

Comportamento do fogo em diferentes concentrações e tempos pós-aplicação de retardantes em plantação de eucalipto na transição Cerrado-Amazônia no Brasil

Fire behavior in different concentrations and post-application of retardants in eucalyptus plantation in Cerrado-Amazonian Transition in Brazil

Daiane Cristina Lima¹, Adilson Pacheco de Souza^{2,*}, Josiane Fernandes Keffer¹, Fernando Gonçalves Cabeceira³, Charles Campoe Martim⁴ & Thammy Assad Souza²

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais / Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais / Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)/Sinop/MT/Brasil

² Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil

³ Secretaria de Estado de Educação do Mato Grosso/Ipiranga do Norte/MT/Brasil

⁴ Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental/Instituto de Física/Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)/Cuiabá/MT/Brasil

(*E-mail: pachecoufmt@gmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.18662>

Recebido/received: 2019.10.03

Aceite/accepted: 2020.01.22

RESUMO

Objetivou-se avaliar a eficiência de retardantes do fogo submetidos a diferentes concentrações e tempos pós-aplicação, em queimas experimentais em plantação de *Eucalyptus urograndis* (clone H13), na transição dos biomas Cerrado-Amazônia do estado de Mato Grosso, Brasil. Foram avaliados dois retardantes comerciais (Phos-Chek WD881® e Hold Fire®) e um alternativo (polímero hidroretentor – Nutrigel®), no volume de calda de 2 L m⁻², em diferentes concentrações (Phos-Chek WD881®: 0,1; 0,6; 0,8; 1,0%; Hold Fire®: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5%; Nutrigel®: 0,0010; 0,0025; 0,0050; 0,0075; 0,0100%) e tempos pós-aplicação sobre o material combustível (serapilheira) (60, 90 e 120 minutos). Avaliou-se a velocidade de propagação da frente do fogo, o comprimento das chamas e o percentual de material combustível remanescente e consumido nas queimas. Os tempos pós-aplicação de 60 e 90 minutos dos retardantes no combustível não afetam a eficácia dos produtos, todavia, após 120 minutos, ocorre redução da eficiência na ação contra o fogo. Independentemente do tempo pós-aplicação dos retardantes, as concentrações ótimas foram de 1,0; 1,5 e 0,0060% para Phos-Chek WD881®, Hold Fire® e Nutrigel®, no volume de calda de 2 L m⁻².

Palavras-chave: queimas experimentais, aceiros químicos, material combustível, incêndios florestais.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the efficiency of fire retardants submitted to different concentrations and post-application times, during experimental burning of *Eucalyptus urograndis* plantation (clone H13), in the transition of Cerrado-Amazon biomes from Mato Grosso state, Brazil. Two commercial retardants (Phos-Chek WD881® and Hold Fire®) and one alternative (hydro retainer polymer – Nutrigel®) were evaluated in the syrup volume of 2 L m⁻² at different concentrations (Phos-Chek®: 0,1; 0,6; 0,8; 1,0%; Hold Fire®: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5%; Nutrigel®: 0,0010; 0,0025; 0,0050; 0,0075; 0,0100%) and post-application times on the fuel (litter) (60, 90 and 120 minutes). The in spread of the fire front, the flames length and the percentage of remaining and consumed fuel in the burns were evaluated. The post-application times of 60 and 90 minutes of the retardants in the fuel does not affect the effectiveness of the products, however, after 120 minutes, there is a reduction in fire suppression efficiency. Regardless of the time after application of retardants, the optimal concentrations were 1.0, 1.5 and 0.0060% for Phos-Chek WD881®, Hold Fire® and Nutrigel® for the 2 L m⁻² spray volume.

Keywords: experimental burns, chemical firebreaks, fuel, wildfires.

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais têm gerado prejuízos ambientais e socioeconômicos em países como Austrália, Portugal, Chile, Estados Unidos, Canadá e Brasil (Bowman *et al.*, 2009; Enright *et al.*, 2015; Jolly *et al.*, 2015). Em relação aos prejuízos econômicos, a perda de produtividade é evidente em florestas nativas (Brando *et al.*, 2012; Tedim *et al.*, 2018) e plantadas (Campos *et al.*, 2016; Alves *et al.*, 2017), especialmente em plantações de *Eucalyptus*, matéria-prima (lenha e carvão) para os setores agrícolas, alimentícios e energéticos (Colodette *et al.*, 2014; Simioni *et al.*, 2018).

Para a mitigação dos sinistros é fundamental o aperfeiçoamento dos métodos de prevenção e combate de incêndios pelos gestores florestais, tendo como premissa o comportamento do fogo específico de cada ambiente (Hoffmann *et al.*, 2012; Ziegler *et al.*, 2017). O comportamento do fogo pode ser descrito pela intensidade do fogo, energia liberada, altura de crestamento letal da copa, velocidade de propagação da frente do fogo e comprimento das chamas (Beutling *et al.*, 2012; Gomes *et al.*, 2018). Esses parâmetros são condicionados pela interação entre material combustível (espécie vegetal, arranjo, continuidade, carga por área e umidade), relevo (plano ou acidentado) e condições micrometeorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento) (Hoffmann *et al.*, 2012; Lydersen *et al.*, 2014; Stephens *et al.*, 2018).

O processo de combustão é formado por três elementos, o comburente (oxigênio), o combustível e calor de ativação, em conjunto constituem o triângulo do fogo (Seger *et al.*, 2018). Os métodos de prevenção e combate de incêndios florestais fundamenta-se na quebra de ao menos um dos elementos citados. Nesse contexto, são eficientes os aceiros químicos constituídos de retardantes do fogo associados ou não a água, que agem na redução do calor e flamabilidade do material combustível (Filho *et al.*, 2012; Plucinski e Pastor, 2013; Plucinski *et al.*, 2017).

Os retardantes do fogo reduzem a flamabilidade do material combustível pela inibição dos gases que envolvem o seu pré-aquecimento e combustão (Canzian *et al.*, 2016; Plucinski *et al.*, 2017). Esses produtos são classificados em duas categorias

conforme o tempo de ação: i) retardantes de longa duração: conservam os resíduos inibidores da combustão após a evaporação da água do material combustível, são compostos de sulfatos ou fosfatos de amônia, e utilizados na prevenção e combate indireto de incêndios florestais; ii) retardantes de curta duração: intensificam o efeito da água pela resistência a evaporação, são espumógenos e viscosantes, utilizados no combate indireto a incêndios florestais (Liodakis *et al.*, 2002; Ribeiro *et al.*, 2006; Fiedler *et al.*, 2015; Canzian *et al.*, 2016).

Neste cenário, é fundamental o desenvolvimento de estudos com utilização de retardantes alternativos eficientes e não agressivos a natureza. Exemplo disso, são os géis polímeros hidroretentores (hidrogéis), utilizados no plantio de mudas em solos com deficiência hídrica na estação seca. Esses produtos são aglomerados de moléculas orgânicas de metilcelulose (granulares em formatos de cristais) que em contato com a água a absorvem e aumentam de tamanho e formato (gel), e posteriormente liberando-a de forma gradativa ao solo por difusão (Bartieres *et al.*, 2016). Com base no potencial de conservação de umidade pelas moléculas do polímero, o produto pode ser uma alternativa de retardante do fogo em materiais combustíveis florestais (Lima *et al.*, 2020).

Os retardantes comerciais e alternativos são promissores na redução ou extinção do fogo em incêndios florestais. Contudo, são necessários estudos direcionados ao modo de uso e o efeito dos retardantes no tempo pós-aplicação para a eficiência no combate ao fogo e redução de gastos com aplicações excessivas de retardantes, visto que no Brasil não há legislação própria ao modo de uso dos retardantes em incêndios florestais (IBAMA, 2018).

