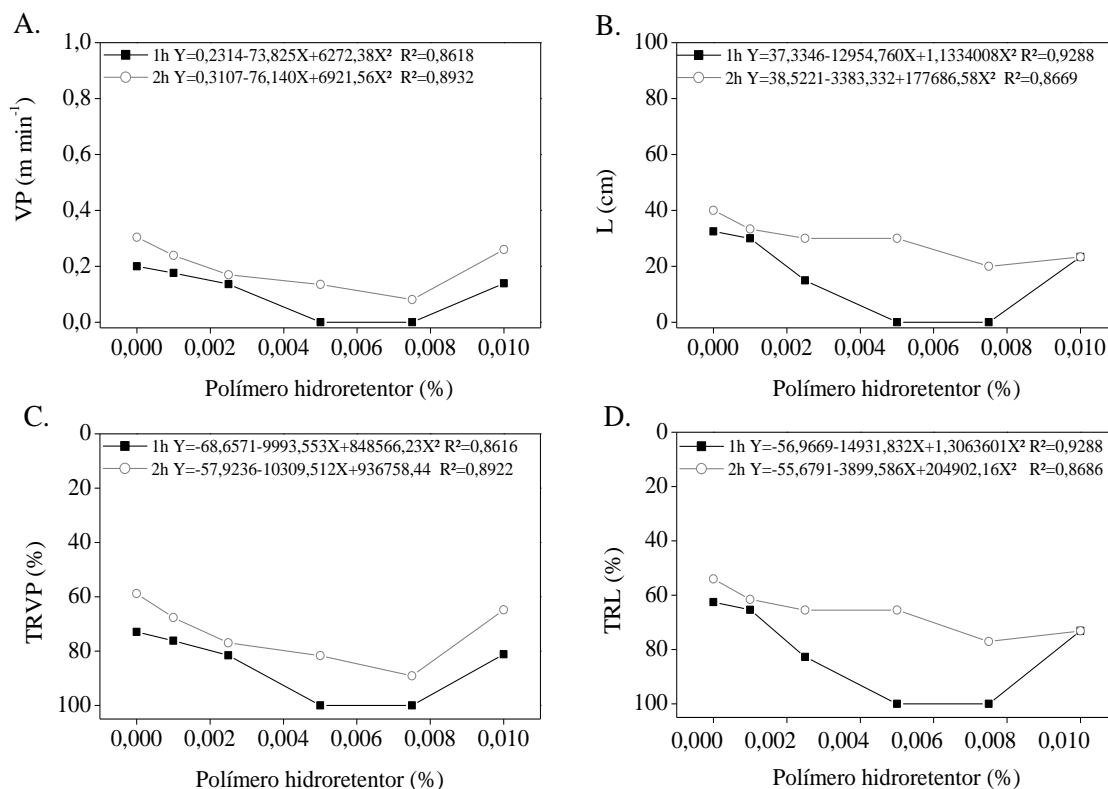


Figura 3. Correlações entre concentrações do retardante polímero hidroretentor com variáveis descritivas do comportamento do fogo em queimas controladas em áreas de *E. urograndis* (Clone H13), com volume de calda de 2,0 L m⁻², Sorriso-MT, Brasil. Velocidade de propagação da linha do fogo (VP) (A); comprimento das chamas (L) (B); taxa de redução da velocidade de propagação da linha de fogo (TVP) (C); taxa de redução do comprimento das chamas (TL) (D)

Na avaliação do material combustível remanescente pós-queima em resposta da aplicação do volume de calda de 2,0 L m⁻², observou-se que nas concentrações 0,0050 e 0,0075%, após 1,0 h houve em torno de 16,0 t ha⁻¹ de material combustível remanescente (MCR). Entretanto, nessas mesmas concentrações, após 2,0 h foram obtidos 4,2 e 6,0 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 4A). Foram observados 100% de MCR nessas mesmas concentrações após 1,0 h de aplicação do volume de calda de 2,0 L m⁻², contudo, após 2,0 h de aplicação houve redução do MCR para 30% (Figura 4B).

A massa de material combustível consumido (MCC) estimada pós-queima controlada variou de 12,0 a 25,0 t ha⁻¹ nas parcelas que receberam o retardante (Figura 4C). A estimativa percentual do material remanescente apresentou comportamento semelhante, para as concentrações de 0,0050 e 0,0075%, após 1,0 h de aplicação do retardante

consumiu aproximadamente 40% e após 2,0 h consumiu 80% do material combustível disponível na queima controlada (Figura 4D).

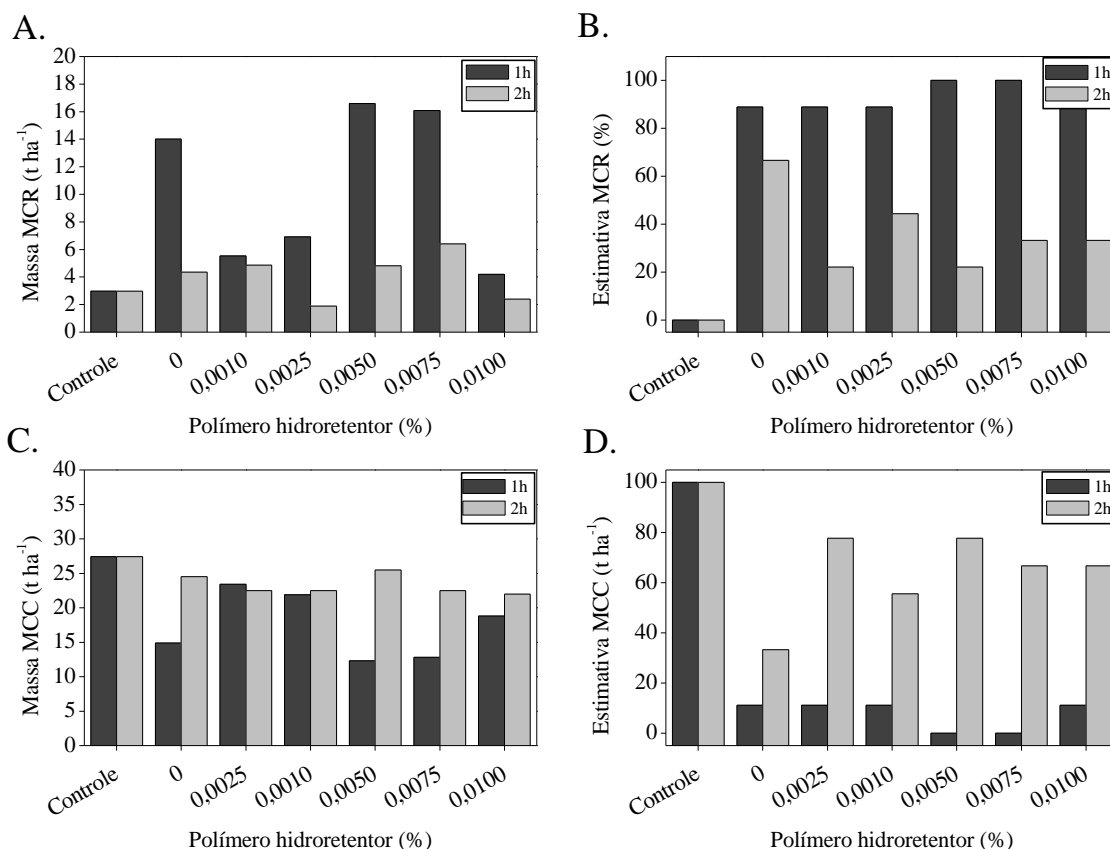


Figura 4. Massa seca de material combustível remanescente pós-queima (A), estimativa do percentual do material combustível remanescente pós-queima (B), massa seca estimada do material combustível consumido (C) e estimativa percentual do material combustível consumido (D) em queimas controladas em área de *E. urograndis* (Clone H13) no município de Sorriso-MT, Brasil

A quantidade de material combustível consumido no volume de calda de 2,0 L m⁻² foi semelhante ao relatado por Ribeiro et al (2006), que obtiveram em queima controlada de *Brachiaria decumbens*, após a aplicação do retardante Phos-chek no volume de calda de 1,2 L m⁻², material combustível disponível de aproximadamente 14,78 t ha⁻¹ e o material combustível consumido de 0,25 t ha⁻¹, mostrando que o material combustível não entrou em combustão. Contudo, Alves et al. (2017) em queimas controladas de *E. urograndis* (Clone H13) com 4,5 anos de idade em agosto, apresentou 95,62% de material consumido em queimas controladas sem aplicação de retardantes.

Por conseguinte, além da redução das variáveis descritivas do comportamento do fogo, as concentrações de 0,0050 e 0,0075% de retardante em calda de 2,0 L m⁻² foram as mais eficientes após 1,0 h de aplicação sobre o material combustível, uma vez que promoveram a preservação do material combustível na área, com perda de eficiência ao longo do tempo, visto que foram observadas reduções de VP e L, mas continuou havendo propagação do fogo com aumento do tempo total de queima da parcela. Esse comportamento também foi evidenciado em trabalhos de Ribeiro et al. (2006) e Canzian et al. (2016).

Destaca-se que nesse caso, a estimativa do percentual do material combustível não apresentou o mesmo padrão da massa seca de material remanescente, visto que a massa seca do material remanescente foi obtida em uma área de coleta de um 1,0 m² nas subparcelas da queima controlada, enquanto que, na estimativa visual do percentual de material remanescente considerou-se 9,0 m² (área útil da parcela). Dessa forma, pode ter ocorrido a queima de forma desigual na linha de fogo decorrentes das variações de altura e densidade de material combustível disponível e da distribuição desuniforme do retardante ao longo da parcela, que em conjunto, geraram zonas de umedecimento diferentes do material combustível ao longo da parcela experimental.

4 CONCLUSÃO

1. O polímero hidrotentor pode ser usado como retardante de fogo e apresenta maior eficiência em queimas controladas de resíduos de *E. urograndis*, quando aplicado em calda de 2,0 L m⁻² com concentração de 0,0060%.

2. O incremento do volume de calda aumenta a eficiência de retardante de fogo, todavia, ressalta-se que a disponibilidade de água pode ser um fator limitante no combate a incêndios florestais.

3. O uso do polímero hidrotentor como retardante de fogo em áreas de eucalipto deve ser baseado em tomadas de decisão que considerem a máxima eficiência do produto em 60 minutos após a aplicação da calda.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almed, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization and applications: A review. *Journal of Advanced Research*, v.6, p.105-121, 2015.

- Almeida, E. J.; Luizão, F.; Rodrigues, D. J. Produção de serrapilheira em florestas intactas exploradas seletivamente no sul da Amazônia em função da área basal da vegetação e da densidade de plantas. *Acta Amazonica*, v.45, n.2, p.157-166, 2015.
- Alves, L. J. S.; Souza, A. P.; Stangerlin, D. M.; Casavecchia, B. H.; Carmo, F. H. D. J.; Bouvié, L.; Borella, D. R.; Dias, T. K. R.; Silva, C. C.; Martim, C. C.; Ferneda, B. G. Fire Behavior in *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) Forest in Cerrado-Amazon Transition, Brazil. *Australian Journal of basic and applied sciences*, v.11, n.4, p.60-71, 2017.
- Andreu, A. G.; Shea, D.; Parresol, B. R.; Ottmar, R. D. Evaluating fuel complexes for fire hazard mitigation planning in the southeastern United States. *Forest Ecology and Management*, v.273, p.4-16, 2011.
- Andry, H.; Yamamoto, T.; Irie, T.; Moritani, S.; Inoue, M.; Fujiyama, H. Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality. *Journal of Hydrology*, v.373, p.177-183, 2009.
- Arruda, F. V.; Souza, D. G.; Teresa, F. B.; Prado, V. H. M.; Cunha, H. F.; Izzo, T. J. Trends and gaps of the scientific literature about the effects of fire on Brazilian Cerrado. *Biota Neotropica*, v.18, n.1, p.1-7, 2018.
- Backer, D.; Jensen, S. E.; McPherson, G. R. Impacts of Fire-Suppression Activities on Natural Communities. *Conservation Biology*, v.18, n.4, p.937-946, 2004.
- Balena, S. P. Efeito de polímeros hidroretentores nas propriedades físicas e hidráulicas de dois meios porosos. Curitiba: UFPR, 1998. 57p. Dissertação Mestrado
- Barlow, J.; Gardner, T. A.; Ferreira, L. V.; Peres, C. A. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, v.247, p.91-97, 2007.
- Bartieres, E. M. M.; Carnevali, N. H. S.; Lima, E. S.; Carnevali, T. O.; Mallmann, V. Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional de plantas híbridas de eucalipto. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.36, n.86, p.145-151, 2016.
- Basset, M.; Leonard, S. W. J.; Chia, E. K.; Clarke, M. F.; Bennett, A. F. Interacting effects of fire severity, time since fire and topography on vegetation structure after wildfire. *Forest Ecology and Management*, v.396, p.26-34, 2017.
- Batista, A. C.; Beutling, A.; Pereira, J. F. Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. *Revista Árvore*, v.37, n.5, p.779-787, 2013.

