

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

**EFEITO DE RETARDANTES DE FOGO SOBRE A GERMINAÇÃO DE  
ESPÉCIES FLORESTAIS TROPICAIS**

**JOSIANE FERNANDES KEFFER**

Sinop, Mato Grosso  
Fevereiro, 2019

**JOSIANE FERNANDES KEFFER**

**EFEITO DE RETARDANTES DE FOGO SOBRE A GERMINAÇÃO DE  
ESPÉCIES FLORESTAIS TROPICAIS**

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  
Fevereiro, 2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

F363e Fernandes Keffer, Josiane.

Efeito de retardantes de fogo sobre a germinação de espécies florestais tropicais / Josiane Fernandes Keffer. -- 2019  
83 f.: il. color.; 30 cm.

Orientador: Adilson Pacheco de Souza.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Sinop, 2019.

Inclui bibliografia.

1. Sementes florestais. 2. Fitotoxicidade. 3. Processo germinativo.  
4. Vigor de plântulas. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
 PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
 Avenida Alexandre Ferronato, nº 1.200 - Setor Industrial - Cep: 78557267 - Sinop/MT  
 Tel : 66 3531-1663/r. 206 - Email : ppgcam@ufmt.br

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO : "Efeito de retardantes de fogo sobre a germinação de espécies florestais tropicais"**

AUTOR : Mestranda Josiane Fernandes Keffer

Dissertação defendida e aprovada em 18/02/2019.

Composição da Banca Examinadora:

---

Presidente Banca / Orientador    Doutor(a)    Adilson Pacheco de Souza  
 Instituição :    UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Interno    Doutor(a)    Andréa Carvalho da Silva  
 Instituição :    UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Externo    Doutor(a)    Manoel Euzébio de Souza  
 Instituição :    Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

Examinador Suplente    Doutor(a)    Rayssa Pereira Vicentin  
 Instituição :    Universidade do Estado de Mato Grosso

Examinador Suplente    Doutor(a)    RAFAELLA TELES ARANTES FELIPE  
 Instituição :    UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

SINOP, 18/02/2019.

**Sinopse:**

Estudou-se o efeito de retardantes de fogo sobre a germinação de sementes e no crescimento de plântulas de espécies florestais tropicais.

**Palavras-chave:**

Sementes florestais, fitotoxicidade, processo germinativo, vigor de plântulas.

## DEDICO

A Rogério Antonio dos Santos, *meu esposo e companheiro de vida*, por me apoiar incondicionalmente em todos os momentos dessa caminhada e me fortalecer diante das dificuldades.

A Zeuna Fernandes de Oliveira Keffer e Técio José Keffer,  
*meus pais*,

A Rafael Fernandes de Oliveira e Izaura Pereira de Oliveira,  
*meus avós*,

A Geisibel Fernandes Keffer e a Weslei de Oliveira Keffer,  
*meus irmãos*, por compreenderem minha ausência física e mesmo com os corações saudosos e angustiados me incentivarem a seguir adiante nos estudos.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida com saúde, família e amigos, e por me permitir concluir mais essa etapa da minha vida acadêmica.

A todos os meus familiares que sempre apoiaram e me incentivaram nos estudos. Especialmente à minha mãe (Zeuna), meus irmãos (Geisibel e Wesley) e meus queridos avós (Rafael e Izaura), pelas orações, por acreditarem no meu potencial e vibrarem com minhas conquistas e pelas palavras de conforto quando tudo parecia difícil demais.

Ao Rogério “*Lindinho*”, pela cumplicidade e incentivo nessa empreitada, pelo apoio incondicional e ajuda em todas as etapas dos experimentos. Por vibrar com minhas conquistas e acreditar em mim até quando nem eu mesma acreditava.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCAM) e a Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), *Campus* Universitário de Sinop, pela oportunidade de aprendizado e formação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas de estudos, sem a qual a realização do mestrado não seria possível.

Ao professor Adilson Pacheco de Souza e à professora Andréa Carvalho da Silva, pela orientação, compreensão, disponibilidade e prontidão ao longo da minha trajetória no mestrado e pelas contribuições em minha formação acadêmica.

À Mariana Pizzatto, por todo auxílio prestado, pela amizade, conversas e conselhos, sempre com dedicação, empenho, prontidão e efetividade em ajudar no que fosse preciso.