Nesse sentido, objetivou-se avaliar a eficiência de retardantes do fogo submetidos a diferentes concentrações e tempos pós-aplicação sobre o material combustível (serapilheira) em queimas experimentais em plantação de *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla* clone H13), com 6 anos de idade, na transição dos biomas Cerrado-Amazônia do estado de Mato Grosso, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do local de estudo

O experimento foi desenvolvido nos meses de julho e agosto de 2017, na Fazenda Santo Antônio (UPL3) da Companhia Brasil Foods S.A (BRF), 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. A fazenda encontra-se na transição dos biomas Cerrado e Amazônia, caracterizada pelo clima tropical quente e úmido (Aw) conforme a classificação climática de Köppen, com duas estações hídricas características: seca (maio a setembro) e chuvosa (outubro a abril), precipitação média anual de 1900 mm e temperatura média mensal do ar variando entre 22 a 25 °C (Souza *et al.*, 2013).

A área experimental consistiu em uma plantação de *E. urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla* clone H13), com 6 anos de idade, árvores no espaçamento de 3 x 3 m (linha x entrelinha) submetidas a desrama, com altura média total de 26 m e percentual de fechamento de copa de 62%. A plantação apresenta a leste bordadura com floresta nativa ripária e a oeste com área agrícola com plantios alternados de soja, milho e algodão.

Procedimentos do experimento

As parcelas de queimas experimentais apresentavam 25 x 3 m (comprimento x largura), constituídas de subparcelas de 3 x 3 m (comprimento x largura) alternadas "sem (controle)" e "com" a aplicação de retardantes do fogo (Figura 1); nas subparcelas foram considerados os tempos pós-aplicação dos retardantes de 60, 90 e 120 minutos. As queimas foram realizadas considerando cada subparcela de forma individualizada, sendo 144 subparcelas, oriundas de 48 parcelas queimadas (4 sem água e sem retardantes; 4 com aplicação apenas de água e 40 com aplicação de retardantes em diferentes concentrações). As subparcelas foram divididas em três repetições de 1 x 3 m (comprimento x largura), representadas por pontos de observações do comportamento do fogo. Entre as subparcelas foram colocadas áreas de transições de 1 x 3 m (comprimento x largura) para eliminar os resíduos das subparcelas com retardantes para as subparcelas sem retardantes (Figura 1), e ainda, para permitir a extinção do fogo após o término de queima da subparcela antecessora e o início do fogo na próxima subparcela (nesses casos foram empregados abafadores e pinga-fogos, respectivamente). Nas interfaces das parcelas foram construídos aceiros de 1m de largura para impedir a passagem do fogo para as áreas circunvizinhas (Alves *et al.*, 2017).

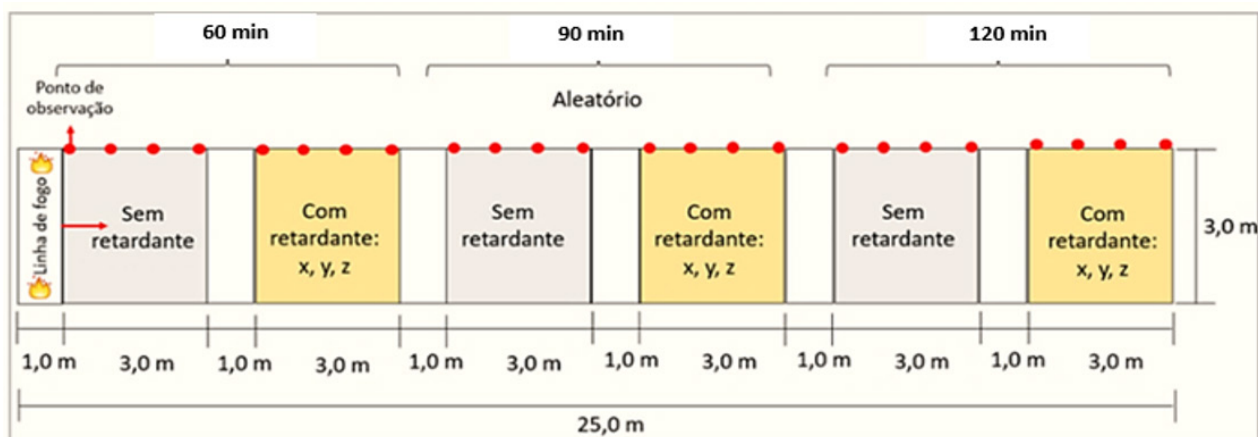


Figura 1 - Esquema das parcelas de queima experimental com aplicação de retardantes [x: Phos-chek®; y: Hold Fire®; z: Nutri-gel®, considerando diferentes concentrações (apenas água) e tempo pós-aplicação] em plantação de *E. urograndis* (clone H13), no município de Sorriso, estado de Mato Grosso, Brasil.

Nas parcelas foram empregados três retardantes do fogo diluídos em água, dois comerciais de curta duração (Phos-Chek WD881® e Hold Fire®) e um alternativo (polímero hidrotentor – comercial Nutrigel®), também as referências (apenas água e sem aplicação). Os retardantes comerciais foram aplicados segundo as recomendações dos seus fabricantes: i) Phos-Chek WD881®: retardante classe A espumoso, composto de solução de sulfonato de α -olefina, 2,4-pentanodiol, 2-metil, água, álcool laurílico e *d*-limoneno, sendo aplicado nas concentrações de 0 (apenas água); 0,1; 0,6; 0,8 e 1,0%. ii) Hold Fire®: retardante classe A oleaginoso, composto de óleos orgânicos, polímeros higroscópicos e surfactantes, sendo aplicado nas concentrações de 0 (apenas água) 0,7; 0,9; 1,1; 1,3 e 1,5%.

O polímero hidrotentor popular “hidrogel” é um condicionador hídrico do solo constituído de moléculas orgânicas de metilcelulose, utilizados na implantação de mudas em áreas agrícolas e florestais. Dessa forma, não possui recomendação para o uso como retardante do fogo. No experimento foi empregado o Nutrigel®, produto constituído de 27,80; 49,70; 8,70 e 18,10% de CaO, CaCO₃, MgO e MgCO₃, com poder de neutralização de 67,50% (classificação similar ao calcário dolomítico) e polímeros.

As concentrações do Nutrigel® foram determinadas com base em ensaios (entre 0,1 e 1,0 g L⁻¹ ou 0,0010 e 0,0100% diluídas em água) para evitar o entupimento dos bicos dos pulverizadores no momento da aplicação. Nesse caso, foram selecionadas as concentrações de 0,0010; 0,0025; 0,0050; 0,0075 e 0,0100% (dentro das recomendações agroflorestais).

As concentrações dos retardantes foram aplicadas no volume de calda de 2 L m⁻² com uma bomba costal anti-incêndio com bico de abertura em leque para uniformidade da aplicação. Em seguida, foram realizadas as queimas experimentais (uma por tratamento) em três tempos pós-aplicação dos retardantes (60; 90 e 120 minutos) para avaliar a eficiência dos retardantes na conservação de umidade do material combustível. Para cada retardante o delineamento experimental seguido foi de parcelas subdivididas no tempo, em blocos inteiramente casualizados, perfazendo um arranjo fatorial em 2 níveis 6 x 3 (concentrações do retardante x tempos pós-aplicação), com três repetições por tratamento.

Próximo a parcela de queima experimental, na mesma linha de plantio, foi realizado o levantamento do material combustível disponível por meio de coletas aleatórias de amostras destrutivas de 1 m², sendo uma amostra por parcela. Em cada amostra foi medida a espessura da serapilheira e posteriormente separada as partições vegetais nas classes: i) combustível morto (seca): folha, casca, galho com diâmetro (*d*) < 0,7 cm (G1), e galho com 0,7 ≤ *d* ≤ 2,5 cm (G2); ii) combustível vivo (verde): planta herbácea e gramínea (MH), conforme os procedimentos adotados por Alves *et al.* (2017).