- Batista, A. C.; Martini, A.; Pereira, J. F.; Ferreira, J. Avaliação da eficiência de um retardante de longa duração, à base de polifosfatoamônico, em queimas controladas em condições de laboratório. *Scientia Forestalis*, v.36, n.79, p.223-229, 2008.
- Bourne, A. E.; Haigh, A. M.; Ellsworth, D. S. Stomatal sensitivity to vapour pressure deficit relates to climate of origin in *Eucalyptus* species. *Tree Physiology*, v.35, p.266-278, 2015.
- Bowman, D. M. J. S.; Murphy, B. P.; Boer, M. M.; Bradstock, R. A.; Cary, G. J.; Cochrane, M. A.; Fensham, R. J.; Krawchuk, M. A.; Price, O. F.; Williams, R. J. Forest fire management, climate change, and the risk of catastrophic carbon losses. *Frontiers in Ecology and Environment*, v.11, n.2, p.66-68, 2013.
- Brando, P. M.; Nepstad, D. C.; Balch, J. K.; Bolker, B.; Christman, M. C.; Coe, M.; Putz, F. Fire-induced tree mortality in a neotropical forest: the roles of bark traits, tree size, wood density and fire behavior. *Global Change Biology*, v.18, p.630-641, 2012.
- Canzian, W. P.; Fiedler, N. C.; Brinate, I. B.; Juvanhol, R. S.; Bichi, K. N. Diferentes concentrações de retardante de fogo em plantios de eucalipto. *Revista Nativa*, v.4, n.4, p.195-198, 2016.
- Canzian, W. P.; Fiedler, N. C.; Loureiro, E. B.; Berude, L. C. Eficiência do uso da água em métodos de combate a incêndios em florestas plantadas. *Revista Nativa*, v.6, n.3, p.309-312, 2018.
- Carmo, F. H. D. J.; Souza, A. P.; Casavecchia, B. H.; Volpato, M.; Bouvié, L.; Silva, C. C. Litter balance in areas of *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) in a Cerrado-Amazon transition of Mato Grosso state, Brazil. *Ciência e Natura*, v.40, n.39, p.1-14, 2018.
- Chenney, N. P.; Gould, J. S.; McCaw, W. L.; Anderson, W. R. Predicting fire behaviour in dry eucalypt forest in southern Australia. *Forest Ecology and Management*, v.280, p.120-131, 2012.
- Coen, J. L.; Cameron, M.; Michalakes, J.; Patton, E. G.; Riggan, P. J.; Yedinak., K. M. WRF-Fire: Coupled Weather–Wildland Fire Modeling with the Weather Research and Forecasting Model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v.52, p.16-38, 2013.
- Corrêa, R. S.; Schumacher, M. V.; Momolli, D. R. Deposição de serrapilheira e macronutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden sobre pastagem natural degradada no Bioma Pampa. *Scientia Forestalis*, v.41, n.97, p.65-74, 2013.
- Dietrich, J. P.; Gaest, A. L. V.; Strickland, S. A.; Hutchinson, G. P.; Krupkin, A. B.; Arkoosh, M. R. Toxicity of PHOS-CHEK LC-95A and 259F fire retardants to ocean-

- and stream-type Chinook salmon and their potential to recover before seawater entry. *Science of the Total Environment*, v.490, p.610-621, 2014.
- Diniz, A. R.; Pereira, M. G.; Loss, A. Produção de serrapilheira em florestas intactas e exploradas seletivamente no sul da Amazônia em função da área basal da vegetação e da densidade de plantas. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.31, n.65, p.19-26, 2011.
- Eloy, E.; Caron, B. O.; Behling, A.; Elli, E. F.; Monteiro, G. C. Influência do espaçamento na interceptação de radiação do dossel vegetativo de espécies arbóreas. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, n.14, p.683-691, 2012.
- Fernández-Fernández, M.; Gómez-Rey, M. X.; González-Prieto, S. J. Effects of fire and three fire-fighting chemicals on main soil properties, plant nutrient content and vegetation growth and cover after 10 years. *Science of the Total Environment*, v.515-516, p.92-100, 2015.
- Fiedler, N. C.; Canzian, W. P.; Mafia, R. G.; Ribeiro, G. A.; Junior, J. K. Intensidade de queima de diferentes retardantes do fogo. *Revista Árvore*, v.39, n.4, p.691-696, 2015.
- Filho, J. D. C. S.; Ribeiro, A.; Costa, M. H.; Cohen, J. C. P. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. *Acta Amazonica*, v.53, n.2, p.223-229, 2005.
- Filho, C. M.; Martins, M. C.; Ribeiro, G. A.; Lima, G. S.; Cardoso, M. T.; Torres, C. M. M. E.; Pinto, F. B. Eficiência de um retardante de fogo de longa duração utilizado em incêndios florestais. *Ciência Florestal*, v.22, n.2, p.365-371, 2012.
- Flores, B. M.; Holmgren, M.; Xu, C.; Nes, E. H. V.; Jakovac, C. C.; Mesquita, R. C. G.; Scheffer, M. Floodplains as an Achilles' heel of Amazonian forest resilience.
- Freeman, J.; Kobziar, L.; Rose, E.; Cropper, W. A critique of the historical-fire-regime concept in conservation. *Conservation Biology*, v.31, n.5, p. 976-985, 2017.
- Gould, J. S.; McCaw, W. L.; Cheney, N. P. Quantifying fine fuel dynamics and structure in dry eucalypt forest (*Eucalyptus marginata*) in Western Australia for fire management. *Forest Ecology and Management*, v.262, n.3, p.531-546, 2011. *National Academy of Sciences*, v.114, n.17, p.4442-4446, 2017.
- Hoffmann, W. A.; Jaconis, S. Y.; Mckinley, K. L.; Geiger, E. L.; Gotsch, S. G.; Franco, A. C. Fuels or microclimate? Understanding the drivers off ire feedbacks at savana-forest boundaries. *Austral Ecology*, v.37, p.634-643, 2012.
- Lima, D. C.; Borella, D. R.; Casavecchia, B. H.; Bouvié, L.; Carmo, F. H. J.; Souza, A. P. Comportamento do fogo em diferentes interfaces ambientais de uma plantação de

- Eucalyptus urograndis*. In: Seminário de gestão de incêndios florestais, 3, 2017, Cuiabá. Anais... Cuiabá: SGIF, 2017.
- Lioudakis, S.; Lois, D.; Gakis, D. The effect of $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on the spontaneous ignition properties of *Pinus halepensis* pine needles. Fire Safety Journal, v.31, n.5, p.481-494, 2002.
- Mateus, F. A.; Miranda, C. C.; Valcarcel, R.; Figueiredo, P. H. A. Estoque e capacidade de retenção hídrica da serrapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na Mata Atlântica. Revista Floresta e Ambiente, v.20, n.3, p.336-343, 2013.
- Medeiros, M. B.; Fiedler, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. Ciência Florestal, v.14, n.2, p.157-168, 2004.
- Moritz, M. A.; Barllori, E.; Bradstock, R. A.; Gill, A. M.; Handmer, J.; Hessburg, P. F.; Leonard, J.; McCaffrey, S.; Odion, D. C.; Schoennagel, T.; Syphard, A. D. Learning to coexist with wildfire. Nature, v.515, n.6, p.58-66, 2014.
- Navroski, M. C.; Araújo, M. M.; Reininger, L. R. S.; Muniz, M. F. B. M.; Pereira, M. O. Influência do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. Revista Floresta, v.45, n.2, p.315-328, 2015.
- Nepstad, D. C.; Stickler, C. M.; Soares-Filho, B.; Merry, F. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. Philosophical Transactions of The Royal Society, v.363, p.1237-1746, 2008.
- Parizotto, W.; Soares, R. V.; Batista, A. C.; Souza, N. J. Controle dos incêndios florestais pelo corpo de bombeiros de Santa Catarina: Diagnóstico e sugestões para seu aprimoramento. Floresta, v.38, n.4, p.651-661, 2008.
- Plucinski, M. P.; Sullivan, A. L.; Hurley, R. J. A methodology for comparing the relative effectiveness of suppressant enhancers designed for the direct attack of wildfires. Fire Safety Journal, v.87, p.71-79, 2017.
- Ribeiro, G. A.; Lima, G. S.; Oliveira, A. L. S.; Camargos, V. L.; Magalhães, M. U. Eficiência de um retardante de longa duração na redução da propagação do fogo. Revista Árvore, n.30, n.6, p.1025-1031, 2006.
- Rothermel, R.C., 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service, Ogden. 40p.

- Sanches, L.; Valentini, C. M. A.; Biudes, M. S.; Nogueira, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.2, p.183-189, 2009.
- Schumacher, M. V.; Witschoreck, R.; Calil, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. *Ciência Florestal*, v.21, n.1, p.17-22, 2011.
- Seger, C. D.; Batista, A. C.; Tetto, A. F.; Soares, R. V. Comportamento do fogo em queimas controladas de vegetação de estepe no município de Palmeira, Paraná, Brasil. *Revista Floresta*, v.43, n.4, p.547-558, 2013.
- Soares, R. V.; Batista, A. C. Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo. 1.ed. Curitiba, 2007. 250p.
- Song, U.; Mun, S.; Waldman, B. Effects of Three Fire-Suppressant foams on the germination and physiological responses of plants. *Environmental Management*, v.54, p.865-874, 2014.
- Souza, A. P.; Casavecchia, B. H.; Stangerlin, D. M. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões norte e noroeste da Amazônia Matogrossense. *Scientia plena*, v.8, n.5, p.1-14, 2012.
- Souza, A. P.; Mota, L. L.; Zamadei, T.; Martim, C. C.; Almeida, F. T.; Paulino, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Revista Nativa*, n.1, v.1, p.34-43, 2013.
- Souza, H. N.; Araújo, T. G.; Ribeiro, G. A. Avaliação da eficiência de um gel hidrotentor como retardante de fogo. *Revista Árvore*, v.36, n.3, p.471-477, 2012.
- Walker, R. B.; Coop, J. D.; Parks, S. A.; Trader, L. Fire regimes approaching historic norms reduce wildfire-facilitated conversion from forest to non-forest. *Ecosphere*, v.9, n.4, p.1-17, 2018.
- Xu, Z.; Zhou, G.; Shimizu, H. Plant responses to drought and rewatering. *Plant Signaling & Behavior*, v.5, n.6, p.649-654, 2010.
- Yebra, M.; Dennison, P. E.; Chuvieco, E.; Riaño, D.; Zylstra, P.; Hunt Jr., E. R.; Danson, F. M.; Qi, Y.; Jurdao, S. A global review of remote sensing of live fuel moisture content for fire danger assessment: Moving towards operational products. *Remote Sensing of Environment*, v.136, p.455-468, 2013.

Volume de calda e concentração de retardantes do fogo em queimas controladas em área de eucalipto na transição Cerrado-Amazônia

Resumo: No combate de incêndios florestais a utilização de retardantes químicos do fogo é um método importante e eficaz na redução e até mesmo a extinção dos incêndios nas áreas. Entretanto, a recomendação ideal em relação ao preparo dos retardantes é importante para redução de gastos e riscos ambientais com aplicações excessivas. Objetivou-se avaliar a eficiência de retardantes do fogo em queimas controladas em áreas de *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (Clone H13) de 6,0 anos de idade, por meio da aplicação de diferentes concentrações de produto e volumes de calda, após 1 h de aplicação dos retardantes. Foram avaliados três retardantes: dois comerciais (Phos-Chek® e Hold Fire®) e um alternativo (polímero hidrotentor), com 5 concentrações cada (segundo as recomendações dos fabricantes) e nos volumes de calda de 0,5; 1,0 e 2,0 L m⁻². Foram avaliadas a velocidade de propagação da linha do fogo, comprimento de chama e suas respectivas taxas de redução, material combustível remanescente pós-queima e consumido em resposta ao efeito dos retardantes com água, apenas água e sem aplicação (controle). Para todos os retardantes o aumento do volume de calda propiciou maior eficácia do produto na redução do comportamento do fogo, sendo recomendado a aplicação de calda equivalente a 2,0 L m⁻². Entretanto, a concentração ideal variou de acordo com o produto, sendo recomendado 1,0; 1,5; 0,0060% para Phos-Chek, Hold Fire e polímero hidrotentor, respectivamente. O Phos-chek e o Hold Fire apresentaram modelos lineares, com o aumento da concentração melhorou a eficácia do retardante, porém o polímero hidrotentor apresentou modelos polinomiais mostrando o valor ideal da concentração a ser aplicada.

Palavras-chave: phos-chek, hold fire, polímero hidrotentor, comportamento do fogo

Volume of the syrup and the concentration of fire retardants in prescribed burnings in the eucalypto area in the Cerrado-Amazon transition

Abstract: In firefighting, the use of chemical fire retardants is an important and effective method in reducing and even extinguishing fires in areas. However, the ideal recommendation for the preparation of the retardants is important for reducing

environmental costs and risks with excessive applications. The objective of this study was to evaluate the efficiency of fire retardants in controlled burning in areas of 6.0 years old *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (Clone H13) by applying different concentrations of product and volumes after 1 h of retarders application. Two commercially available retarders (Phos-Chek® and Hold Fire®) and an alternative (hidroretentor polymer) were tested with 5 concentrations each (following manufacturers' recommendations) and in syrup volumes of 0.5; 1.0 and 2.0 L m⁻². The fire speed propagation rate, flame length and their respective reduction rates were evaluated, the fuel material remaining after burning and consumed in response to the effect of the retarders with water, only water and without application (control). For all the retardants, the increase of syrup volume promoted a greater efficiency of the product in the reduction of the fire behavior, being recommended the application of syrup equivalent to 2.0 L m⁻². However, the ideal concentration varied according to the product, with being recommended 1.0; 1.5; 0.0060% for Phos-Chek, Hold Fire and hidroretentor polymer, respectively. The Phos-chek and Hold Fire presented linear models, with increased concentration improved retarder efficacy, but the hidroretent polymer presented polynomial models showing the ideal concentration value to be applied.

Key words: phos-chek, hold fire, polymer hidroretentor, fire behavior

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são eventos preocupantes em escala global, regional e local, em função dos inúmeros impactos econômicos, sociais e ambientais que geram nas áreas afetadas (Fiedler et al., 2006; Koproski et al., 2011; Moritz et al., 2014; Silva et al., 2018). Além disso, adversidades climáticas envolvendo o aumento da temperatura com secas extremas, em conjunto com ações antrópicas tem intensificado a frequência e a severidade dos incêndios florestais em muitos países (Bowman et al., 2009; Enright et al., 2015).

Os prejuízos econômicos gerados por incêndios florestais, envolvem dentre outros, a redução da produtividade em florestas nativas (Soares & Santos, 2002; Seger et al., 2013; Guimarães et al., 2014; Machado-Neto et al., 2017) e plantações florestais (Soares & Santos, 2002; Tetto et al., 2012). Em geral, em áreas ocupadas de *Eucalyptus*, a suscetibilidade aos incêndios florestais decorre principalmente da grande capacidade de

formação de serrapilheira, que apresenta alta deposição e lenta decomposição, formando camadas contínuas e espessas, associado ainda, as condições edafoclimáticas (umidade e temperatura do ar, precipitação, topografia e tipo de solo).

Algumas técnicas têm sido desenvolvidas para a prevenção e o combate de incêndios florestais considerando variáveis descritivas do comportamento do fogo descrito (como a velocidade de propagação da linha do fogo e o comprimento de chamas) inerentes aos ambientes em que o fogo se desenvolve (Soares & Batista, 2007; Batista et al., 2013). Dentre as diferentes técnicas, a implantação de aceiros químicos é importante no combate ao fogo pela linha de frente, e consistem de faixas com aplicação de retardantes do fogo na frente da linha de fogo conhecendo sua velocidade de propagação (Ribeiro et al., 2006; Plucinski & Pastor, 2013).

Os retardantes do fogo são produtos químicos usados no combate a incêndios florestais em associação com a água, geralmente compostos por sulfato e/ou fosfato de amônia (Canzian et al., 2016; Plucinski et al., 2017). Esses produtos agem na inibição da flamabilidade do material combustível, retendo a umidade por um período mais prolongado e impossibilitam a liberação dos gases que influenciam no pré-aquecimento e conseqüentemente na combustão do material combustível (Ribeiro et al., 2006; Batista, 2008). Os retardantes são utilizados para aumentar a eficiência do uso da água nos combates, visto que a água tende a evaporar com o tempo pós-aplicação e com a presença do calor proveniente da linha de fogo (Liodakis et al., 2002; Ribeiro et al., 2006; Batista et al., 2008).