Às amigas que a pós-graduação me trouxe, Daiane Cristina de Lima e Elen Silma Oliveira Cruz Ximenes, pela amizade sincera e companheirismo, pelos momentos de alegrias, tristezas e desabafos compartilhados ao longo dessa jornada e por toda a ajuda prestada, não só na universidade.

Ao grande amigo Peruano “*Sr. Milton*” Milton Omar Córdova Neyra, por todos os ensinamentos transmitidos, pela parceria e amizade sincera desde meu início na UFMT.

Aos amigos e colegas do Grupo de Pesquisa Interações Ambiente e Planta: Thammy Assady de Souza, Henrique Jesus Calonga, Suzana Grassi da Silva, Brena Geliane Ferneda, Kalisto Natam Carneiro Silva, Leonardo Martins Moura dos Santos, Tamara Zamadei, Daniela Roberta Borella e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Quem está ao teu lado nas trincheiras importa  
mais do que a própria guerra”.*  
(Ernest Hemingway)

## RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes concentrações de retardantes de fogo e de um Polímero Hidroretentor sobre a germinação de sementes e crescimento de plântulas de espécies florestais tropicais. Sementes de *Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth. (faveira), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (ipê-rosa), *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá) e *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (ipê-branco) foram oriundas da arborização urbana de Sinop - MT, e quando necessário, foram submetidas a tratamentos para superação de dormência, com posterior desinfestação, em solução de hipoclorito de sódio a 2% por cinco minutos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos: i) Phos-Chek® WD881 a 0,0; 0,1; 0,3; 0,6; 0,8 e 1,0 mL L<sup>-1</sup>; ii) Hold Fire® a 0,0; 0,7; 0,9; 1,1; 1,3 e 1,5 mL L<sup>-1</sup> e iii) Polímero Hidroretentor (Nutrigel®) a 0,00; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,0 g L<sup>-1</sup>, sendo os tratamentos controles (0,0) somente água destilada; e quatro repetições de 100; 30 ou 25 sementes (dependendo da espécie). Os testes de germinação foram conduzidos individualmente por espécie e produto, em laboratório, em câmaras de germinação a 30 °C e fotoperíodo de 12 horas (2500 lux), por 14 dias para cada espécie, com as sementes acondicionadas em caixas plásticas de germinação sobre papel germitest. Avaliou-se: porcentagem de germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação; vigor, comprimento e massa fresca e seca de plântulas. O retardante Phos-Chek WD881 reduziu o índice de velocidade de germinação do ipê-branco e do ipê-rosa e a primeira contagem de germinação dessas espécies e do paricá. A quantidade de plântulas normais foi reduzida em 96,3; 81,3 e 19,5% respectivamente, para essas espécies. O produto Hold Fire influenciou na porcentagem de germinação do ipê-rosa, que apresentou 97,0% a 1,1 mL L<sup>-1</sup>, e na velocidade de germinação do ipê-branco que foi de 13,69 a 0,7 mL L<sup>-1</sup>, mas não causou variações no vigor das plântulas. O Polímero Hidroretentor não influenciou na germinação nem no crescimento das plântulas, mas causou redução de 14,3% de plântulas normais do paricá. O Phos-Chek WD881 afetou negativamente os comprimentos aéreo do ipê-rosa e do paricá e radicular do ipê-branco e do ipê-rosa. Somente o ipê-rosa teve o comprimento radicular influenciado pelo Hold Fire, que apresentou 3,2 cm em 1,1 mL L<sup>-1</sup>. Com exceção do paricá, as demais espécies apresentaram leves alterações no padrão de alocação de biomassa em todos os produtos químicos. Conclui-se que o Phos-Chek WD881 pode ser fitotóxico para o ipê-branco, ipê-rosa e paricá, quando aplicado em concentração igual ou superior a 0,6 mL L<sup>-1</sup>; enquanto o Hold Fire pode beneficiar a germinação do ipê-branco e do ipê-rosa e o crescimento desta última; e o Polímero Hidroretentor não exerce nenhum efeito sobre a germinação e o crescimento das espécies florestais avaliadas.