As classes foram pesadas em campo para a obtenção da massa fresca úmida, e posteriormente secas em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C (±2 °C) até massa constante, para determinar a massa seca e o teor de umidade do material combustível (Alves *et al.*, 2017). A determinação da massa seca total estimada por hectare foi baseada no somatório das partições vegetais contidas na amostra.

Em seguida, foram conduzidas queimas experimentais a favor do vento entre as 10 e 14 horas (horário solar) devido ao maior potencial de propagação do fogo e poucas variações dos elementos meteorológicos pelo ângulo zenital (Lima *et al.*, 2017). Avaliou-se o comportamento do fogo por meio dos parâmetros: i) velocidade de propagação da frente do fogo (VP, em m min⁻¹), cronometrando o tempo de percurso da frente do fogo entre dois pontos de observação consecutivos; e 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.

No momento das queimas experimentais foram medidas as variáveis micrometeorológicas médias, máximas e mínimas para a temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, a cada minuto, com uma estação meteorológica automática portátil interligada a um datalogger (Instrutemp Weather Station – modelo ITH1080), instalada a 2 m de altura próximo as parcelas.

Após as queimas experimentais foi realizado o levantamento do material combustível remanescente com uma amostra aleatória de 1 m² nas subparcelas queimadas. As amostras foram 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 total do material combustível remanescente e consumido estimado com base nos valores da amostra.

Análise estatística

Os dados foram aferidos quanto a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$). Em seguida foi realizada a análise de variância (ANOVA) para as características do material combustível disponível (espessura, carga por área e teor de umidade) e do fatorial das variáveis do comportamento do fogo para cada retardante (concentração x tempo pós-aplicação). Quando observadas diferenças significativas entre as médias, foi aplicado o teste de Scott-Knott a 5% de significância. A concentração ótima de cada retardante no tempo pós-aplicação (com base nas concentrações pré-determinadas) obteve-se por meio de regressões ajustadas (lineares e polinomiais quadráticas) entre as variáveis do comportamento do fogo (variável dependente) e concentrações dos retardantes (variável independente).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do material combustível e do microclima

O material combustível disponível na plantação de *E. urograndis* não apresentou diferenças significativas ($p > 0,05$) para os parâmetros de espessura, massa seca e teor de umidade nas parcelas com os retardantes Phos-chek WD881®, Hold Fire® e Nutrigel®, respectivamente (Quadro 1). A avaliação da uniformidade do material combustível foi necessária para a determinação da eficiência dos retardantes sem interferências externas.

A espessura média do material combustível disponível foi de aproximadamente 9 cm para os três retardantes do fogo avaliados. A distribuição das classes (partições vegetais) apresentou em média maiores cargas de folhas (± 11 t ha⁻¹), seguidas de galhos médios (G2) (± 8 t ha⁻¹), galhos finos (G1) (± 4 t ha⁻¹), cascas (± 2 t ha⁻¹) e material herbáceo (classe MH) ($\pm 0,90$ t ha⁻¹) para os retardantes avaliados. Esse padrão de distribuição das classes

observadas na plantação de *E. urograndis* corrobora outros relatos científicos com levantamento do material combustível em plantações de eucalipto durante a estação seca (Alves *et al.*, 2017; Carmo *et al.*, 2018).

As massas secas totais apresentaram em média 26,75; 25,97 e 27,35 t ha⁻¹ para os retardantes Phos-Chek WD881®, Hold Fire® e Nutrigel®, respectivamente. Esse parâmetro varia conforme a idade do povoamento florestal devido ao aumento da deposição das partições vegetais com o crescimento das árvores. Por exemplo, Alves *et al.* (2017) em cultivo de *E. urograndis* com 4,5 anos obtiveram massas secas totais de 14,13 t ha⁻¹, enquanto que Borella *et al.* (2017) para a mesma área com 5 anos observaram 20,97 t ha⁻¹, e Carmo *et al.* (2018) para a mesmo cultivo com 7 anos obtiveram 31 t ha⁻¹.

Os teores de umidades nos tratamentos foram considerados baixos, inferiores a 20%, exceto para os MH com médias superiores a 40% (combustível verde). Os valores observados foram superiores aos obtidos por Alves *et al.* (2017) para a mesma área com 4,5 anos no mês de agosto, com umidade de aproximadamente 8% nas partições vegetais. Neste caso, a umidade do material combustível também é influenciada pela idade do povoamento florestal. O aumento da deposição de resíduos vegetais gera uma maior absorção de umidade do solo para as frações formadoras do material combustível, que por sua vez conservam a umidade e dificultam a evaporação para o ambiente externo (Kreye *et al.*, 2013; Slijepcevic *et al.*, 2018).

Os baixos teores de umidades observados no experimento indicaram que o material combustível da área apresentava perigos de ignição e ocorrências de incêndios florestais, visto que em umidades inferiores a 25% são considerados inflamáveis (Soares & Batista, 2007; Alves *et al.*, 2009). As características do material combustível envolvendo altas cargas de deposição, principalmente de folhas (classe com menor tempo de retardação, tempo para o equilíbrio de 2/3 da umidade da partição vegetal com as condições ambientais) e baixos teores de umidade destaca a importância dos estudos voltados ao combate de incêndios florestais em áreas com potencial risco de ocorrência (Alves *et al.*, 2017).

Quadro 1 - Levantamento do material combustível disponível (serapilheira) nas parcelas de queima experimental em planta-
ção de *E. urograndis* (clone H13), no município de Sorriso, estado de Mato Grosso, Brasil

Retardante	Classes	Concentração do retardante (%)					
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
		Espessura da serapilheira (cm)					
Phos-Chek WD881®	-	8,67	13,00	-	10,20	7,00	8,00
Hold Fire®	-	8,67	10,00	7,33	8,66	9,00	10,33
Nutrigel®	-	8,67	8,83	9,00	11,33	9,00	9,67
		Carga de combustível (t ha ⁻¹)					
Phos-Chek WD881®	Folha	11,30	11,10	-	11,80	9,80	11,30
	Casca	2,93	1,10	-	2,20	2,40	2,60
	G1	4,17	4,80	-	6,70	3,70	4,80
	G2	7,94	8,40	-	6,70	9,10	8,80
	MH	0,43	0,90	-	-	0,90	0,20
	MS total	26,76	26,45	-	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
Nutrigel®	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 WD881®	Folha	11,70	11,75	-	13,51	20,77	9,66
	Casca	11,50	9,55	-	15,46	11,64	9,65
	G1	11,20	9,07	-	12,95	10,31	10,16
	G2	10,33	7,89	-	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
Nutrigel®	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 não apresentaram diferenças pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. G1: galho fino com diâmetro (d) < 0,7 cm; G2: galho médio 0,7 ≤ d ≤ 2,5 cm; MH: material herbáceo; - ausente no tratamento; MS total: massa seca total; Concentração dos retardantes: Phos-Chek® (C₁-0; C₂-0,1; 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 Nutrigel® (C₁-0; C₂-0,0010; C₃-0,0025; C₄-0,0050; C₅-0,0075 e C₆-0,0100%).

Os elementos micrometeorológicos não apresentaram variações extremas entre os tratamentos durante as queimas controladas na área de *E. urograndis*, indicando similaridade ambiental entre as parcelas. Os valores médios de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento para o Phos-chek WD881® variam de 30,5 a 34,3 °C; 19 a 35%; 0 a 1,7 m s⁻¹, para o Hold Fire® de 30,9 a 34,9

°C; 15 a 31%; 0 a 1,3 m s⁻¹, e para o Nutrigel® de 31,4 a 34,6 °C; 15,3 a 29%; 0 a 1,2 m s⁻¹.