O emprego dos retardantes, em geral, permitem boas respostas no combate a incêndios florestais, entretanto, ainda existem alguns inconvenientes envolvendo problemas como contaminações ambientais (Barreiro et al., 2010; Dietrich et al., 2014; Song et al., 2014), custos onerosos (Filho et al., 2012), e em especial, a falta de informações referentes a preparação e aplicação dos retardantes em relação a volumes de calda e concentrações nas áreas em função do material combustível (Ribeiro et al., 2006; Fiedler et al., 2015; Plucinski et al., 2017; Filho et al., 2012). Estas informações podem fornecer recomendações ideais para o emprego dos produtos no combate dos incêndios, com redução de gastos e menos riscos ambientais de aplicações excessivas.

Neste contexto, objetivou-se avaliar a eficiência de retardantes do fogo em diferentes concentrações e volumes de calda na redução do comportamento do fogo em queimas controladas em área de *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (Clone H13), com 6,0 anos de idade, na transição Cerrado-Amazônia do Mato Grosso. Destaca-se que

não se buscou a comparação entre produtos, visto que os princípios ativos e classificações comerciais são distintas, e além disso, optou-se pela avaliação de um produto alternativo como retardante (polímero hidroretentor sintético a base poliacrilamida).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Fazenda Santo Antônio – UPL3, pertencente a Companhia Brasil Foods S.A. (BRF), em Sorriso-MT (12°51'35,04" S e 55°52'33,54" W, com relevo plano e altitude de 365 m), entre julho e agosto de 2017 (Figura 1). A área experimental está inserida na mesorregião do estado de transição dos biomas Cerrado e Amazônia. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo tropical quente e úmido (Aw), com duas estações hídricas bem definidas: seca (maio a setembro) e chuvosa (outubro a abril); com precipitação média anual de 1900 mm, temperatura média mensal do ar variando entre 22,0 a 25,0 °C (Souza et al., 2013).

O experimento foi desenvolvido no centro de um talhão de *E. urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (Clone H13), com idade de 6,0 anos, implantado no espaçamento de 3,0 x 3,0 m (linha x entrelinha), com altura total das árvores de aproximadamente 26,0 m e percentual médio de ocupação de copa de 62,0%. A área experimental apresenta a leste um fragmento de floresta nativa ripária e a oeste lavoura com cultivos sucessivos de soja, milho e algodão.

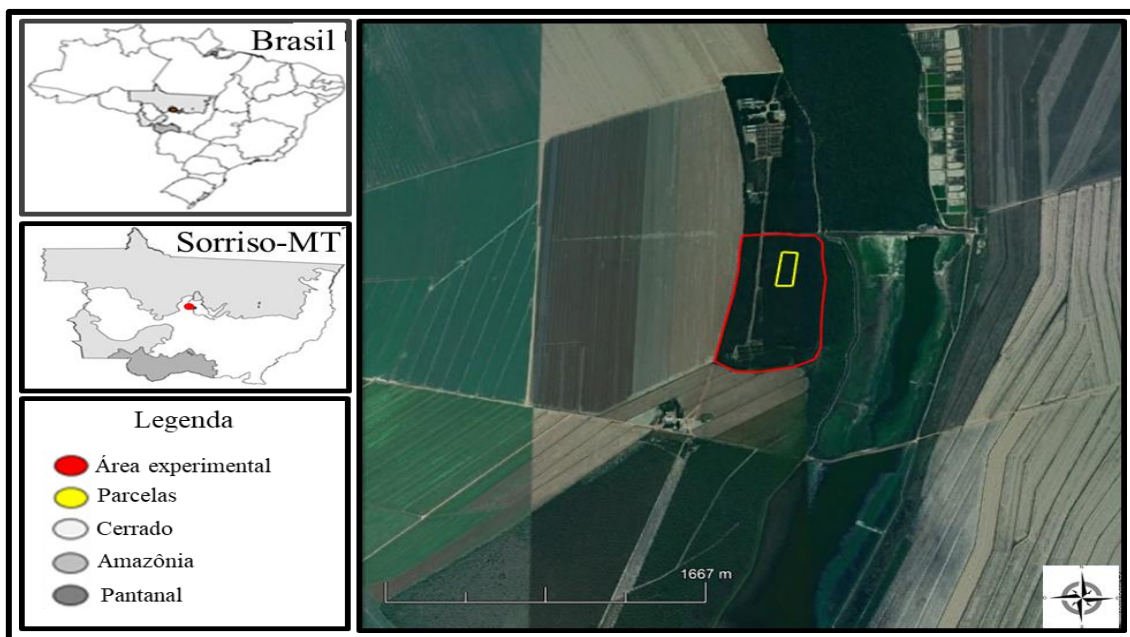


Figura 1. Localização da área experimental de *E. urograndis* (Clone H13) em Sorriso-MT, Brasil

Para a avaliação da eficiência dos retardantes do fogo na redução do comportamento do fogo o delineamento experimental escolhido foi de parcelas subdivididas, em blocos casualizados. Os tratamentos foram constituídos do arranjo fatorial de 2 níveis para cada produto retardante avaliado: 6 x 3 (concentrações de retardante x volumes de calda), a distribuição dos tratamentos nos blocos ocorreu por sorteio, perfazendo três repetições por tratamento.

Foram instaladas parcelas de 25,0 x 3,0 m para realização das queimas controladas, delimitadas por aceiros de 1,0 m de largura para impedir a passagem do fogo as demais áreas (Alves et al., 2017). Essas parcelas foram divididas em subparcelas de 3,0 x 3,0 m (comprimento x largura), intercaladas sem e com a aplicação dos retardantes de chamas. As subparcelas foram seccionadas em pontos de observação do comportamento do fogo (Figura 3A) a cada 1,0 m. As subparcelas foram separadas por zonas de transições de 1,0 x 3,0 m (comprimento x largura) para a eliminação de resíduos de retardantes provenientes das subparcelas com retardante para as subparcelas sem retardante (Figura 2).

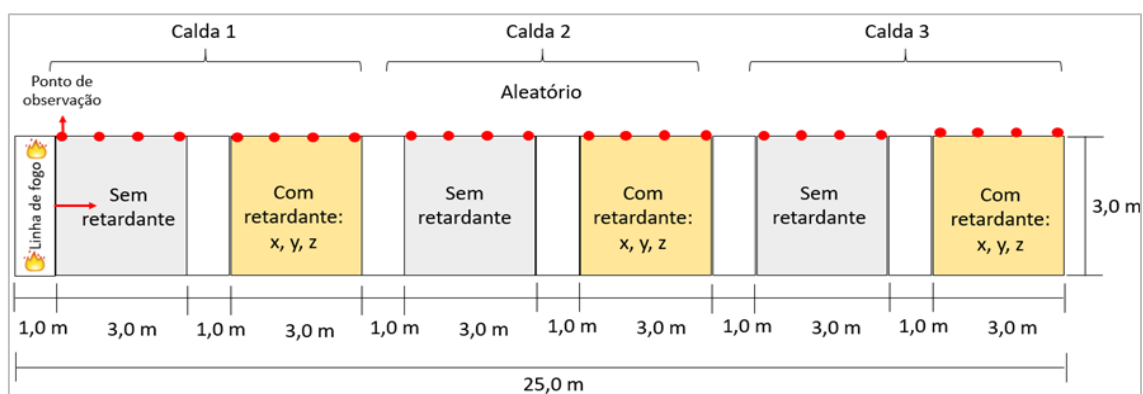


Figura 2. Croqui das parcelas de queima controlada em área de *E. urograndis* (Clone H13) em Sorriso-MT, Brasil

Antes das realizadas queimas controladas, realizou-se a análise do material combustível disponível por meio de coletas aleatórias de amostras destrutivas de 1,0 x 1,0 m (comprimento x largura) em áreas distantes em no máximo 3,0 m das parcelas, na mesma linha de plantio (Figura 3B). Nessas amostras foram obtidas a espessura média da camada de material combustível, e posteriormente, ocorreu a separação das partições vegetais nas seguintes classes: i) Material combustível morto (seco): folha, casca, galhos com diâmetro (d) $< 0,7$ cm (G1), e galhos com $0,7 \leq d \leq 2,5$ cm (G2); ii) Material combustível vivo (úmido): plantas herbáceas e gramíneas (MH) (Alves et al., 2017)

(Figura 3C). Foram realizadas medida no campo para obtenção da massa fresca úmida, com posterior secagem em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C (± 2 °C), até atingir a massa constante, para a determinação da massa seca e do teor de umidade do material combustível (Alves et al., 2017).

Para a avaliação da eficiência dos retardantes (no comportamento do fogo, empregou-se delineamento experimental em parcelas subdivididas, em blocos casualizados. Para cada produto (retardante) foram constituídos arranjos fatoriais de 6 x 3 (concentrações de retardante x volumes de calda), com três repetições.

Nas subparcelas foram aplicados três retardantes do fogo associados a água, sendo dois comerciais (Phos-Chek® e Hold Fire®) e um alternativo (polímero hidrotentor – Nutrigel®), além das referências (somente água e sem aplicação). As recomendações de aplicação dos seus fabricantes para os produtos comerciais são: i) Phos-chek WD881, retardante classe A espumoso, de longa duração, constituído da solução de sulfonato de α -olefina, 2,4-pentanodiol, 2-metil, água, álcool laurílico e *d*-limoneno, aplicado nas concentrações de 0 (água); 0,1; 0,3; 0,6; 0,8 e 1,0 %. ii) Hold Fire, retardante classe A oleaginoso, constituído de óleos orgânicos, polímeros higroscópicos e surfactantes, aplicado nas concentrações de 0 (água); 0,7; 0,9; 1,1; 1,3 e 1,5%.

O produto alternativo (polímero hidrotentor), não possui recomendação para uso como retardante de fogo, e são comercialmente conhecidos como “hidrogéis”, com recomendação técnica para uso na implantação de áreas agrícolas ou florestais, visto é um condicionador hídrico do solo constituído de moléculas orgânicas (poliacrilamida, metilcelulose, dentre outros). Nesse caso, o produto usado foi o Nutrigel®, que apresenta 27,80; 49,70; 8,70 e 18,10 % de CaO, CaCO₃, MgO e MgCO₃, com poder de neutralização de 67,50% (perfazendo em classificação semelhante a calcário dolomítico) e polímeros sintéticos de poliacrilamida. Após avaliação do entupimento de bicos de pulverizados costais e motorizados, foram definidas as concentrações para avaliação do produto de 0,0010; 0,0025; 0,0050; 0,0075 e 0,010%, correspondentes a variações entre 0,1 e 1,0 g de polímero por litro de água.

As concentrações dos retardantes do fogo avaliadas considerando aplicações nos volumes de calda de 0,5; 1,0 e 2,0 L m⁻² (Figura 3D), por meio de pulverizações sobre o material combustível das parcelas com uma bomba costal anti-incêndio, dispondo de um bico de abertura tipo leque (Figura 3E) para aumentar a uniformidade de aplicação.



Figura 3. Etapas do experimento com a instalação das parcelas (A), amostragem de serrapilheira (B), separação de classes (C), preparação dos retardantes (D), aplicação dos retardantes nas subparcelas (E), controle de variáveis micrometeorológicas (F), avaliação do comportamento do fogo (G) e avaliação de material combustível remanescente (H), em área de *E. urograndis* (Clone H13 em Sorriso-MT, Brasil)

As variáveis meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento) foram monitoradas a cada minuto durante a realização das queimas controladas com uma estação meteorológica automática portátil com datalogger (Instrutemp Weather Station model ITH1080), instalada a 2,0 m de altura, no centro do talhão de *E. urograndis* (Figura 3F).

As queimas controladas foram realizadas a favor do vento entre as 10 e 14 h (horário solar), horários de maior espalhamento do fogo (Torres et al., 2010) e com poucas variações dos elementos meteorológicos pelo ângulo zenital (Lima et al., 2017), após 1,0 hora de aplicação dos retardantes nas subparcelas e consideradas a favor do vento. Foram obtidos os parâmetros velocidade de propagação da linha do fogo (“VP” em m min^{-1}), cronometrando o tempo de percurso da linha de fogo entre dois pontos de observações consecutivos; e o comprimento das chamas (“L” em cm), por meio da estimativa visual com uma régua fixada junto ao ponto de observação no momento da passagem do fogo (Figura 2G). Posteriormente, foram calculadas as taxas de redução de VP (TRVP) e L (TRL), considerando como referência as subparcelas que não receberam os produtos ou a água.

O material combustível remanescente pós-queima foi coletado com amostras aleatórias de 1,0 x 1,0 m (comprimento x largura) nas subparcelas queimadas (Figura 3H), sendo posteriormente, submetidas a secagem em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C (± 2 °C), até atingir a massa constante, para a determinação da massa seca e conseqüentemente a densidade de material combustível remanescente (MCR) em t ha^{-1} . O Material combustível consumido (MCC) foi obtido por meio da diferença entre o material combustível disponível antes da queima e o material remanescente pós-queima. Adicionalmente, realizou-se a estimativa visual do percentual de área ocupada com material combustível remanescente pós-queima nas subparcelas.

Os dados submetidos a análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. Posteriormente, realizou-se a análise de variância (ANOVA) dos fatores e suas interações (concentrações x volumes de calda dos retardantes) para cada produto, e quando observadas diferenças significativas entre as médias, aplicou-se o teste de Scott-Knott ao nível de significância de 5%. A concentração ideal do retardante em cada volume de calda para cada retardante do fogo foi obtida por meio de análises de regressão (lineares e/ou polinomiais quadráticas), entre as variáveis do comportamento do fogo (variável independente) e concentrações de cada produto (variável dependente).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Material combustível disponível

A homogeneidade do material combustível entre os tratamentos foi necessária para a avaliação da eficiência dos retardantes do fogo (Phos-chek, Hold Fire e polímero hidroretentor) na redução do comportamento do fogo sem interferências de fatores externos. Conforme esperado, não foram observadas diferenças significativas nas características da serrapilheira (material combustível) das variações das partições vegetais descritas pela espessura da camada, percentagem das classes dos resíduos vegetais, massa seca e o teor de umidade nas parcelas utilizadas para a avaliação das concentrações de cada retardante e suas interações com o volume de calda na aplicação (Tabela 1).