**Palavras-chave:** sementes florestais, fitotoxicidade, processo germinativo, vigor de plântulas

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of different concentrations of fire retardants and a Hydroretent Polymer on seed germination and seedling growth of tropical forest species. Seeds of *Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth. (faveira), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (ipê-rosa), *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá) e *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (ipê-branco) originated from the urban arborization of Sinop - MT, and when necessary, were submitted to treatments to overcome dormancy, with subsequent disinfection, in 2% sodium hypochlorite solution for five minutes. The experimental design was completely randomized, with six treatments: i) Phos-Chek® WD881 at 0,0; 0.1; 0.3; 0.6; 0.8 and 1.0 mL L<sup>-1</sup>; ii) Hold Fire® at 0.0; 0.7; 0.9; 1.1; 1.3 and 1.5 mL L<sup>-1</sup>; and iii) 0.005 Hydroretent Polymer (Nutrigel®) at 0.00; 0.10; 0.25; 0.50; 0.75 and 1.0 g L<sup>-1</sup>, the controls treatments (0,0) being only distilled water; and four replicates of 100; 30 or 25 seeds (depending on the specie). Germination tests were conducted individually by species and product, in the laboratory, in germination chambers at 30 °C and photoperiod of 12 hours (2500 lux), for 14 days for each species, with the seeds packed in plastic germination boxes on paper germitest. It was evaluated: percentage of germination, first germination count, germination speed index and mean germination time; vigor, length, fresh and dry mass of seedlings. The Phos-Chek WD881 retardant reduced the germination speed index of ipê-branco and ipê-rosa and the first germination count of these species and paricá. The amount of normal seedlings was reduced by 96.3; 81.3 and 19.5%, respectively, for these species. The Hold Fire product influenced the germination percentage of of ipê-rosa, which presented 97.0% to 1.1 mL L<sup>-1</sup>, and in the speed of germination of the ipê-branco, which was 13.69 to 0.7 mL L<sup>-1</sup>, but did not cause variations in vigor of the seedlings. The Hydroretent Polymer did not influence germination or seedling growth, but caused 14.3% reduction of normal seedlings. The Phos-Chek WD881 adversely affected the aerial lengths of the ipê-rosa and the paricá and root of the ipê-branco and the ipê-rosa. Only the ipê-rosa had the root length influenced by the Hold Fire, which presented 3.2 cm in 1.1 mL L<sup>-1</sup>. With the exception of paricá, the other species showed slight changes in the pattern of biomass allocation in all chemical products. It is concluded that Phos-Chek WD881 can be phytotoxic for ipê-branco, ipê-rosa and paricá, when applied in concentration equal to or greater than 0.6 mL L<sup>-1</sup>; while Hold Fire can benefit the germination of ipê-branco and ipê-rosa and the growth of the latter; and the Hydroretent Polymer has no effect on the germination and growth of the evaluated forest species.

**Key words:** forest seeds, phytotoxicity, germination process, seedling vigor

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Geral.....	3
2.2 Específicos .....	3
3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	4
CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA .....	5
4.1 Germinação de sementes florestais.....	5
4.1.1 Fatores que influenciam a germinação.....	6
4.1.1.1 Fatores inerentes às sementes.....	6
4.1.1.2 Fatores ambientais.....	6
4.2 Incêndios florestais e produtos utilizados no combate ao fogo .....	9
4.2.1 Retardantes de fogo.....	10
4.2.2 Efeitos do uso de retardantes de fogo aos organismos e ao ambiente.....	12
4.2.3 Hidrogel como retardante de fogo alternativo.....	15
4.3 Caracterização das espécies florestais tropicais estudadas .....	17
4.3.1 <i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth. ....	17
4.3.2 <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos.....	17
4.3.3 <i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke.....	18
4.3.4 <i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith .....	19
4.4 Descrição dos produtos químicos avaliados .....	19
REFERÊNCIAS .....	20
CAPÍTULO 2 – Artigo .....	31
Efeito de retardantes de fogo sobre a germinação de espécies florestais tropicais .....	31
1 INTRODUÇÃO.....	35
2 METODOLOGIA.....	36
2.1 Coletas e caracterização das sementes.....	36
2.2 Testes de germinação .....	38
3 RESULTADOS .....	43
3.1 Phos-Chek WD881: germinação e vigor .....	43
3.2 Hold Fire: germinação e vigor .....	46
3.3 Polímero Hidroretentor: germinação e vigor .....	48
3.4 Crescimento de plântulas .....	51