As condições microclimáticas aferidas no momento das queimas controladas em resposta à estação seca, envolvendo altas temperaturas do ar, baixos teores de umidade do ar e presença de ventos, aumentavam os riscos de ocorrências de incêndios

Quadro 2 - Variáveis meteorológicas monitoradas no momento das queimas experimentais com retardantes do fogo em plantação de *E. urograndis* (clone H13), no município de Sorriso, estado de Mato Grosso, Brasil

Retardante	Concentração (%)	TP (min)	T (°C)			UR (%)			VV (m s ⁻¹)		
			Méd	Máx	Min	Méd	Máx	Min	Méd	Máx	Min
Phos-Chek WD881®	0,0	60	33,8	33,8	33,7	22,5	23,0	22,0	1,0	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	27,5	28,0	27,0	1,6	1,7	1,4
	0,6		31,9	32,0	31,8	25,0	26,0	24,0	0,9	1,7	0,0
	0,8		33,0	33,2	32,7	20,0	20,0	20,0	1,2	1,4	1,0
	1,0		32,8	32,9	32,6	22,5	23,0	22,0	1,6	1,7	1,4
	0,0	90	34,0	34,1	33,9	21,5	22,0	21,0	1,1	1,4	0,7
	0,1		32,9	33,1	32,6	20,5	22,0	19,0	1,1	1,4	0,7
	0,3		32,3	32,3	32,2	25,0	26,0	24,0	0,9	1,4	0,3
	0,6		32,5	32,9	32,1	20,5	21,0	20,0	1,4	1,7	1,0
	0,8		31,2	31,4	30,9	30,5	31,0	30,0	0,0	0,0	0,0
	1,0		32,2	32,2	32,1	25,0	26,0	24,0	1,2	1,7	0,7
	0,0	120	32,7	32,7	32,6	23,0	23,0	23,0	0,0	0,0	0,0
	0,1		34,3	34,4	34,1	19,5	21,0	18,0	0,7	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	31,7		31,9	31,4	31,5	32,0	31,0	0,0	0,0	0,0	
1,0	30,5		30,7	30,3	35,0	37,0	33,0	0,9	1,0	0,7	
0,0	60		33,8	33,8	33,7	22,5	23,0	22,0	1,0	1,7	0,3
0,7		31,4	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	0,5	1,0	0,0	
1,1		32,5	32,5	32,5	20,0	20,0	20,0	1,1	1,4	0,7	
1,3		32,8	32,9	32,7	19,0	19,0	19,0	0,5	1,0	0,0	
1,5		33,8	34,1	33,5	22,5	23,0	22,0	0,7	1,4	0,0	
0,0	90	34,0	34,1	33,9	21,5	22,0	21,0	1,1	1,4	0,7	
0,7		32,0	32,1	31,9	26,5	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		33,6	33,7	33,5	22,0	22,0	22,0	0,7	1,4	0,0	
1,5		32,8	32,9	32,6	23,5	24,0	23,0	0,7	1,4	0,0	
0,0	120	32,7	32,7	32,6	23,0	23,0	23,0	0,0	0,0	0,0	
0,7		34,9	35,2	34,5	23,0	24,0	22,0	0,7	1,4	0,0	
0,9		31,2	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		33,6	34,1	33,1	24,0	24,0	24,0	0,0	0,0	0,0	
1,5		32,5	32,6	32,4	29,0	29,0	29,0	1,2	1,7	0,7	
0,0	60	33,8	33,8	33,7	22,5	23,0	22,0	1,0	1,7	0,3	
0,0010		30,3	30,5	30,1	30,5	31,0	30,0	1,7	2,0	1,4	
0,0025		32,2	32,3	32,1	28,5	25,0	32,1	1,6	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		32,1	32,8	31,4	21,5	23,0	20,0	0,0	0,0	0,0	
0,0100		33,1	33,1	33,0	23,5	24,0	23,0	1,2	1,7	0,7	
0,0	90	34,0	34,1	33,9	21,5	22,0	21,0	1,1	1,4	0,7	
0,0010		31,9	32,0	31,8	24,0	25,0	23,0	1,2	1,7	0,7	
0,0025		30,6	30,9	30,2	30,5	31,0	30,0	1,9	2,4	1,4	
0,0050		28,7	29,4	27,9	32,0	34,0	30,0	1,4	1,7	1,0	
0,0075		33,0	33,4	32,6	21,0	22,0	20,0	1,2	1,4	1,0	
0,0100		31,5	32,1	30,9	28,5	31,0	26,0	0,5	1,0	0,0	
0,0	120	32,7	32,7	32,6	23,0	23,0	23,0	0,0	0,0	0,0	
0,0010		34,6	34,8	34,3	21,0	21,0	21,0	0,7	1,4	0,0	
0,0025		33,7	34,1	33,3	25,0	26,0	24,0	0,5	1,0	0,0	
0,0050		32,7	32,7	32,7	23,5	24,0	23,0	0,7	1,4	0,0	
0,0075		31,6	31,7	31,4	25,0	25,0	25,0	0,0	0,0	0,0	
0,0100		32,5	32,6	32,4	29,0	29,0	29,0	1,2	1,7	0,7	

TP: Tempo pós-aplicação dos retardantes nas parcelas; T: temperatura do ar; UR: umidade relativa do ar; VV: velocidade do vento; méd: média; máx.: máxima; mín: mínima. *Concentração de 0% considera apenas a aplicação de água, enquanto que nas demais concentrações, considera-se os retardantes dissolvidos em água.

florestais na área (Quadro 2). Neste cenário, o ambiente tende a elevar as taxas de evaporações da água do material combustível para a atmosfera, que por consequência aumenta a sua flamabilidade e riscos de ignição e propagação do fogo (Hofmann *et al.*, 2012; Lima *et al.*, 2017).

Comportamento do fogo

As variáveis de velocidade de propagação da frente do fogo e comprimento das chamas apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) na interação fatorial dos tratamentos entre concentrações e tempos pós-aplicação em cada retardante (Quadro 3). Dessa forma, para a eficiência dos retardantes no combate ao fogo é necessário o planejamento entre modo de uso correto dos produtos e o tempo de ação requerido para o combate.

Em todos os retardantes os tratamentos controles (sem produtos ou água) apresentaram maior efeito do comportamento do fogo. A concentração de 0% (apenas água) quando aplicada em até 90 minutos sobre o material combustível disponível reduziu a velocidade de propagação da frente do fogo e o comprimento das chamas. Entretanto, após 120 minutos de aplicação foi menos eficaz no retardamento do fogo. Essa redução da eficiência da água com o prolongamento do tempo pós-aplicação deve-se ao início do processo de evaporação da água do material combustível para o ambiente externo, que na ausência de retardantes ocorre mais rápido e sem resistência (Filho *et al.*, 2012; Fiedler *et al.*, 2015; Canzian *et al.*, 2016).