A espessura média da camada de material combustível foi de 9,46; 9,00 e 0,42 cm para as parcelas de Phos-chek, Hold Fire e polímero hidroretentor, respectivamente. Em relação as classes do material combustível, as folhas tiveram maior percentagem na constituição da serrapilheira, com média de 41,05% (variando de 38,02 a 43,16%); 43,32% (variando de 39,11 a 50,84%) e 41,24% (variando de 34,51 a 46,90%), galhos médios (classe G2) com 31,06% (variando de 24,50 a 35,02%); 25,95% (variando de 21,10 a 34,57%) e 31,67% (variando de 26,91 a 41,37%), galhos finos (classe G1) com média de 17,45% (variando de 14,19 a 24,41%); 17,08% (variando de 15,15 a 20,11%) e 16,55% (variando de 13,16 a 21,53%), em todas as classes na ordem dos retardantes Phos-chek, Hold Fire e polímero hidroretentor, respectivamente.

As demais classes, cascas e material herbáceo (classe MH) tiveram pouca representatividade, a casca com média de 8,78% (variando de 4,31 a 10,97%); 7,91% (variando de 5,92 a 10,97%) e 8,31% (variando de 7,11 a 10,97%), e MH com média de 2,44% (variando de 0,9 a 3,51%); 3,43% (variando de 1,88 a 4,81%) e 3,31% (variando de 1,88 a 4,92%) para os retardantes Phos-chek, Hold Fire e polímero hidroretentor, respectivamente.

A distribuição percentual das classes do material combustível foram similares a outras pesquisas desenvolvidas no levantamento de serrapilheira em florestas nativas secundárias na transição Cerrado-Amazônia (Barlow et al., 2007; Mateus et al., 2013; Almeida et al., 2015; Carmo et al., 2018) e em florestas plantadas de *Eucalyptus* com idade entre 5,0 e 7,0 anos na estação seca (Diniz et al., 2011; Corrêa et al., 2013; Carmo et al., 2018).

Tabela 1. Material combustível disponível nos tratamentos referentes as queimas controladas em *E. urograndis* (Clone H13), no município de Sorriso, Mato Grosso, Brasil

Retardante	Classes MH	Concentração do retardante (%)					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Espessura da camada de material combustível (cm)							
Phos-Chek	-	8,67	13,00	9,10	10,20	7,00	8,00
Hold Fire	-	8,67	10,00	7,33	8,66	9,00	10,33
Polímero hidroretentor	-	8,67	8,83	9,00	11,33	9,00	9,67
Porcentagem das classes do material combustível (%)							
Phos-Chek	Folha	41,61	42,00	40,77	43,16	38,02	40,79
	Casca	10,97	4,31	10,66	7,92	9,27	9,59
	G1	15,15	18,24	15,76	24,41	14,19	16,94
	G2	30,36	31,94	32,80	24,50	35,02	31,77
	MH	1,88	3,51	-	-	3,50	0,90
Hold Fire	Folha	41,61	45,54	50,84	43,49	39,33	39,11
	Casca	10,97	5,92	7,94	7,26	9,44	5,92
	G1	15,15	17,56	20,11	18,10	16,05	15,56
	G2	30,36	30,96	21,10	31,14	31,58	34,57
	MH	1,88	-	-	-	3,59	4,81
Polímero hidroretentor	Folha	41,61	42,18	46,90	34,51	40,86	41,40
	Casca	10,97	9,39	7,11	7,30	7,34	7,76
	G1	15,15	21,53	18,05	13,16	17,61	13,84
	G2	30,36	26,91	27,93	41,37	31,38	32,08
	MH	1,88	-	-	3,65	2,82	4,92
Massa seca do material combustível (t ha⁻¹)							
Phos-Chek	Folha	11,30	11,10	11,90	11,80	9,80	11,30
	Casca	2,93	1,10	3,10	2,20	2,40	2,60
	G1	4,17	4,80	4,50	6,70	3,70	4,80
	G2	7,94	8,40	9,60	6,70	9,10	8,80
	MH	0,43	0,90	-	-	0,90	0,20
	MS total	26,76	26,45	29,09	27,04	25,87	27,65
Hold Fire	Folha	11,27	12,02	10,46	11,70	11,38	9,80
	Casca	2,93	1,61	1,64	1,94	2,55	1,62
	G1	4,17	4,64	4,12	4,86	4,20	4,20
	G2	7,94	8,54	4,38	8,34	8,74	10,40
	MH	0,43	-	-	-	1,17	1,17
	MS total	26,76	26,06	20,59	26,85	28,36	27,20
Polímero hidroretentor	Folha	11,30	11,23	11,87	10,40	12,06	10,67
	Casca	2,93	2,50	1,80	2,20	2,17	2,20
	G1	4,17	5,73	4,57	3,97	5,20	3,57
	G2	7,94	7,17	7,07	12,47	9,27	8,27
	MH	0,43	-	-	1,10	0,83	1,27
	MS total	26,76	26,63	25,27	30,10	29,53	25,80
Teor de umidade (%)							
Phos-Chek	Folha	11,70	11,75	14,03	13,51	20,77	9,66
	Casca	11,50	9,55	11,31	15,46	11,64	9,65
	G1	11,20	9,07	11,15	12,95	10,31	10,16
	G2	10,33	17,89	11,46	12,31	10,96	8,78
	MH	21,23	36,79	-	-	58,97	38,18
Hold Fire	Folha	11,70	17,22	10,91	14,15	11,58	11,54
	Casca	11,50	8,20	9,87	15,00	10,27	10,70
	G1	11,20	9,35	8,54	12,67	11,13	11,88
	G2	10,33	8,95	9,97	12,08	9,42	9,77
	MH	21,23	-	-	-	41,27	64,26
Polímero hidroretentor	Folha	11,70	11,95	11,89	11,74	14,60	11,95
	Casca	11,50	12,82	12,05	12,48	13,05	12,82
	G1	11,20	11,12	10,21	10,43	12,20	10,56
	G2	10,33	10,88	10,85	10,75	12,68	9,42
	MH	21,23	-	-	25,31	43,08	20,68

*Os valores médios dos tratamentos para as variáveis testadas não apresentaram diferenças pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância. G1: Galho fino com diâmetro < 0,7 cm; G2: Galho médio com diâmetro 0,7 ≤ d ≤ 2,5 cm; MH: Material herbáceo; -: MH ausente no tratamento; MS total: massa seca total;

Concentração dos retardantes: Phos-chek (C1-0; C2-0,1; C3-0,3; C4-0,6; C5-0,8 e C6-1,0%), Hold Fire (C1-0; C2-0,7; C3-0,9; C4-1,1; C5-1,3 e C6-1,5%) e polímero hidrotentor (C1-0; C2-0,0010; C3-0,0025; C4-0,0050; C5-0,0075 e C6-0,0100%)

O parâmetro massa seca total média para as parcelas referentes ao retardante Phos-chek foi de 27,14 t ha⁻¹, sendo destes 11,20; 4,77; 8,42; 2,39 e 0,61 t ha⁻¹ formados por folha, galhos finos, galhos médios, cascas e MH, respectivamente. O Hold Fire apresentou média da massa seca total de 25,97 t ha⁻¹, sendo 11,10; 4,36; 8,05; 2,04 e 0,92 t ha⁻¹ de folha, galhos finos, galhos médios, cascas e MH, respectivamente. O polímero hidrotentor a massa seca total média foi de 27,35 t ha⁻¹, sendo 11,25; 4,53; 8,69; 2,30 e 0,91 t ha⁻¹ de folha, galhos finos, galhos médios, cascas e MH, respectivamente.

Para a mesma área de *E. urograndis* com idade de 4,5 anos Alves et al. (2017) observaram massas secas totais de 14,36 t ha⁻¹, todavia Carmo et al. (2018) para o mesmo material genético na região com idade de 7,0 anos, observaram massas secas totais em média de 21,0 t ha⁻¹ na composição da serrapilheira e material herbáceo, ambos no mês de agosto. A maior massa seca total observada é recorrente em plantações de *E. urograndis* entre 5,0 e 7,0 anos (Schumacher et al., 2011; Carmo et al., 2018), em resposta do aumento da deposição da serrapilheira devido ao crescimento das árvores, e a lenta decomposição devido as interações com o microclima. Entretanto em áreas com idades superiores a 7,0 a mortalidade de árvores é evidente influenciando na redução combustível (Cao et al., 2010; Carmo et al., 2018).

Foram observados teores de umidade do material combustível inferiores a 20,77; 17,22 e 14,60% nas parcelas referentes ao retardantes Phos-chek, Hold Fire e polímero Hidrotentor, respectivamente. Os percentuais de umidade do material combustível excederam apenas no MH com média de 38,79; 42,25 e 27,57% para os retardantes Phos-chek, Hold Fire e polímero hidrotentor, respectivamente.

Os maiores percentuais de umidade observados no experimento em relação as demais pesquisas na literatura, pode ter sido influenciada por menores taxas de evaporações da água presente no solo em resposta ao aumento da deposição da camada de serrapilheira. Nesse cenário, o mecanismo de evaporação da água presente no material combustível é influenciado pela troca de umidade entre o solo e as partições vegetais da serrapilheira. O movimento ascendente da água do solo para a atmosfera ocorre por ascensão capilar sendo interceptada pela absorção da água pelos espaços porosos encontrados no material combustível, condição que aumenta a umidade presente na serrapilheira. Além disso, o

fechamento do dossel florestal nessas áreas promove um microclima mais ameno, devido a aumento do teor de umidade ocasionado pelas barreiras oferecidas pelas copas das árvores (Taiz et al., 2017).

As características inerentes do material combustível referentes as parcelas empregadas aos retardantes mostraram que os mecanismos de defesa das árvores ao estresse hídrico como a abscisão de folhas visando a redução da superfície de evapotranspiração na estação seca (Scalon et al., 2011; Estiarte & Peñuelas, 2014; Taiz et al., 2017), em conjunto com os percentuais de umidade inferiores a 25%, aumentam os riscos de ocorrências de incêndios florestais em áreas de eucalipto (Soares & Batista, 2007; Souza et al., 2012).

3.2 Elementos meteorológicos

Os elementos meteorológicos medidos instantaneamente no momento das queimas controladas de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, não mostraram variações extremas entre os tratamentos referentes ao Phos-chek, Hold Fire e polímero hidrotentor (Tabela 2), evidenciando condições microclimáticas semelhantes nas parcelas de queima controlada.

Os valores médios de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento nas parcelas do retardante Phos-chek variaram de 30,4 a 34,3 °C; 20 a 35%; 0 a 1,6 m s⁻¹, Hold Fire de 31,0 a 34,7 °C; 19 a 29%; 0 a 1,7 m s⁻¹, polímero hidrotentor variaram de 28,5 a 34,5 °C; 21,0 a 32,5 e 0 a 1,8 m s⁻¹.

O microclima da área de *E. urograndis* indicada por meio do conjunto das condições meteorológicas monitoradas durante as queimas controladas e as características do material combustível vistas anteriormente, relatam que a área apresentava riscos de ocorrências de incêndios florestais, devido ao potencial de flamabilidade do material combustível e conseqüentemente propagação do fogo nas condições ambientais avaliadas para as parcelas dos retardantes (Blanch et al., 2010; Wotton et al., 2010; Hoffmann et al., 2012; Little et al., 2012). As características do microclima avaliadas no momento do experimento salientam a importância dos estudos direcionados a previsão e modelagem do comportamento do fogo, bem como o aprimoramento das técnicas de combate com retardantes do fogo em áreas propensas a ocorrências de incêndios florestais.

Tabela 2. Elementos meteorológicos aferidos no momento das queimas controladas em área de *E. urograndis* (Clone H13), no município de Sorriso-MT, Brasil

Retardante	Concentração (%)	VC (L m ⁻²)	T (°C)			UR (%)			VV (m s ⁻¹)		
			méd	máx	min	méd	máx	min	méd	máx	min
Phos-Chek	0,0	0,5	33,8	33,8	33,7	22,5	23,0	22,0	1,1	1,7	0,3
	0,1		31,9	31,9	31,9	27,0	27,0	27,0	1,4	1,7	1,0
	0,3		30,4	30,6	30,2	26,7	28,0	27,0	1,6	1,7	1,4
	0,6		31,9	32,0	31,8	25,3	26,0	24,0	0,9	1,7	0,0
	0,8		32,9	33,2	32,7	20,0	20,0	20,0	1,1	1,4	1,0
	1,0		32,8	32,9	32,6	22,5	23,0	22,0	1,5	1,7	1,4
	0,0	1,0	34,0	34,1	33,9	21,7	22,0	21,0	1,0	1,4	0,7
	0,1		32,8	33,1	32,6	20,3	22,0	19,0	1,0	1,4	0,7
	0,3		32,2	32,3	32,2	25,0	26,0	24,0	0,9	1,4	0,3
	0,6		32,4	32,9	32,1	20,3	21,0	20,0	1,5	1,7	1,0
	0,8		31,1	31,4	30,9	30,5	31,0	30,0	0,0	0,0	0,0
	1,0		32,1	32,2	32,1	26,7	26,0	24,0	1,4	1,7	0,7
	0,0	2,0	32,6	32,7	32,6	23,0	23,0	23,0	0,0	0,0	0,0
	0,1		34,3	34,4	34,1	20,0	21,0	18,0	0,8	1,0	0,3
	0,6		32,5	32,5	32,4	29,0	29,0	29,0	0,7	0,7	0,7
0,8	31,6		31,9	31,4	31,1	32,0	31,0	0,3	0,0	0,0	
0,8	30,5		30,7	30,3	35,0	37,0	33,0	0,8	1,0	0,7	
1,0	30,5		30,7	30,3	35,0	37,0	33,0	0,8	1,0	0,7	
Hold Fire	0,0	0,5	33,8	33,8	33,7	22,5	23,0	22,0	1,1	1,7	0,3
	0,7		31,5	31,4	31,3	28,5	29,0	28,0	1,7	2,0	1,4
	0,9		31,4	31,6	31,2	29,0	29,0	29,0	0,3	1,0	0,0
	1,1		32,5	32,5	32,5	20,0	20,0	20,0	1,0	1,4	0,7
	1,3		32,8	32,9	32,7	19,0	19,0	19,0	0,3	1,0	0,0
	1,5		33,8	34,1	33,5	22,3	23,0	22,0	0,4	1,4	0,0
	0,0	1,0	34,0	34,1	33,9	21,7	22,0	21,0	1,0	1,4	0,7
	0,7		31,9	32,1	31,9	26,6	27,0	26,0	1,2	1,4	1,0
	0,9		31,8	32,0	31,5	26,0	27,0	25,0	1,0	1,0	1,0
	1,1		32,4	32,7	32,0	20,0	20,0	20,0	1,1	1,4	0,7
	1,3		33,5	33,7	33,5	22,0	22,0	22,0	0,4	1,4	0,0
	1,5		32,7	32,9	32,6	23,3	24,0	23,0	0,4	1,4	0,0
	0,0	2,0	32,6	32,7	32,6	23,0	23,0	23,0	0,0	0,0	0,0
	0,7		34,7	35,2	34,5	22,6	24,0	22,0	0,8	1,4	0,0
	0,9		31,0	31,3	31,0	26,0	27,0	25,0	0,0	0,0	0,0
1,1	33,7		33,7	33,7	25,0	25,0	25,0	0,0	0,0	0,0	
1,3	33,7		34,1	33,1	24,0	24,0	24,0	0,0	0,0	0,0	
1,5	32,4		32,6	32,4	29,0	29,0	29,0	1,2	1,7	0,7	
Polímero hidretentor	0,0	0,5	33,8	33,8	33,7	22,5	23,0	22,0	1,1	1,7	0,3
	0,0010		30,2	30,5	30,1	30,7	31,0	30,0	1,7	2,0	1,4
	0,0025		32,2	32,3	32,1	24,5	25,0	32,1	1,5	1,7	1,4
	0,0050		29,5	29,8	29,1	30,0	31,0	29,0	1,4	1,7	1,0
	0,0075		32,0	32,8	31,4	22,0	23,0	20,0	0,0	0,0	0,0
	0,0100		33,0	33,1	33,0	23,3	24,0	23,0	1,1	1,7	0,7
	0,0	1,0	34,0	34,1	33,9	21,7	22,0	21,0	1,0	1,4	0,7
	0,0010		32,0	32,0	31,8	24,0	25,0	23,0	1,3	1,7	0,7
	0,0025		30,5	30,9	30,2	30,7	31,0	30,0	1,8	2,4	1,4
	0,0050		28,5	29,4	27,9	32,5	34,0	30,0	1,4	1,7	1,0
	0,0075		33,0	33,4	32,6	21,0	22,0	20,0	1,1	1,4	1,0
	0,0100		31,4	32,1	30,9	29,2	31,0	26,0	0,2	1,0	0,0
	0,0	2,0	32,6	32,7	32,6	23,0	23,0	23,0	0,0	0,0	0,0
	0,0010		34,5	34,8	34,3	21,0	21,0	21,0	0,9	1,4	0,0
	0,0025		33,5	34,1	33,3	25,2	26,0	24,0	0,6	1,0	0,0
0,0050	32,7		32,7	32,7	23,7	24,0	23,0	0,9	1,4	0,0	
0,0075	31,5		31,7	31,4	25,0	25,0	25,0	0,0	0,0	0,0	
0,0100	32,6		32,6	32,4	29,0	29,0	29,0	1,1	1,7	0,7	