Em relação às concentrações dos retardantes do fogo aplicadas nas parcelas, o Phos-chek WD881® apresentou melhor eficiência nas concentrações de 0,8 e 1%, o Hold Fire® a 1,3 e 1,5% e o Nutrigel®

Quadro 3 - Comportamento do fogo em resposta a aplicação das concentrações e tempos pós-aplicação de retardantes do fogo em queimas experimentais em plantação de *E. urograndis* (clone H13) no município de Sorriso, estado de Mato Grosso, Brasil

Concentração (%)	VP (m min ⁻¹)			L (cm)		
	Tempo pós-aplicação dos retardantes (min)					
	60	90	120	60	90	120
Phos-Chek WD881®						
Controle	0,71 Ca	0,71 Ca	0,71 Ca	90,00 Da	90,00 Ea	90,00 Da
0*	0,20 Ba	0,30 Bb	0,31 Bb	32,50 Ba	33,33 Ba	40,00 Ba
0,1	0,25 Ba	0,33 Bb	0,37 Bb	53,33 Ca	60,00 Da	60,00 Ca
0,6	0,19 Ba	0,26 Ba	0,29 Ba	23,33 Ba	45,00 Cb	50,00 Cb
0,8	0,00 Aa	0,06 Aa	0,20 Ab	0,00 Aa	3,33 Aa	25,00 Ab
1,0	0,00 Aa	0,05 Aa	0,17 Ab	0,00 Aa	5,00 Aa	50,00 Cb
Hold Fire®						
Controle	0,71 Da	0,71 Da	0,71 Ca	83,50 Ca	83,50 Ca	83,50 Ba
0*	0,20 Ca	0,30 Cb	0,30 Bb	32,50 Ba	33,33 Ba	40,00 Aa
0,7	0,18 Ca	0,16 Ba	0,26 Bb	13,33 Aa	40,00 Bb	33,33 Ab
0,9	0,19 Ca	0,17 Ba	0,30 Bb	28,33 Ba	35,00 Ba	32,50 Aa
1,1	0,13 Ba	0,16 Ba	0,23 Ab	11,66 Aa	30,00 Bb	30,00 Ab
1,3	0,00 Aa	0,00 Aa	0,18 Ab	0,00 Aa	0,00 Aa	26,67 Ab
1,5	0,00 Aa	0,00 Aa	0,19 Ab	0,00 Ab	0,00 Aa	25,00 Aa
Nutrigel®						
Controle	0,75 Ca	0,75 Ea	0,75 Da	86,00 Ea	86,00 Da	86,00 Da
0*	0,20 Ba	0,30 Db	0,31 Cb	32,50 Da	33,00 Ca	40,00 Cb
0,0010	0,17 Ba	0,18 Ca	0,23 Ca	30,00 Da	32,00 Ca	33,33 Ba
0,0025	0,13 Ba	0,13 Ba	0,17 Ba	15,00 Ba	30,00 Cb	30,00 Bb
0,0050	0,00 Aa	0,11 Bb	0,13 Bb	0,00 Aa	20,00 Bb	30,00 Bc
0,0075	0,00 Aa	0,00 Aa	0,08 Ab	0,00 Aa	0,00 Aa	20,00 Ab
0,0100	0,13 Ba	0,19 Ca	0,26 Cb	23,23 Ca	20,00 Ba	23,33 Aa

*Médias seguidas da mesma letra na linha (minúscula) e na coluna (maiúscula) não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância. VP: velocidade de propagação da frente do fogo; L: Comprimento das chamas; Controle: parcela sem aplicação de retardante ou água; 0%: considera-se apenas a aplicação de água, enquanto as demais concentrações consideram-se os retardantes diluídos em água.

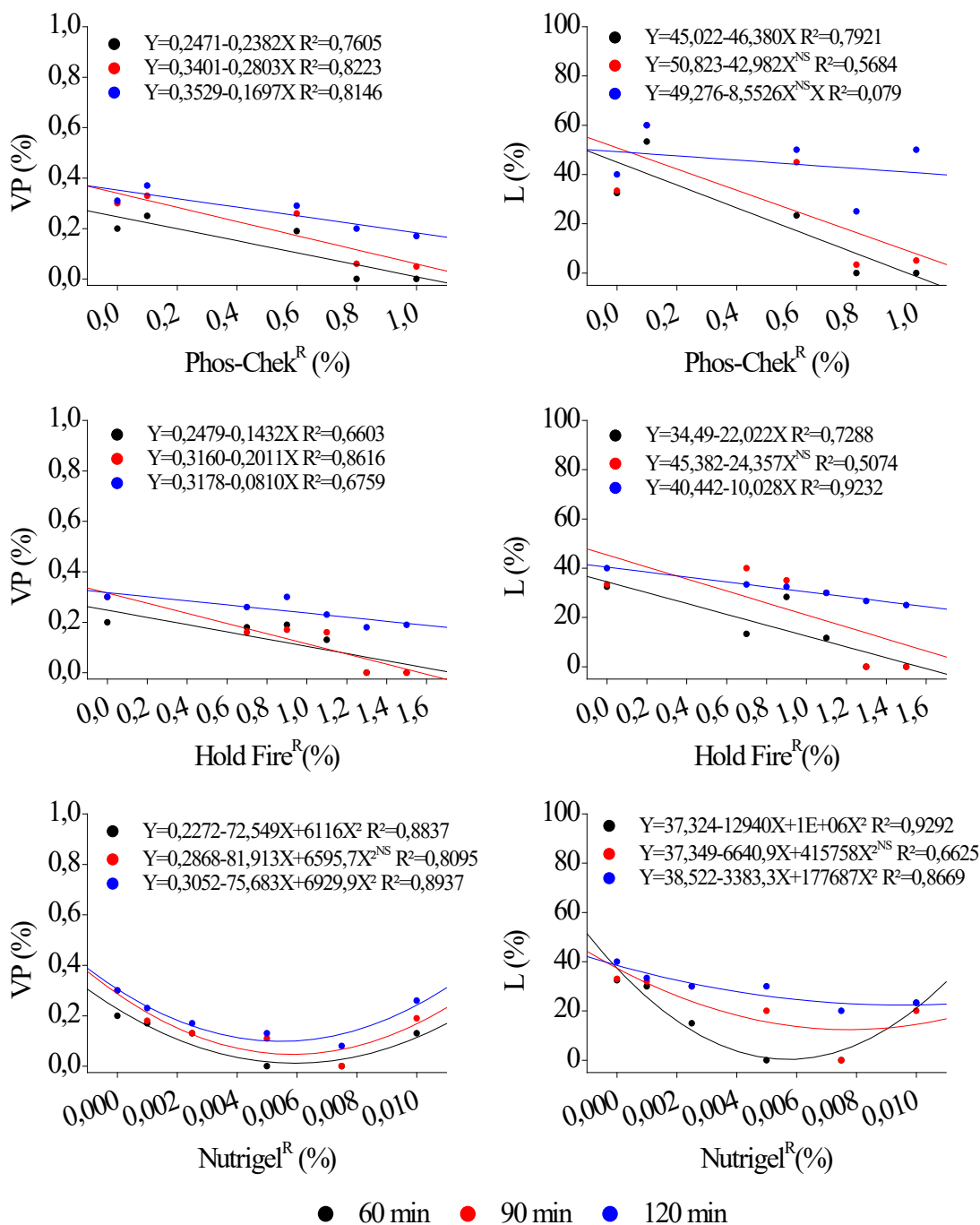


Figura 2 - Correlações entre concentrações dos retardantes e velocidade de propagação da frente do fogo (VP) (m min⁻¹) e comprimento das chamas (L) (m), em diferentes tempos pós-aplicação, em queimas experimentais em plantação de *E. urograndis* (clone H13), no município de Sorriso, estado de Mato Grosso, Brasil.

a 0,0050 e 0,0075%, ambos com a extinção do fogo após 60 minutos de aplicação sobre o material combustível. Com o aumento do tempo pós-aplicação para 90 minutos as mesmas concentrações mantiveram-se eficientes, sem diferenças significativas. O Phos-chek WD881® apresentou VP de 0,05 m min⁻¹ e L de 3,33 cm e os demais retardantes mantiveram a extinção do fogo nas áreas.

O prolongamento do tempo pós-aplicação para 120 minutos gerou a redução da eficiência das concentrações supracitadas dos retardantes. O Phos-chek WD881® na concentração de 1% apresentou VP de 0,17 m min⁻¹ e L de 50 cm, o Hold Fire® a 1,5% apresentou aumento do VP para 0,19 m min⁻¹ e L para 25 cm, e o Nutrigel® a 0,0075% apresentou VP de 0,08 m min⁻¹ e L de 20 cm. Neste caso, o aumento do tempo pós-aplicação dos retardantes sobre o material combustível afetou a eficiência dos produtos na redução do comportamento do fogo, condição esperada em retardantes de curta duração, que evaporam juntamente com a água após certo tempo de exposição ao ambiente (Ribeiro *et al.*, 2006; Fiedler *et al.*, 2015; Canzian *et al.*, 2016).

A partir das concentrações pré-determinadas em cada retardante foram obtidas as concentrações ótimas para cada produto nos diferentes tempos pós-aplicação sobre o material combustível, por meio de ajustes de modelos matemáticos gerados em análises de regressão (Figura 2). Para os retardantes Phos-chek WD881® e Hold Fire® o modelo linear apresentou melhor ajuste com correlações superiores a 80%. Entretanto, para o retardante Nutrigel® o modelo com melhor ajuste foi o polinomial quadrático com correlações superiores a 90%, quando significativos.

O aumento do tempo de pós-aplicação dos retardantes sobre o material combustível afetou na eficiência dos produtos no combate ao fogo devido a exposição ao ambiente com elevadas temperaturas do ar, baixas umidades relativas e incidências de ventos que aumentam a velocidade de evaporação da água do material combustível. Esse comportamento também foi observado por Souza *et al.* (2012) na avaliação do polímero hidrorretentor na conservação da umidade do material combustível de *Melinis minutiflora* P. Beauv., em que o tempo de exposição ao ambiente influenciou na eficiência do polímero.

A velocidade de propagação da frente do fogo apresentou melhor padrão de distribuição dos dados comparado ao comprimento das chamas, em ambos os retardantes avaliados após 90 e 120 minutos. A medição do comprimento das chamas pode ter sido afetada por alguns fatores como a avaliação visual subjetiva dos avaliadores, a instabilidade das chamas por flutuações no calor liberando gases e explosões que alteram instantaneamente o comprimento das chamas (Finney *et al.*, 2015), e a incidência de rajadas de ventos no momento da medição (Morandini *et al.*, 2006).

O aumento das concentrações nos retardantes Phos-chek WD881® e Hold Fire® melhorou a eficiência dos produtos em relação ao comportamento do fogo em todas as variáveis avaliadas. Esse padrão foi relatado em outros estudos envolvendo combate ao fogo com retardantes (Fiedler *et al.*, 2015; Canzian *et al.*, 2016; Plucinski *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2020).

Para o Nutrigel® o aumento da concentração foi eficiente até um limite (concentração intermediária) na redução do comportamento do fogo, evidenciado pela equação polinomial quadrática gerada. Assim, a maior concentração empregada de 0,0100% foi menos eficiente devido a mudança da estrutura física do produto (grumos de gel) (Balena, 1998; Andry *et al.*, 2009) com o tempo pós-aplicação sobre o material combustível. Nesse caso, o retardante ficou disposto na camada superficial do combustível, o que explica a propagação do fogo mais rápida nesse tratamento.

Com o aumento do tempo pós-aplicação dos retardantes as concentrações ótimas determinadas pelos modelos de regressão mantiveram-se eficientes, porém com menor efeito sobre a redução do comportamento do fogo após 120 minutos de aplicação sobre o material combustível. Entretanto, mesmo com o prolongamento do tempo pós-aplicação, as concentrações ótimas foram mais eficientes comparadas aos tratamentos controles e apenas água, condições importantes para o planejamento da entrada das equipes de brigadistas no combate direto de incêndios florestais em campo.

Por meio dos modelos gerados a recomendação de concentração para o Phos-chek WD881® é de 1%, o Hold Fire® de 1,5% e o Nutrigel® de 0,0060%,

ambos no volume de calda de 2 L m⁻². Os produtos podem ser aplicados em até 90 minutos para a máxima eficiência no combate ao fogo nas áreas de *E. urograndis* nas concentrações estipuladas.

No levantamento do material combustível pós-queima foi observado um padrão similar ao comportamento do fogo nos tratamentos dos retardantes (Figura 3). Após 60 minutos de aplicação dos retardantes o percentual de material combustível remanescente foi maior que o consumido pelo fogo, para o Phos-chek WD881® na concentração de 1% (60%), o Hold Fire® na concentração de 1,5% (100%), e para o Nutrigel® na concentração de 0,0075% (90%), devido a extinção do fogo nas parcelas. Após 90 minutos os retardantes Hold Fire® e Nutrigel® nas concentrações supracitadas mantiveram a alta percentagem de material remanescente ainda gerado pela extinção do fogo nas áreas,

entretanto o retardante Phos-chek WD881® por ter apresentado propagação do fogo, mesmo que lenta, consumiu o material combustível independente da concentração aplicada.

O prolongamento do tempo pós-aplicação de 120 minutos para todos os retardantes avaliado propiciou maior consumo do material combustível durante as queimas. Mesmo constatada a redução do comportamento do fogo após aplicação dos retardantes independente das concentrações aplicadas, neste tempo o fogo continuou consumindo o material combustível, com menor velocidade, justificando as altas percentagens de material combustível consumido nas parcelas (Ribeiro *et al.*, 2006; Canzian *et al.*, 2016; Alves *et al.*, 2017).

O levantamento do material remanescente e consumido pós-queima mostram a eficácia dos

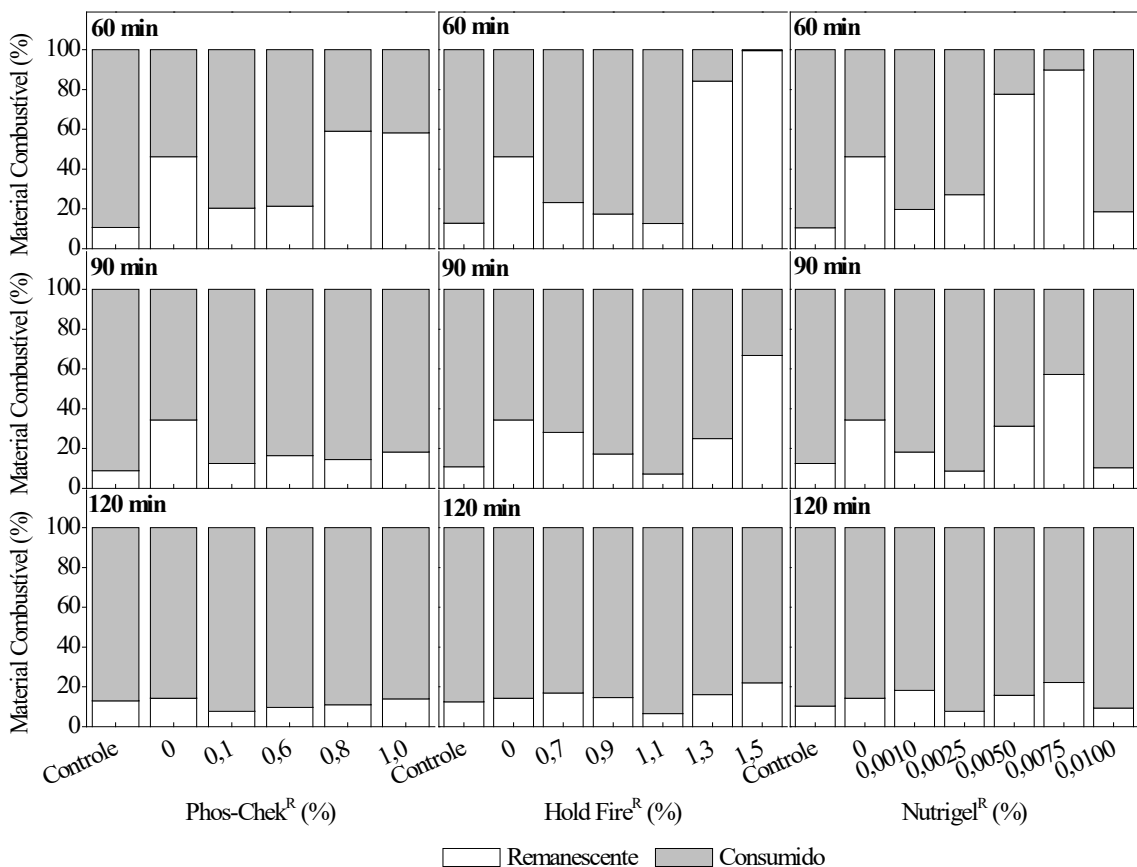


Figura 3 - Material combustível pós-queima em diferentes concentrações e tempos pós-aplicação de retardantes do fogo em queimas experimentais em plantação de *E. urograndis* (clone H13), no município de Sorriso, estado de Mato Grosso, Brasil.

retardantes apenas nas parcelas em que ocorreram a extinção do fogo. No entanto, a eficiência dos produtos não pode ser estimada apenas por essa variável, visto que nas parcelas em que ocorreram a redução do comportamento do fogo (sem extinção) o material combustível continuou queimando, com menor velocidade, havendo o consumo do material combustível nessas condições.