VC: Volume de calda de água; T: Temperatura do ar; UR: Umidade relativa do ar; VV: Velocidade do vento; méd: Média; máx.: Máxima; min: Mínima. *Concentração de 0% considera apenas a aplicação de água, enquanto que nas demais concentrações, considera-se o polímero hidretentor dissolvido na água

3.3 Comportamento do fogo

O comportamento do fogo representado pela velocidade de propagação da linha de fogo (VP) e o comprimento das chamas (L) referentes dos retardantes Phos-chek, Hold Fire e polímero hidrorretentor, apresentaram diferenças entre os tratamentos avaliados no desdobramento do fatorial duplo de concentrações e volumes de calda aplicados (Tabela 3). As análises fatoriais indicam a presença de interação entre os fatores avaliados, confirmando que o modo de preparação e aplicação dos retardantes sobre o material combustível influenciam diretamente na eficiência dos retardantes no comportamento do fogo.

Tabela 3. Velocidade de propagação do fogo (VP) e comprimento da chama (L) em queimas controladas com diferentes concentrações e volumes de calda de retardantes de fogo, em áreas de *E. urograndis* (Clone H13) no município de Sorriso-MT, Brasil

Concentração (%)	VP (m min ⁻¹)			L (cm)		
	0,5 L m ⁻²	1,0 L m ⁻²	2,0 L m ⁻²	0,5 L m ⁻²	1,0 L m ⁻²	2,0 L m ⁻²
Phos-Chek						
Controle	0,71 Da	0,71 Ba	0,71 Ca	90,00 Da	90,00 Ca	90,00 Da
0	0,52 Cb	0,39 Ab	0,20 Ba	86,66 Dc	70,00 Bb	32,50 Ba
0,1	0,43 Bb	0,28 Aa	0,25 Ba	70,00 Cb	56,66 Aa	53,33 Ca
0,3	0,28 Aa	0,22 Aa	-	53,33 Ba	50,00 Aa	-
0,6	0,24 Aa	0,25 Aa	0,19 Ba	33,33 Aa	50,00 Ab	23,33 Ba
0,8	0,28 Ab	0,19 Ab	0,00 Aa	50,30 Bb	50,00 Ab	0,00 Aa
1	0,25 Ab	0,15 Ab	0,00 Aa	30,00 Ab	40,00 Ab	0,00 Aa
Hold Fire						
Controle	0,76 Ca	0,77 Ca	0,77 Ca	85,44 Da	85,44 Ca	85,44 Da
0	0,52 Bb	0,39 Bb	0,20 Ba	86,66 Dc	70,00 Bb	32,50 Ca
0,7	0,36 Ab	0,37 Bb	0,18 Ba	70,00 Cc	55,00 Ab	13,33 Ba
0,9	0,32 Ab	0,20 Aa	0,19 Ba	66,67 Cb	38,33 Aa	28,33 Ca
1,1	0,36 Ab	0,27 Ab	0,13 Ba	60,00 Bb	50,00 Ab	11,66 Ba
1,3	0,37 Ac	0,17 Ab	0,00 Aa	41,67 Ab	40,00 Ab	0,00 Aa
1,5	0,33 Ac	0,18 Ab	0,00 Aa	43,33 Ab	43,33 Ab	0,00 Aa
Polímero hidrorretentor						
Controle	0,73 Da	0,73 Ca	0,73 Ca	86,76 Da	86,76 Da	86,76 Da
0	0,52 Cc	0,39 Bb	0,20 Ba	86,66 Dc	70,00 Cb	32,50 Ca
0,0010	0,38 Bb	0,24 Aa	0,17 Ba	80,00 Dc	51,67 Bb	30,00 Ca
0,0025	0,35 Bb	0,21 Aa	0,13 Ba	70,00 Cc	50,00 Bb	15,00 Ba
0,0050	0,22 Ab	0,18 Ab	0,00 Aa	40,00 Ab	30,00 Ab	0,00 Aa
0,0075	0,29 Ac	0,16 Ab	0,00 Aa	58,33 Bc	30,00 Ab	0,00 Aa
0,0100	0,25 Aa	0,22 Aa	0,13 Ba	70,00 Cb	35,33 Aa	23,33 Ba

*Concentração de 0% considera apenas a aplicação de água, enquanto que nas demais concentrações, considera-se o polímero hidrorretentor dissolvido na água; médias seguidas da mesma letra na linha (minúscula) e na coluna (maiúscula) não diferiram entre si pelo teste de Scott Scott-Knott ao nível de 5% de significância. VP (velocidade de propagação da linha do fogo), L (comprimento das chamas), Controle (parcela sem aplicação de retardante/água)

Em todos os retardantes avaliados as variáveis descritivas do comportamento do fogo foram maiores nos tratamentos controles (sem aplicação de retardante ou água) devido a conservação das condições reais de percentagem de umidade do material combustível.

Em relação ao retardante Phos-chek os valores médios do VP foram de $0,71 \text{ m min}^{-1}$ e L de $90,00 \text{ cm}$, Hold Fire com VP de $0,76 \text{ m min}^{-1}$ e L de $85,44 \text{ cm}$ e polímero hidrorretentor com VP de $0,73 \text{ m min}^{-1}$ e L de $86,76 \text{ cm}$. Os valores observados das variáveis descritivas do comportamento do fogo corroboram com Alves et al. (2017) na mesma área experimental com idade de 4,5 anos em queimas controladas em agosto, com VP de $0,74 \text{ m min}^{-1}$ e L de 100 cm , bem como para Lima et al. (2017) na mesma área com 6,0 anos em agosto com VP de $0,75 \text{ m min}^{-1}$ e L de 100 cm .

Nas parcelas com aplicação apenas de água (concentração de 0%) ocorreu a redução do comportamento do fogo em relação ao controle. Na aplicação do volume de calda de $0,5 \text{ L m}^{-2}$ o VP apresentou média de $0,52 \text{ m min}^{-1}$ e L de $86,66 \text{ cm}$, entretanto a maior eficiência da água ocorreu na calda de $2,0 \text{ L m}^{-2}$ apresentando VP de $0,52 \text{ m min}^{-1}$ e L de $86,66 \text{ cm}$. O processo de evaporação da água mostra a importância do uso de retardantes do fogo no combate de incêndios florestais, especialmente na supressão a frente a linha de fogo (Batista, 2004; Plucinski & Pastor, 2013), visto que os retardantes formam uma barreira entre o material combustível e ar, dificultando a evaporação da água dos combustíveis (Ribeiro et al., 2006; Plucinski et al., 2017).

Na aplicação do retardante do fogo Phos-chek as melhores concentrações foram de 0,8 e 1,0%. Considerando a concentração de 1,0% foi mais eficiente para a redução do comportamento do fogo apresentando VP de $0,25 \text{ m min}^{-1}$ e L de $50,30 \text{ cm}$, e VP de $0,15 \text{ m min}^{-1}$ e L de $30,00 \text{ cm}$, para os volumes de calda de $0,5$ e $1,0 \text{ L m}^{-2}$, respectivamente. Todavia, quando aplicado o volume de calda de $2,0 \text{ L m}^{-2}$ ocorreu a extinção do fogo nas áreas a partir da concentração de 0,8%, salientando a recomendação para evitar desperdícios com excessos do retardante do fogo. Nesse caso, o fator determinante para a eficiência do retardante Phos-chek foi o incremento do volume de calda, respostas semelhantes foram observadas por Ribeiro et al. (2006) e Batista et al. (2008) com uso do retardante Phos-chek.

Para o retardante do fogo Hold Fire a concentração mais eficaz para redução do comportamento do fogo de 1,5% apresentando VP de $0,33$ e $0,17 \text{ m min}^{-1}$ e L de $43,33$ e $40,00 \text{ cm}$, nas caldas de $0,5$ e $1,0 \text{ L m}^{-2}$, respectivamente. Entretanto, quando adicionado o volume de calda de $2,0 \text{ L m}^{-2}$ ocorreu a extinção do fogo nas concentrações de 1,3 e 1,5%, da mesma forma visando economizar retardante a recomendação foi de 1,3% de retardante Hold Fire no combate ao fogo em área de *E. urograndis*.

O polímero hidrorretentor apresentou melhor eficiência nas concentrações de 0,0050 e 0,0075%. Considerando a melhor concentração no racionamento com excessos de

produto a concentração de 0,0050% apresentou VP de 0,22 e 0,18 m min⁻¹ e L de 40,00 e 30,00 cm nas caldas de 0,5 e 1,0 L m⁻², respectivamente. O volume de calda de 2,0 L m⁻² foi mais eficaz na concentração de 0,0050% observada a extinção do fogo no material combustível. O polímero hidrorretentor atuou na retenção da umidade sobre o material combustível, visto que as moléculas do produto liberam gradativamente a água sobre o combustível (Balena, 1998; Ribeiro et al., 2006), conferindo eficiência ao retardante do fogo utilizado (Souza et al., 2012).

A maior concentração de polímero hidrorretentor de 0,0100% foi menos eficaz na redução do comportamento do fogo, devido a formação de uma camada viscosa/gelatinosa (grumos de gel) quando diluídos em água (Balena, 1998). Essa viscosidade evitou a penetração do retardante mantendo a umidade na camada superficial do material combustível. Ao contrário aos retardantes supracitados e outros reportados na literatura (Ribeiro et al., 2006; Canzian et al., 2016) o aumento da concentração não ocasionou a redução do comportamento do fogo.

A taxa de redução de VP (TRVP) e L (TRL) dos retardantes avaliados apresentaram comportamentos dependentes do tratamento controle (sem aplicação de água), com tendência de redução similar ao comportamento do fogo visto anteriormente. Dessa forma, as taxas de redução aumentaram conforme a combinação do aumento do incremento do volume de calda e da concentração ideal para cada retardante avaliado, com destaque nos volumes de calda de 2,0 L m⁻² apresentando 100% de redução do fogo, devido a sua extinção nas áreas (Figura 4).

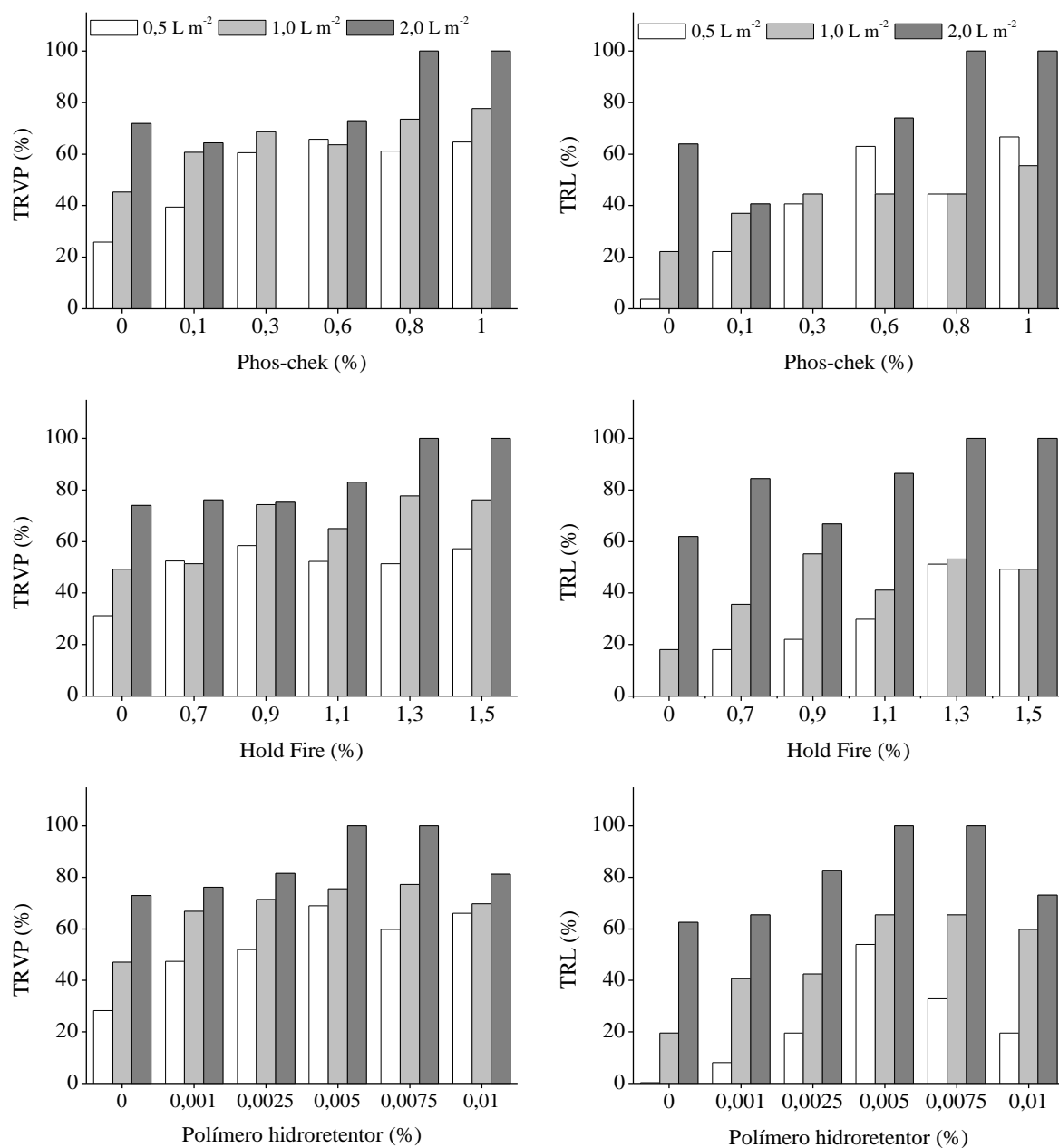


Figura 4. Taxas de redução da velocidade de propagação do fogo (TRVP) e do comprimento da chama (TRL) em queimas controladas com diferentes concentrações e volumes de calda de retardantes de fogo, em áreas de *E. urograndis* (Clone H13) no município de Sorriso-MT, Brasil

Por meio de análises de regressões observou-se para os retardantes do fogo Phos-chek e Hold Fire melhores ajustes nos modelos lineares indicando que o aumento da concentração melhora a eficiência dos retardantes. Entretanto, para o Polímero hidroretentor os modelos de melhores ajustes foram de regressão polinomial quadrática indicando uma concentração ideal do retardante (Figura 5).