Contudo, ressalta-se que a dinâmica de um incêndio florestal é bastante variável pois o comportamento do fogo depende da complexa relação da cinética de combustão gasosa, degradação térmica dos combustíveis, caracterização físico-química das chamas e da cobertura vegetal, condições micrometeorológicas, topografia, e ainda, a umidade, densidade e arranjo do material combustível (Morandini *et al.*, 2006; Alves *et al.*, 2017). Esses aspectos podem inferir a limitações nesse estudo, pois além da variáveis supracitadas, o comportamento do fogo também é dependente do comprimento da linha de ignição e atinge maiores intensidades em frentes superiores a 50-100 m, ou seja, o tamanho da parcela e subparcela, denotariam dúvidas quanto ao desempenho dos retardantes em condições reais de incêndio florestal.

Nesse sentido, destaca-se que, para os materiais genéticos de *Eucalyptus* cultivados no Mato Grosso e os tratos silviculturais aplicados, dificilmente ocorrerão incêndios de copa ou com alturas superiores a 1,80 m, sendo os mesmos caracterizados como superficiais. Alves *et al.* (2017) apresentaram as variáveis descritivas do comportamento do fogo em queimas controladas em áreas com *Eucalyptus urograndis* Clone H13 (mesmo material genético avaliado nesse experimento) ao longo da estação seca (maio a setembro) da região Médio-Norte de Mato Grosso e observaram comprimentos de chamas inferiores a 1,33 m e velocidades de propagação inferiores a 0,87 m min⁻¹, condições semelhantes ao observado nesse trabalho para as parcelas que não receberam água e nem retardantes (controle). Por conseguinte, ressalta-se que apesar das limitações dadas pelas dimensões das subparcelas, espera-se semelhanças quanto aos desempenhos dos produtos em incêndios reais para materiais genéticos e manejos silviculturais semelhantes nessa região.

CONCLUSÃO

Os retardantes foram eficientes na redução do comportamento do fogo, com máxima eficiência em até 90 minutos de aplicação sobre o material combustível em área de *E. urograndis* (clone H13).

O prolongamento do tempo pós-aplicação dos retardantes para 120 minutos reduziu a eficiência dos produtos na diminuição do comportamento do fogo (velocidade de propagação da frente do fogo e comprimento das chamas) em área de *E. urograndis* (clone H13).

O polímero hidrotentor pode ser empregado como retardante do fogo como alternativa aos retardantes comerciais em área de *E. urograndis* (clone H13), seguindo as recomendações de uso estipuladas no estudo.

As recomendações de usos práticos dos retardantes para o melhor custo-benefício foram: Phos-chek WD881® na concentração de 1%; Hold Fire® na concentração de 1,5%; e Nutrigel® na concentração de 0,0060%, ambos no volume de calda de 2 L m⁻² aplicados em até 90 minutos antes da propagação do fogo sobre o material combustível de *E. urograndis* (clone H13) com 6 anos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. À Universidade Federal de Mato Grosso pelo apoio. À Empresa Brasil Foods S.A (BRF) pela disponibilidade da área de eucalipto para a realização do experimento. Ao José Renato Favaro pela doação do produto Hold Fire® para o desenvolvimento do experimento. Ao grupo de pesquisas “Interações Ambiente e Planta” por toda ajuda prática na execução do experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. & Feredá, B.G. (2017) – Fire Behavior in *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) Forest in Cerrado-Amazon Transition, Brazil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 11, n. 4, p. 60-71.
- Alves, M.V.G.; Batista, A.C.; Soares, R.V.; Koehler, H.S. & Pereira, J.F. (2009) – Modelagem de umidade do material combustível baseada em variáveis meteorológicas. *Floresta*, vol. 39, n. 1, p. 167-174. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v39i1.13736>
- Andry, H.; Yamamoto, T.; Irie, T.; Moritani, S.; Inoue, M. & Fujiyama, H. (2009) – Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality. *Journal of Hydrology*, vol. 373, n. 1-2, p. 177-183. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.04.020>
- Balena, S.P. (1998) – *Efeito de polímeros hidroretentores nas propriedades físicas e hidráulicas de dois meios porosos*. Dissertação de Mestrado. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 57p.
- Bartieres, E.M.M.; Carnevali, N.H.S.; Lima, E.S.; Carnevali, T.O. & Mallmann, V. (2016) – Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional de plantas híbridas de eucalipto. *Pesquisa Florestal Brasileira*, vol. 36, n. 86, p. 145-151. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.86.990>
- Beutling, A.; Batista, A.C.; Stolle, L.; Tetto, A.F. & Alves, M.V.G. (2012) – Fire behavior modeling based on simulated field plots. *Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires III*, vol. 158, n. 11, p. 27-37. <https://doi.org/10.2495/FIVA120031>
- Borella, D.R.; Souza, A.P.; Casavecchia, B.H.; Bouvié, L.; Carmo, F.H.D.J. & Lima, C.C. (2017) – Reconstituição do material combustível e efeitos da queima na umidade do solo em área de *Eucalyptus urograndis* Clone H13. In: *Anais do III Seminário de Gestão de Incêndios Florestais*. Cuiabá. SGIF, p.1-4.
- 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. (2009) – Fire in the Earth System. *Science*, vol. 324, n. 5926, p. 481-484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- Brando, P.M.; Nepstad, D.C.; Blach, J.K.; Bolker, B.; Christman, M.C.; Coe, M. & Putz, F. (2012) – Fire-induced tree mortality in a neotropical forest: the roles of bark traits, tree size, wood density and fire behavior. *Global Change Biology*, vol. 18, n. 2, p. 630-641. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02533.x>
- Campos, I.; Abrantes, N.; Keizer, J.J.; Vale, C. & Pereira, P. (2016) – Major and trace elements in soils and ashes of eucalypt and pine forest plantations in Portugal following a wildfire. *Science of the Total Environment*, vol. 572, p. 1363-1376. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.190>
- Canzian, W.P.; Fiedler, N.C.; Brinate, I.B.; Juvanhil, R.S. & Bichi, K.N. (2016) – Diferentes concentrações de retardante de fogo em plantios de eucalipto. *Revista Nativa*, vol. 4, n. 4, p. 195-198. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v04n04a02>
- Carmo, F.H.D.J.; Souza, A.P.; Casavecchia, B.H.; Volpato, M.; Bouvié, L. & Silva, C.C. (2018) – Litter balance in areas of *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) in a Cerrado-Amazon transition of Mato Grosso state, Brazil. *Ciência e Natura*, vol. 40, p. 1-14.
- Colodette, J.L.; Gomes, C.M.; Gomes, F.J. & Cabral, C.P. (2014) – The Brazilian wood biomass supply and utilization focusing on eucalypt. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, vol. 1, art.. 25. <https://doi.org/10.1186/s40538-014-0025-x>
- Enright, N.J.; Fontaine, J.B.; Bowman, D.M.J.S.; Brandstock, R.A.; Williams, R. (2015) – Interval squeeze: altered fire regimes and demographic responses interact to threaten woody species persistence as climate changes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 13, n. 5, p. 265-272. <https://doi.org/10.1890/140231>
- Fiedler, N.C.; Canzian, W.P.; Mafia, R.G.; Ribeiro, G.A. & Krause Junior, J. (2015) – Intensidade de queima de diferentes retardantes de fogo. *Revista Árvore*, vol. 9, n. 4, p. 691-696. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000400011>
- Filho, C.M.; Martins, M.C.; Ribeiro, G.A.; Lima, G.S.; Cardoso, M.T.; Torres, C.M.M.E. & Pinto, F.B. (2012) – Eficiência de um retardante de fogo de longa duração utilizado em incêndios florestais. *Ciência Florestal*, vol. 22, n. 2, p. 365-371. <http://dx.doi.org/10.5902/198050985743>

- Finney, M.A.; Cohen, J.D.; Forthofer, J.M.; McAllister, S.S.; Gollner, M.J.; Gorham, D.J.; Saito, K.; Akafuah, N.K.; Adam, B.A. & English, J.D. (2015) – Role of buoyant flame dynamics in wildfire spread. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 112, n. 32, p. 9833-9838. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504498112>
- Gomes, L.; Miranda, H.S.; Bustamante, M.M.C. (2018) – How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome? *Forest Ecology and Management*, vol. 417, p. 281-290. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.032>
- Hoffmann, W.A.; Jaconis, S.Y.; McKinley, K.L.; Geiger, E.L.; Gotsch, S.G. & Franco, A.C. (2012) – Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna-forest boundaries. *Austral Ecology*, vol. 37, n. 6, p. 634-643. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02324.x>
- IBAMA (2018) – *Em atendimento à solicitação efetuada pela Diretoria de Proteção Ambiental (DIPRO) para que a Diretoria de Qualidade Ambiental (DIQUA) se manifeste tecnicamente sobre o uso de retardantes de chamas aplicáveis no combate a incêndios florestais. Parecer técnico, n. 514/2018-COASP/CGASQ/DIQUA, 20 de junho de 2018.* Coordenação de Avaliação Ambiental de Substâncias e Produtos Perigosos, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília, 2018. 15p. [cit. 2019.01.09]. https://www.ibama.gov.br/phocadownload/quimicos-e-biologicos/retardantes-de-chamas/2018-SEL_IBAMA-Parecer-Tecnico-5142018-COASP-CGASQ-DIQUA.pdf
- Jolly, W.M.; Cochrane, M.A.; Freeborn, P.H.; Holden, Z.A.; Brown, T.J.; Williamson, G.J.; Bowman, D.M.J.S. (2015) – Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, vol. 6, art. 7537. <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>
- Kreye, J.K.; Kobziar, L.N. & Zipperer, W.C. (2013) – Effects of fuel load and moisture content on fire behaviour and heating in masticated litter-dominated fuels. *International Journal of Wildland Fire*, vol. 22, n. 4, p. 440-445. <https://doi.org/10.1071/WF12147>
- Lima, D.C.; Borella, D.R.; Casavecchia, B.H.; Bouvie, L.; Carmo, F.H.D.J. & Souza, A.P. (2017) – Comportamento do fogo em diferentes interfaces ambientais de uma plantação de *Eucalyptus urograndis*. In: *Anais do III Seminário de Gestão de Incêndios Florestais*. Cuiabá. SGIF, p.1-4.
- Lima, D.C.; Souza, A.P.; Cabeceira, F.G.; Keffer, J.F.; Pizzatto, M.; Borella, D.R. (2020) – Volume de calda e concentração de retardantes do fogo em queimas controladas em área de eucalipto na transição Cerrado-Amazônia. *Ciência Florestal*, in press.
- Liodakis, S.; Lois, D. & Gakis, D. (2002) – 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*, vol. 37, n. 5, p. 481-494. [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(02\)00008-5](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(02)00008-5)
- Lydersen, J.M.; North, M. & Collins, B.M. (2014) – Severity of an uncharacteristically large wildfire, the Rim Fire, in forests with relatively restored frequent fire regimes. *Forest Ecology and Management*, vol. 328, p. 326-334. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.06.005>
- Morandini, F.; Silvani, X.; Rossi, L.; Santoni, P.-A.; Simeoni, A.; Balbi, J.-H.; Rossi, J.L. & Marcelli, T. (2006) – Fire spread experiment across Mediterranean shrub: Influence of wind on flame front properties. *Fire Safety Journal*, vol. 41, n. 3, p. 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2006.01.006>
- Plucinski, M.P. & Pastor, E. (2013) – Criteria and methodology for evaluating aerial wildfire suppression. *International Journal of Wildland Fire*, vol. 22, p. 1144-1154. <http://dx.doi.org/10.1071/WF13040>
- Plucinski, M.P.; Sullivan, A.L. & Hurley, R.J. (2017) – A methodology for comparing the relative effectiveness of suppressant enhancers designed for the direct attack of wildfires. *Fire Safety Journal*, vol. 87, p. 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2016.12.005>
- Ribeiro, G.A.; Lima, G.S.; Oliveira, A.L.S.; Camargos, V.L. & Magalhães, M.U. (2006) – Eficiência de um retardante de longa duração na redução da propagação do fogo. *Revista Árvore*, vol. 30, n. 6, p. 1025-1031. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000600018>
- Simioni, F.J.; Buschinelli, C.C.A.; Deboni, T.L. & Passos, B.M. (2018) – Cadeia produtiva de energia de biomassa florestal: o caso da lenha de eucalipto no polo produtivo de Itapeva – SP. *Ciência Florestal*, vol. 28, n. 1, p. 310-323. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831602>

- Slijepcevic, A.; Anderson, W.R.; Matthews, S.; Anderson, D.H. (2018) – An analysis of the effect of aspect and vegetation type on fine fuel moisture content in eucalypt forest. *International Journal of Wildland Fire*, vol. 27, n. 3, p. 190-202. <https://doi.org/10.1071/WF17049>
- Souza, A.P.; Mota, L.L.; Zamadei, T.; Martin, C.C.; Almeida, F.T. & Paulino, J. (2013) – Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Revista Nativa*, vol. 1, n. 1, p. 34-43.
- Souza, H.N.; Araújo, T.G. & Ribeiro, G.A. (2012) – Avaliação da eficiência de um gel hidroretentor como retardante de fogo. *Revista Árvore*, vol. 36, n. 3, p. 471-477. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000300009>
- 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. (2018) – Drought, tree Mortality, and wildfire in forests adapted to frequent fire. *BioScience*, vol. 68, n. 2, p. 77-88. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix146>
- Tedim, F.; Leone, V.; Amraoui, M.; Bouillon, C.; Cooughlan, M.R.; Delogu, G.M.; Fernandes, P.M.; Ferreira, C.; McCaffrey, S.; McGee, T.K.; Parente, J.; Paton, D.; Pereira, M.G.; Ribeiro, L.M.; Viegas, D.X. & Xanthopoulos, G. (2018) – Defining extreme wildfire events: difficulties, challenges, and impacts. *Fire*, vol. 1, n. 1, art. 9. <https://www.mdpi.com/2571-6255/1/1/9#>
- Ziegler, J.P.; Hoffman, C.; Bataglia, M. & Mell, W. (2017) – Spatially explicit measurements of forest structure and fire behavior following restoration treatments in dry forests. *Forest Ecology and Management*, vol. 386, p. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.12.002>