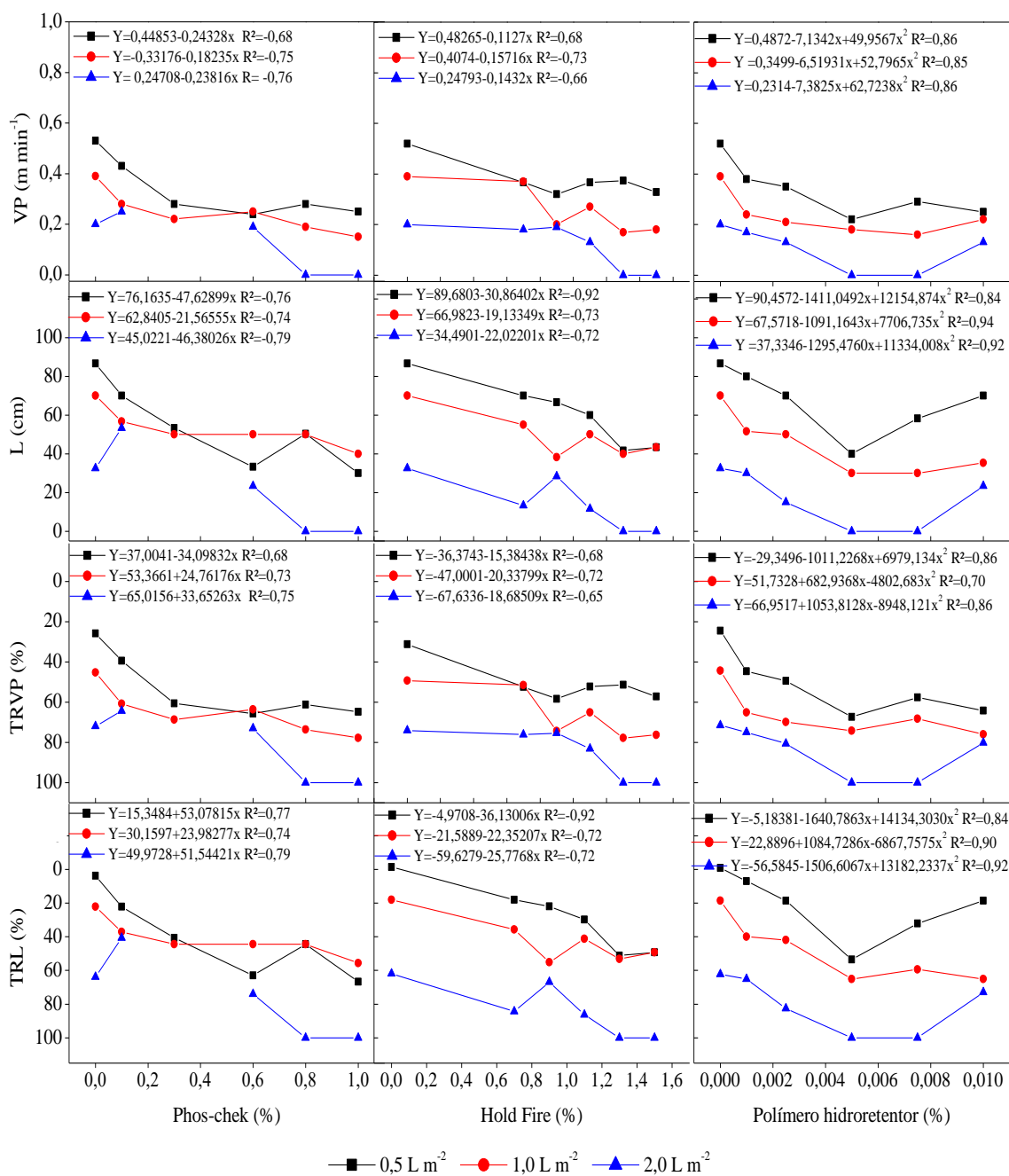


Figura 5. Correlações lineares e polinomiais quadráticas entre incremento das concentrações dos retardantes do fogo e: velocidade de propagação da linha de fogo (VP), comprimento das chamas (L), taxa de redução do VP (TRVP) e taxa de redução do L (TRL), nos volumes de calda aplicados em queimas controladas de *E. urograndis* (Clone H13) no município de Sorriso-MT, Brasil

O retardante Phos-chek apresentou coeficientes de determinação (R²) superiores a 0,68 para o VP e TRVP, e para o L e TRL apresentou R² superiores a 0,74. O Hold fire apresentou R² superiores a 0,66 para o VP e TRVP, e para o L e TRL apresentou R²

superiores a 0,72. Todavia, para o Polímero hidroretentor os modelos polinomiais quadráticos apresentaram melhores ajustes com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,84 para todas as variáveis do comportamento do fogo testadas, indicando correlações fortes nos três volumes de caldas avaliados.

Por meio da diferenciação das equações polinomiais, encontrou-se a concentração ideal de polímero hidroretentor de 0,0060% para os três volumes de calda avaliados. Entretanto observou-se para os retardantes os retardantes comerciais por meio das equações lineares que as concentrações mais eficientes nos três volumes de calda avaliados foram de 0,1% para o Phos-chek e de 1,5% para o Hold Fire.

A aplicação dos volumes de calda menores nas concentrações mais eficazes dos retardante do fogo é essencial em áreas com limitação de recursos hídricos para o abastecimento. Dessa forma o fogo ao chegar na área com presença de aceiro irá reduzir o que facilita o combate direto pelas equipes em campo (Fiedler et al., 2015). Na aplicação do volume de calda de $2,0 \text{ L m}^{-2}$ é eficiente na extinção do fogo reduzindo desperdícios com gastos desnecessários retardante. A aplicação de um volume de calda maior é importante em áreas com disponibilidade de recursos hídricos para a captação de água, condição que evitaria riscos no combate direto pelas equipes em campo e economia com gastos com retardante do fogo (Ribeiro et al., 2006; Canzian et al., 2018).

Na avaliação do material combustível remanescente pós-queima em resposta a aplicação das concentrações dos retardantes e dos volumes de calda, observou-se tendência semelhantes ao comportamento do fogo, e em contrapartida, o material combustível consumido apresentou padrão contrário ao remanescente pós-queima como o esperado (Figura 5).

A massa seca total do material combustível remanescente ($\text{MCR} - \text{ton ha}^{-1}$) apresentou poucas variações entre os volumes de calda $0,5$ e $1,0 \text{ L m}^{-2}$ nos retardantes avaliados, uma vez que os retardantes nessas caldas apenas reduziram o comportamento do fogo, porém a combustão continuou de forma mais lenta. Em contrapartida, quando aplicado o volume de calda de $2,0 \text{ L m}^{-2}$ nas concentrações mais eficientes de cada retardante do fogo, ocorreu a extinção do fogo com 100% de material combustível remanescente, justificando o padrão semelhante ao comportamento do fogo nessas áreas (Canzian et al., 2016; Filho et al., 2012).

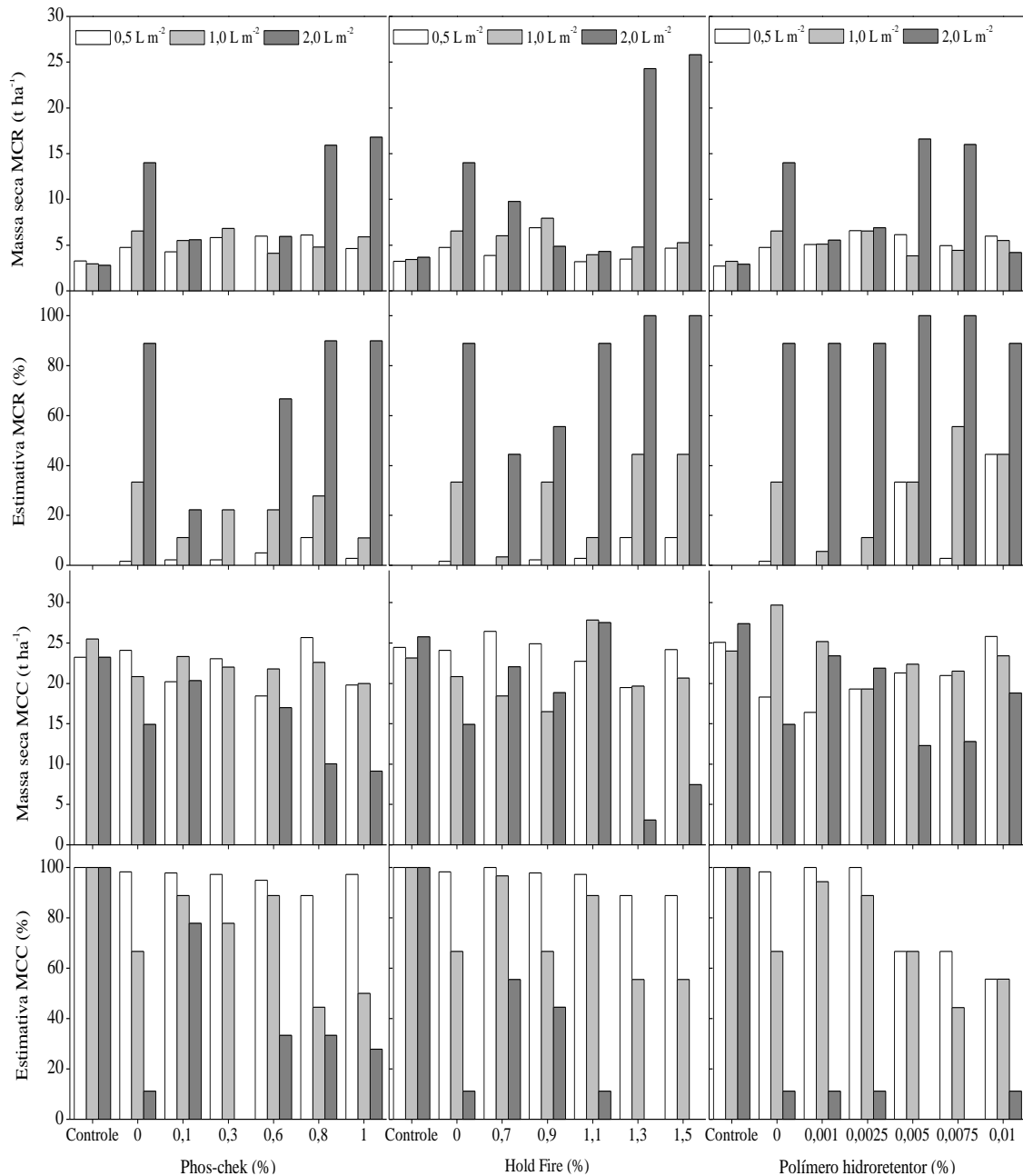


Figura 6. Massa seca e estimativa do percentual do material combustível remanescente pós-queima (MCR), massa seca e estimativa percentual do material combustível consumido (MCC) em queimas controladas de *E. urograndis* (Clone H13), no município de Sorriso-MT, Brasil

Considerando o volume de calda de 2,0 L m⁻², na aplicação de Phos-chek ocorreram variações de 2,81 a 16,8 t ha⁻¹; 0 e 90%; 23,0 a 9,12 t ha⁻¹; e 100 a 27,78% (concentrações de controle e 0,1%); O Hold Fire na calda de 2,0 L m⁻², apresentou variações de 3,68 a 25,8 t ha⁻¹; 0 a 100%; 25,58 a 7,48 t ha⁻¹; 100 a 0% (concentrações de controle e 1,5%), O Polímero hidroretentor na calda de 2,0 L m⁻², apresentou variações de 2,91 a 16,57 t

ha⁻¹; 0 a 100%; 27,4 a 12,3 t ha⁻¹; 100 a 0% (nas concentrações de controle e 0,0050%), todos os produtos retardantes para as variáveis, massa seca total remanescente, estimativa percentual visual massa seca remanescente, massa seca do material combustível consumido e percentual do material combustível consumido, respectivamente.

A quantidade de material combustível consumido no controle foi semelhante ao evidenciado por Alves et al. (2017) em queimas controladas de *E. urograndis* (Clone H13) com 4,5 anos de idade em agosto, apresentou 95,62% de material consumido em queimas controladas sem aplicação de retardantes.

O padrão da estimativa do percentual do material combustível remanescente (MCR – %) em todos os retardantes diferenciou da massa seca total do material remanescente, devido ao modo de coleta visto que foi obtida em uma amostra de 1,0 m² nas subparcelas da queima controlada. Todavia, a estimativa visual do percentual do material remanescente considerou a subparcela completa de queima de 9,0 m². Por conseguinte, as características do material combustível envolvendo espessura da camada e densidade podem ter provocado a queima de forma desigual no momento da passagem da linha do fogo, bem como a distribuição de forma irregular do retardante nas subparcelas, que podem ter umedecido de forma desigual o material combustível nas áreas de queima controlada.

4 CONCLUSÃO

1. Os retardantes empregados apresentaram eficiência na redução/extinção do comportamento do fogo em queimas controladas de resíduos de *E. urograndis* (Clone H13).

2. O incremento do volume de calda aumenta a eficiência dos retardante de fogo, entretanto, salienta-se que a disponibilidade de água pode ser um fator limitante no combate a incêndios florestais.

3. O retardante Phos-chek apresentou maior eficiência na concentração de 0,1% no volume de calda de 2,0 L m⁻². O retardante Hold Fire apresentou maior eficiência na concentração de 1,5% no volume de calda de 2,0 L m⁻². E o produto alternativo Polímero hidretentor apresentou maior eficácia na concentração de 0,0060% no volume de calda de 2,0 L m⁻².

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, E. J.; Luizão, F.; Rodrigues, D. J. Produção de serrapilheira em florestas intactas exploradas seletivamente no sul da Amazônia em função da área basal da vegetação e da densidade de plantas. *Acta Amazonica*, v.45, n.2, p.157-166, 2015.
- Alves, L. J. S.; Souza, A. P.; Stangerlin, D. M.; Casavecchia, B. H.; Carmo, F. H. D. J.; Bouvié, L.; Borella, D. R.; Dias, T. K. R.; Silva, C. C.; Martim, C. C.; Ferneda, B. G. Fire Behavior in *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) Forest in Cerrado-Amazon Transition, Brazil. *Australian Journal of basic and applied sciences*, v.11, n.4, p.60-71, 2017.
- Balena, S. P. Efeito de polímeros hidroretentores nas propriedades físicas e hidráulicas de dois meios porosos. Curitiba: UFPR, 1998. 57p. Dissertação Mestrado
- Barlow, J.; Gardner, T. A.; Ferreira, L. V.; Peres, C. A. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, v.247, p.91-97, 2007.
- Barreiro, A.; Martín, A.; Carballas, T.; Días-Ravina, M. Response of soil microbial communities to fire and fire-fighting chemicals. *Science of the Total Environment*, v.408, p. 6172–6178, 2010.
- Batista, A. C. O uso dos retardantes no combate aéreo aos incêndios Florestais. *Revista Floresta*, v.34, n.2, p.127-130, 2004.
- Batista, A. C.; Beutling, A.; Pereira, J. F. Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamento de *Pinus elliottii*. *Revista Árvore*, v.37, n.5, p.779-787, 2013.
- Batista, A. C.; Martini, A.; Pereira, J. F.; Ferreira, J. Avaliação da eficiência de um retardante de longa duração, à base de polifosfato amônico, em queimas controladas em condições de laboratório. *Scientia Forestalis*, v.36, n.79, p.223-229, 2008.
- Blanch, R.; Lucas, C.; Leonard, J.; Finkele, K. Meteorological conditions and wildfire-related house loss in Australia. *International Journal of Wildland Fire*, v.19, p.914-926, 2010.
- Bowman, D. M. J.; Balch, J. K.; Artaxo, P.; Bond, W.; Carlson, J. M.; Cochrane, M. A.; D'Antonio, C. M.; DeFries, R. S.; Doyle, J. C.; Harrison, S. P.; Johnston, F. H.; Keeley, J. E.; Krawchuk, M. A.; Kull, C. A.; Marston, J. B.; Moritz, M. A.; Prentice,

- I. C.; Roos, C. I.; Scott, A. C.; Swetnam, T. W.; Werf, G. R.; Pyne, S. J. Fire in the Earth System. *Science*, v.324, n.24, p.481-484, 2009.
- Canzian, W. P.; Fiedler, N. C.; Brinate, I. B.; Juvanhol, R. S.; Bichi, K. N. Diferentes concentrações de retardante de fogo em plantios de eucalipto. *Revista Nativa*, v.4, n.4, p.195-198, 2016.
- Canzian, W. P.; Fiedler, N. C.; Loureiro, E. B.; Berude, L. C. Eficiência do uso da água em métodos de combate a incêndios em florestas plantadas. *Revista Nativa*, v.6, n.3, p.309-312, 2018.
- Cao, Y.; Fu, S.; Zou, X.; Cao, H.; Shao, Y.; Zhou, L. Soil microbial community composition under *Eucalyptus* plantations of different age in subtropical China. *European Journal of Soil Biology*, v.46, p.128-135, 2010.
- Carmo, F. H. D. J.; Souza, A. P.; Casavecchia, B. H.; Volpato, M.; Bouvié, L.; Silva, C. C. Litter balance in areas of *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) in a Cerrado-Amazon transition of Mato Grosso state, Brazil. *Ciência e Natura*, v.40, n.39, p.1-14, 2018.
- Corrêa, R. S.; Schumacher, M. V.; Momolli, D. R. Deposição de serrapilheira e macronutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden sobre pastagem natural degradada no Bioma Pampa. *Scientia Forestalis*, v.41, n.97, p.65-74, 2013.
- Dietrich, J. P.; Gaest, A. L. V.; Strickland, S. A.; Hutchinson, G. P.; Krupkin, A. B.; Arkoosh, M. R. Toxicity of PHOS-CHEK LC-95A and 259F fire retardants to ocean- and stream-type Chinook salmon and their potential to recover before seawater entry. *Science of the Total Environment*, v.490, p.610-621, 2014.
- Diniz, A. R.; Pereira, M. G.; Loss, A. Produção de serrapilheira em florestas intactas e exploradas seletivamente no sul da Amazônia em função da área basal da vegetação e da densidade de plantas. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.31, n.65, p.19-26, 2011.
- Estiarte, M.; Penuelas, J. Alteration of the phenology of leaf senescence and fall in winter deciduous species by climate change: effects on nutrient proficiency. *Global Change Biology*, v.21, n.3, p.1005-1017, 2014.
- Fiedler, N. C.; Canzian, W. P.; Mafia, R. G.; Ribeiro, G. A.; Junior, J. K. Intensidade de queima de diferentes retardantes de fogo. *Revista Árvore*, v.39, n.4, p.691-696, 2015.
- Fiedler, N. C.; Rodrigues, T. O.; Medeiros, M. B. 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*, v.30, n.1, p.55-63, 2006.

- Filho, C. M.; Martins, M. C.; Ribeiro, G. A.; Lima, G. S.; Cardoso, M. T.; Torres, C. M. M. E.; Pinto, F. B. Eficiência de um retardante de fogo de longa duração utilizado em incêndios florestais. *Ciência Florestal*, v.22, n.2, p.365-371, 2012.
- Guimarães, P. P.; Souza, S. M.; Fiedler, N. C.; Silva, G. Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal. *Agrarian Academy*, v.1, n.1, p.38-60, 2014.
- Hoffmann, W. A.; Jaconis, S. Y.; Mckinley, K. L.; Geiger, E. L.; Gotsch, S. G.; Franco, A. C. Fuels or microclimate? Understanding the drivers off ire feedbacks at savanna-forest boundaries. *Austral Ecology*, v.37, p.634-643, 2012.
- Koproski, L.; Ferreira, M. P.; Goldammer, J. G.; Batista, A. C. Modelo de zoneamento de risco de incêndios para unidades de conservação brasileiras: o caso do Parque Estadual do Cerrado (PR). *Revista Floresta*, v.41, n.3, p.551-562, 2011.
- Lima, D. C.; Borella, D. R.; Casavecchia, B. H.; Bouvié, L.; Carmo, F. H. J.; Souza, A. P. Comportamento do fogo em diferentes interfaces ambientais de uma plantação de *Eucalyptus urograndis*. In: Seminário de gestão de incêndios florestais, 3, 2017, Cuiabá. Anais... Cuiabá: SGIF, 2017.
- Liodakis, S.; Lois, D.; Gakis, D. The effect of $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on the spontaneous ignition properties of *Pinus halepensis* pine needles. *Fire Safety Journal*, v.31, n.5, p.481-494, 2002.
- Little, J. K.; Prior, L. D.; Williamson, G. J.; Williams, S. E.; Bowman, D. M. J. S. Fire weather risk differs across rain forest–savanna boundaries in the humid tropics of north-eastern Australia. *Ecological Society of Australia*, v.37, n.8, p. 915-925, 2012.
- Machado-Neto, A. P.; Batista, A. C.; Biondi, D.; Soares, R. V.; Batista, A. P. B. Incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães-MT entre 2005 e 2014. *Revista Nativa*, v.5, n.5, p.355-361, 2017.
- Moritz, M. A.; Barllori, E.; Bradstock, R. A.; Gill, A. M.; Handmer, J.; Hessburg, P. F.; Leonard, J.; McCaffrey, S.; Odion, D. C.; Schoennagel, T.; Syphard, A. D. Learning to coexist with wildfire. *Nature*, v.515, n.6, p.58-66, 2014.
- Mateus, F. A.; Miranda, C. C.; Valcarcel, R.; Figueiredo, P. H. A. Estoque e capacidade de retenção hídrica da serrapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na Mata Atlântica. *Revista Floresta e Ambiente*, v.20, n.3, p.336-343, 2013.
- Plucinski, M. P.; Pastor, E. Criteria and methodology for evaluating aerial wildfire suppression. *International Journal of Wildland Fire*, v.22, p.1144-1154, 2013.

- Plucinski, M. P.; Sullivan, A. L.; Hurley, R. J. A methodology for comparing the relative effectiveness of suppressant enhancers designed for the direct attack of wildfires. *Fire Safety Journal*, v.87, p.71-79, 2017.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 858.
- Tetto, A. F.; Batista, A. C.; Soares, R. V. Zoneamento de risco de incêndios florestais para as florestas nacional de Irati, Estado do Paraná, Brasil. *Scientia Forestalis*, v.40, n.4, p.259-265, 2012.
- Torres, F. T. P.; Ribeiro, G. A.; Martins, S. V.; Lima, G. S. Determinação do período mais propício as ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG. *Revista Árvore*, v.34, n.2, p.297-303, 2010.
- Ribeiro, G. A.; Lima, G. S.; Oliveira, A. L. S.; Camargos, V. L.; Magalhães, M. U. Eficiência de um retardante de longa duração na redução da propagação do fogo. *Revista Árvore*, n.30, n.6, p.1025-1031, 2006.
- Soares, R. V.; Santos, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. *Revista Floresta*, v.32, n.2, p.219-232, 2002.
- Seger, C. D.; Batista, A. C.; Tetto, A. F.; Soares, R. V. Comportamento do fogo em queimas controladas de vegetação de estepe no município de Palmeira, Paraná, Brasil. *Revista Floresta*, v.43, n.4, p.547-558, 2013.
- Scalon, S. P. Q.; Mussuty, R. M.; Euzébio, V. L. M.; Kodama, F. M.; Kissmann, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.), v.21, n.4, p.655-662, 2011.
- Schumacher, M. V.; Witschoreck, R.; Calil, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. *Ciência Florestal*, v.21, n.1, p.17-22, 2011.
- Silva, E. C. G.; Fiedler, N. C.; Juvanhol, R. S.; Silva, G. M. A.; Neves, F. P. Análise temporal da ocorrência de incêndios florestais nas Américas e região do Caribe. *Revista Nativa*, v.6, n.5, p.491-496, 2018.
- Soares, R. V.; Batista, A. C. *Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo*. 1.ed. Curitiba, 2007. 250p.
- Song, U.; Mun, S.; Waldman, B. Effects of Three Fire-Suppressant foams on the germination and physiological responses of plants. *Environmental Management*, v.54, p.865-874, 2014.

- Souza, H. N.; Araújo, T. G.; Ribeiro, G. A. Avaliação da eficiência de um gel hidroretentor como retardante de fogo. *Revista Árvore*, v.36, n.3, p.471-477, 2012.
- Souza, A. P.; Mota, L. L.; Zamadei, T.; Martim, C. C.; Almeida, F. T.; Paulino, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Revista Nativa*, n.1, v.1, p.34-43, 2013.
- Wotton, B. M.; Nock, C. A.; Flannigan, M. D. Forest fire occurrence and climate change in Canada. *International Journal of Wildland Fire*, v.19, p.253-271, 2010.

CONCLUSÃO GERAL

Os retardantes do fogo avaliados Phos-chek, Hold Fire e polímero hidroretentor foram eficientes na redução do comportamento do fogo no momento de queimas controladas de *E. urograndis* (Clone H13) na transição Cerrado-Amazônia. O emprego desses retardantes pode ser uma alternativa eficiente no combate a incêndios florestais.

O aumento do volume de calda na diluição dos retardantes avaliados propiciou maior eficiência aos retardantes, especialmente na concentração de $2,0 \text{ L m}^{-2}$ que gerou a extinção do fogo nas áreas de *E. urograndis* (Clone H13).

A recomendação de preparação para os retardantes avaliados é de: Phos-chek 0,1% no volume de calda de $2,0 \text{ L m}^{-2}$; Hold Fire 1,5% no volume de calda de $2,0 \text{ L m}^{-2}$; e polímero hidroretentor de 0,0060% no volume de calda de $2,0 \text{ L m}^{-2}$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, C. D.; Macalady, A. K.; Chenchouni, H.; Bachelet, D.; McDowell, N.; Vennetier, M.; Kitzberger, T.; Rigling, A.; Breshears, D. D.; Hoggi, E. H.; Gonzales, P.; Fensham, R.; Zhang, Z. Castro, J.; Demidova, N.; Lim, J.; Allaed, G.; Running, S. W.; Semerci, A.; Cobb, N. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, v.259, p.660-684, 2010.
- Al-Humaid, A. I.; Moftah, A. E. Effects of hydrophilic polymer on the survival of buttonwood seedlings grown under drought stress. *Journal of plant nutrition*, v.30, p.53-66, 2007.
- Almed, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization and applications: A review. *Journal of Advanced Research*, v.6, p.105-121, 2015.
- Almeida, A. B. Science for disaster risk management 2017 knowing better and losing less. *Territorium*, v.25, n.1, p.155-165, 2018.
- Alves, L. J. S.; Souza, A. P.; Stangerlin, D. M.; Casavecchia, B. H.; Carmo, F. H. D. J.; Bouvié, L.; Borella, D. R.; Dias, T. K. R.; Silva, C. C.; Martim, C. C.; Fereda, B. G. Fire Behavior in *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) Forest in Cerrado-Amazon Transition, Brazil. *Australian Journal of basic and applied sciences*, v.11, n.4, p.60-71, 2017.
- Andrade Filho, V. S.; Netto, P. E. A.; Hacon, S. S.; Carmo, C. N. Distribuição espacial de queimadas e mortalidade em idosos em região da Amazônia Brasileira, 2001-2012. *Ciência Saúde Coletiva*, v.22, n.1, p.245-253, 2017.
- Andreu, A. G.; Shea, D.; Parresol, B. R.; Ottmar, R. D. Evaluating fuel complexes for fire hazard mitigation planning in the southeastern United States. *Forest Ecology and Management*, v.273, p.4-16, 2011.
- Andry, H.; Yamamoto, T.; Irie, T.; Moritani, S.; Inoue, M.; Fujiyama, H. Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality. *Journal of Hydrology*, v.373, p.177-183, 2009.
- Balena, S. P. Efeito de polímeros hidroretentores nas propriedades físicas e hidráulicas de dois meios porosos. Curitiba: UFPR, 1998. 57p. Dissertação Mestrado
- Bartieres, E. M. M.; Carnevali, N. H. S.; Lima, E. S.; Carnevali, T. O.; Mallmann, V. Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e

- composição nutricional de plantas híbridas de eucalipto. Pesquisa Florestal Brasileira, v.36, n.86, p.145-151, 2016.
- Batista, A. C.; Beutling, A.; Pereira, J. F. Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. Revista Árvore, v.37, n.5, p.779-787, 2013.
- Batista, A. C.; Martini, A.; Pereira, J. F.; Ferreira, J. Avaliação da eficiência de um retardante de longa duração, à base de polifosfatoamônico, em queimas controladas em condições de laboratório. Scientia Forestalis, v.36, n.79, p.223-229, 2008.
- Beutling, A.; Batista, A. C.; Stolle, L.; Tetto, A. F.; Alves, M. V. G. Caracterização e modelagem de material combustível superficial em povoamentos de *Pinus elliottii*. Revista Floresta, v.42, n.3, p.443-452, 2012.
- Bond-Lamberty, B. Peckham, S. D.; Ahl, D. E.; Gower, S. T. Fire as the dominant driver of central Canadian boreal forest carbon balance. Nature, v.450, p.89-93, 2007.
- Borges, T. S.; Fiedler, N. C.; Santos, A. R.; Loureiro, E. B.; Mafia, R. G. Desempenho de alguns índices de riscos de incêndios em plantios de eucalipto no norte do Espírito Santo. Floresta e Ambiente, v.18, n.2, p.153-159, 2011.
- Bourne, A. E.; Haigh, A. M.; Ellsworth, D. S. Stomatal sensitivity to vapour pressure deficit relates to climate of origin in *Eucalyptus* species. Tree Physiology, v.35, p.266-278, 2015.
- Bowman, D. M. J.; Balch, J. K.; Artaxo, P.; Bond, W.; Carlson, J. M.; Cochrane, M. A.; D'Antonio, C. M.; DeFries, R. S.; Doyle, J. C.; Harrison, S. P.; Johnston, F. H.; Keeley, J. E.; Krawchuk, M. A.; Kull, C. A.; Marston, J. B.; Moritz, M. A.; Prentice, I. C.; Roos, C. I.; Scott, A. C.; Swetnam, T. W.; Werf, G. R.; Pyne, S. J. Fire in the Earth System. Science, v.324, n.24, p.481-484, 2009.
- Brando, P. M.; Nepstad, D. C.; Bacch, J. K.; Bolker, B.; Christman, M. C.; Coe, M.; Putz, F. Fire-induced tree mortality in a neotropical forest: the roles of bark traits, tree size, wood density and fire behavior. Global Change Biology, v.18, p.630-641, 2012.
- Brun, E. J.; Bersch, A. P.; Pereira, F. A.; Silva, D. A.; Barba, Y. R.; Junior, J. R. D. Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp.. Revista Floresta, v.48, n.1, p.87-92, 2018.
- Canzian, W. P.; Fiedler, N. C.; Brinate, I. B.; Juvanhol, R. S.; Bichi, K. N. Diferentes concentrações de retardante de fogo em plantios de eucalipto. Revista Nativa, v.4, n.4, p.195-198, 2016.

- Canzian, W. P.; Fiedler, N. C.; Loureiro, E. B.; Berude, L. C. Eficiência do uso da água em métodos de combate a incêndios em florestas plantadas. *Revista nativa*, v.6, n.3, p.309-312, 2018.
- Dietrich, J. P.; Gaest, A. L. V.; Strickland, S. A.; Hutchinson, G. P.; Krupkin, A. B.; Arkoosh, M. R. Toxicity of PHOS-CHEK LC-95A and 259F fire retardants to ocean- and stream-type Chinook salmon and their potential to recover before seawater entry. *Science of the Total Environment*, v.490, p.610-621, 2014.
- Enright, N. J.; Fontaine, J. B.; Bowman, D. M. J. S.; Brandstock, R. A.; Williams, R. Interval squeeze: altered fire regimes and demographic responses interact to threaten woody species persistence as climate changes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v.15, n.5, p.265-272, 2015.
- Fernández-Fernández, M.; Gómez-Rey, M. X.; González-Prieto, S. J. Effects of fire and three fire-fighting chemicals on main soil properties, plant nutrient content and vegetation growth and cover after 10 years. *Science of the Total Environment*, v.515-516, p.92-100, 2015.
- Fiedler, N. C.; Rodrigues, T. O.; Medeiros, M. B. 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*, v.30, n.1, p.55-63, 2006.
- Filgueiras, G. C.; Caires, M. S. L.; Carvalho, A. C.; Araújo, A. C. S.; Carvalho, A. V. Desenvolvimento local sustentável através da produção concentrada de madeira em tora no estado do Pará. *Agrossistemas*, v.9, n.2, p.102-129, 2017.
- Filho, C. M.; Martins, M. C.; Ribeiro, G. A.; Lima, G. S.; Cardoso, M. T.; Torres, C. M. M. E.; Pinto, F. B. Eficiência de um retardante de fogo de longa duração utilizado em incêndios florestais. *Ciência Florestal*, v.22, n.2, p.365-371, 2012.
- Freeman, J.; Kobziar, L.; Rose, E.; Cropper, W. A critique of the historical-fire-regime concept in conservation. *Conservation Biology*, v.31, n.5, p. 976-985, 2017.
- Gomes, L.; Miranda, H. S.; Bustamante, M. M. C. How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome? *Forest Ecology and Management*, v.417, p.281-290, 2018.
- Gordon, C. E.; Bendall, E. R.; Stares, M. G.; Collins, L.; Bradstock, R. A. Aboveground carbon sequestration in dry temperate forests varies with climate not fire regime. *Global Change Biology*, v.24, n.9, p.1-13, 2018.

- Gould, J. S.; McCaw, W. L.; Cheney, N. P. Quantifying fine fuel dynamics and structure in dry eucalypt forest (*Eucalyptus marginata*) in Western Australia for fire management. *Forest Ecology and Management*, v.262, n.3, p.531-546, 2011.
- Grell, G.; Freitas, S. R.; Fast, J. Inclusion of biomass burning in WRF-Chem: impact of wildfires on weather forecasts. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v.11, p.5289-5303, 2011.
- Guimarães, P. P.; Souza, S. M.; Fiedler, N. C.; Silva, G. Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal. *Agrarian Academy*, v.1, n.1, p.38-60, 2014.
- Hoffmann, W. A.; Jaconis, S. Y.; McKinley, K. L.; Geiger, E. L.; Gotsch, S. G.; Franco, A. C. Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna-forest boundaries. *Austral Ecology*, v.37, p.634-643, 2012.
- Industria Brasileira de Árvores. Relatório 2017. Brasília, 2017. 77 p.
- Jolly, W. M.; Cochrane, M. A.; Freeborn, P. H.; Holden, Z. A.; Brown, T. J.; Williamson, G. J.; Bowman, D. M. J. S. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, v.6, p.1-11, 2015.
- Liodakis, S.; Lois, D.; Gakis, D. The effect of $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on the spontaneous ignition properties of *Pinus halepensis* pine needles. *Fire Safety Journal*, v.31, n.5, p.481-494, 2002.
- Machado Neto, A. P.; Batista, A. C.; Biondi, D.; Soares, R. V.; Batista, A. P. B. Incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães-MT entre 2005 e 2014. *Revista Nativa*, v.5, n.5, p.355-361, 2017.
- Machado Neto, G.; Silva, F. C. P.; Biudes, M. S. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil. *Ciência e Natura*, v.36, n.3, p.459-469, 2014.
- McAllister, S.; Grenfell, I.; Hadlow, A.; Jolly, W. M.; Cohen, M. F. Piloted ignition of live forest fuels. *Fire Safety Journal*, v.51, p.133-142, 2012.
- McDowell, N. G.; Beerling, D. J.; Beerling, D. J.; Breshears, D. D.; Fisher, R. A.; Raffa, K. F.; Stitt, M. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends in Ecology and Evolution*, v.26, n.10, p.523-532, 2011.
- Melosh, H. J.; Schneider, N. M.; Zahnle, K. J.; Latham, D. Ignition of global wildfires at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Nature*, v.343, p.251-254, 1990.

- Menezes, J. A.; Palácios, R. S.; Menezes Junior, E. M.; Soares Júnior, A.; Nogueira, J. S. Caracterização espectral de propriedades ópticas de aerossóis em região de floresta tropical. *Revista Nativa*, v.6, n.5, p.451-456, 2018.
- Moreira, F.; Pe'er, G. Agricultural policy can reduce wildfires. *Science*, v.359, n.6379, p.1001, 2018.
- Moritz, M. A.; Barllori, E.; Bradstock, R. A.; Gill, A. M.; Handmer, J.; Hessburg, P. F.; Leonard, J.; McCaffrey, S.; Odion, D. C.; Schoennagel, T.; Syphard, A. D. Learning to coexist with wildfire. *Nature*, v.515, n.6, p.58-66, 2014.
- Navroski, M. C.; Araújo, M. M.; Reininger, L. R. S.; Muniz, M. F. B. M.; Pereira, M. O. Influência do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. *Revista Floresta*, v.45, n.2, p.315-328, 2015.
- Nolan, R. H.; Lane, P. N. J.; Benyon, R. G.; Bradstock, R. A.; Mitchell, P. J. Changes in evapotranspiration following wildfire in resprouting eucalypt forests. *Ecohydrology*, v.7, p.1363-1377, 2014.
- Palácios, R. S.; Sallo, F. S.; Marques, J. B.; Santos, A. C. A.; Menezes, J. A.; Biudes, M. S.; Nogueira, J. S. Variabilidade espaço-temporal da profundidade ótica de aerossóis nos biomas cerrado e pantanal da região central do Brasil. *Revista nativa*, v.6, n.1, p.56-65, 2018.
- Plucinski, M. P.; Pastor, E. Criteria and methodology for evaluating aerial wildfire suppression. *International Journal of Wildland Fire*, v.22, p.1144-1154, 2013.
- Plucinski, M. P.; Sullivan, A. L.; Hurley, R. J. A methodology for comparing the relative effectiveness of suppressant enhancers designed for the direct attack of wildfires. *Fire Safety Journal*, v.87, p.71-79, 2017.
- Prevedello, C. L.; Loyola, J. M. T. Efeito de polímeros hidrorretentores na infiltração da água no solo. *Scientia Agraria*, v.8, n.3, p.313-317, 2007.
- Ribeiro, G. A.; Lima, G. S.; Oliveira, A. L. S.; Camargos, V. L.; Magalhães, M. U. Eficiência de um retardante de longa duração na redução da propagação do fogo. *Revista Árvore*, n.30, n.6, p.1025-1031, 2006.
- Ryan, K. C.; Knapp, E. E.; Varner, J. M. Prescribed fire in North American forests and woodlands: history, current practice, and challenges. *The Ecological Society of America*, v.11, n.1, p.15-24, 2013.
- Seger, C. D.; Batista, A. C.; Vashchenko, Y.; Lorenzetto, D. Análise dos incêndios florestais em vegetação nativa de vinte e dois Municípios da região leste do estado do Paraná – Brasil. *Caminhos da Geografia*, v.13, n.43, p.30-40, 2012.

- Silva, E. C. G.; Fiedler, N. C.; Juvanhol, R. S.; Silva, G. M. A.; Neves, F. P. Análise temporal da ocorrência de incêndios florestais nas Américas e região do Caribe. *Revista Nativa*, v.6, n.5, p.491-496, 2018.
- Simioni, F. J.; Buschinelli, C. C. A.; Deboni, T. L.; Passos, B. M. Cadeia produtiva de energia de biomassa florestal: o caso da lenha de eucalipto no polo produtivo de Itapeva - SP. *Ciência Florestal*, v.28, n.1, p.310-323, 2018.
- Soares, R. V.; Batista, A. C. Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo. 1.ed. Curitiba, 2007. 250p.
- Soares, R. V.; Santos, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. *Revista Floresta*, v.32, n.2, p.219-232, 2002.
- Soler, M.; Úbeda, X. Evaluation of fire severity via analysis of photosynthetic pigments: Oak, eucalyptus and cork oak leaves in a Mediterranean forest. *Journal of Environmental Management*, v. 206, p.65-68, 2018.
- Souza, A. P.; Casavecchia, B. H.; Stangerlin, D. M. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões norte e noroeste da Amazônia Matogrossense. *Scientia plena*, v.8, n.5, p.1-14, 2012.
- Stephens, S. L.; Collins, B. M.; Fettig, C. J.; Finney, M. A.; Hoffman, C. M.; Knapp, E. E.; North, M. P.; Safford, H.; Wayman, R. B. Drought, tree Mortality, and wildfire in forests adapted to frequent fire. *BioScience*, v.68, n.2, p.77-88, 2018.
- Tetto, A. F.; Batista, A. C.; Soares, R. V. Zoneamento de risco de incêndios florestais para as florestas nacional de Irati, Estado do Paraná, Brasil. *Scientia Forestalis*, v.40, n.4, p.259-265, 2012.
- Torres, F. T. P.; Lima, G. S.; Costa, A. G.; Félix, G. A.; Júnior, M. R. S. Perfil dos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras no período de 2008 a 2012. *Revista Floresta*, v.46, n.4, p.531-542, 2016.
- Torres, F. T. P.; Roque, M. P. B.; Lima, G. S.; Martins, S. V.; Faria, A. L. L. Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. *Revista Floresta e Ambiente*, v.24, p.1-10, 2018.
- Torres, F. T. P.; Ribeiro, G. A.; Martins, S. V.; Lima, G. S. Determinação do período mais propício as ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG. *Revista Árvore*, v.34, n.2, p.297-303, 2010.
- Walker, R. B.; Coop, J. D.; Parks, S. A.; Trader, L. Fire regimes approaching historic norms reduce wildfire-facilitated conversion from forest to non-forest. *Ecosphere*, v.9, n.4, p.1-17, 2018.

- Whitman, E.; Parisien, M. C.; Thompson, D. K.; Hall, R. J.; Skakun, R. S.; Flannigan, M. D. Variability and drivers of burn severity in the northwestern Canadian boreal forest. *Ecosphere*, v.9, n.2, p.1-26, 2018.
- Young, D. J. N.; Stevens, J. T.; Earles, J. M.; Moore, J.; Ellis, A.; Jirka, A. L.; Latimer, A. M. Long-term climate and competition explain forest mortality patterns under extreme drought. *Ecology Letters*, v.20, p.78-86, 2017.