3.4.1 Partição de biomassa das plântulas .....	53
4 DISCUSSÃO .....	55
4.1 Phos-Chek WD881: germinação e vigor .....	55
4.2 Hold Fire: germinação e vigor .....	58
4.3 Polímero Hidroretentor: germinação e vigor .....	59
4.4 Crescimento de plântulas .....	60
5 CONCLUSÕES .....	63
AGRADECIMENTOS .....	63
LITERATURA CITADA .....	63
CONCLUSÃO GERAL E SUGESTÕES .....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sementes e árvores matrizes de quatro espécies florestais tropicais. Faveira ( <i>E. schomburgkii</i> ) (A e B), ipê-branco ( <i>T. roseoalba</i> ) (C e D), ipê-rosa ( <i>H. impetiginosus</i> ) (E e F) e paricá ( <i>S. amazonicum</i> ) (G e H) na transição Cerrado-Amazônia, Sinop - MT, 2017 .....	38
Figura 2. Aspecto dos produtos químicos diluídos e aplicados em sementes de faveira ( <i>E. schomburgkii</i> ). Produtos químicos diluídos em suas maiores concentrações (A), Phos-Chek WD881 a 1,0 mL L <sup>-1</sup> (B), Hold Fire a 1,5 mL L <sup>-1</sup> (C), Polímero Hidroretentor a 1,0 g L <sup>-1</sup> (D).....	40
Figura 3. Plântulas normais (imagens superiores) provenientes do tratamento controle e anormais (imagens inferiores) de <i>E. schomburgkii</i> em 0,10 g L <sup>-1</sup> de Polímero Hidroretentor (A e E), <i>T. roseoalba</i> em 0,8 mL L <sup>-1</sup> de Phos-Chek WD881 (B e F), <i>H. impetiginosus</i> em 1,0 mL L <sup>-1</sup> de Phos-Chek WD881 (C e G) e <i>S. amazonicum</i> em 0,6 mL L <sup>-1</sup> de Phos-Chek WD881 (D e H) (faveira, ipê-branco, ipê-rosa e paricá), ambas aos 14 dias após a semeadura.....	41
Figura 4. Variáveis de germinação de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Phos-Chek WD881. Porcentagem de germinação aos 14 dias após a semeadura (A), índice de velocidade de germinação - IVG (B), primeira contagem de germinação - PCG, realizada aos sete dias após a semeadura (C) e tempo médio de germinação - TMG (D).....	44
Figura 5. Percentuais médios de plântulas normais, anormais e sementes não germinadas (sementes mortas e duras) de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Phos-Chek WD881 .....	45
Figura 6. Variáveis de germinação de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Hold Fire. Porcentagem de germinação aos 14 dias após a semeadura (A), índice de velocidade de germinação - IVG (B), primeira contagem de germinação - PCG, realizada aos sete dias após a semeadura (C) e tempo médio de germinação - TMG (D).....	47
Figura 7. Percentuais médios de plântulas normais, anormais e sementes não germinadas (sementes mortas e duras) de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Hold Fire.....	48
Figura 8. Variáveis de germinação de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Polímero Hidroretentor. Porcentagem de germinação aos 14 dias após a semeadura (A), índice de velocidade de germinação - IVG (B), primeira contagem de	

germinação - PCG, realizada aos sete dias após a semeadura (C) e tempo médio de germinação - TMG (D).....	49
Figura 9. Percentuais médios de plântulas normais, anormais e sementes não germinadas (sementes mortas e duras) de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Polímero Hidroretentor.....	50
Figura 10. Comprimento da parte aérea (A) e da raiz (B) de plântulas de espécies florestais tropicais submetidas a diferentes concentrações de Phos-Chek WD881 aos 14 dias após a semeadura .....	51
Figura 11. Comprimento da parte aérea (A) e da raiz (B) de plântulas de espécies florestais tropicais submetidas a diferentes concentrações de Hold Fire aos 14 dias após a semeadura .....	52
Figura 12. Comprimento da parte aérea (A) e da raiz (B) de plântulas de espécies florestais tropicais submetidas a diferentes concentrações de Polímero Hidroretentor aos 14 dias após a semeadura.....	53
Figura 13. Percentuais médios de biomassa acumulada de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Phos-Chek WD881, Hold Fire e Polímero Hidroretentor. Partição de massa fresca aérea e da raiz (A) e massa seca aérea e da raiz (B) de plântulas submetidas a diferentes concentrações de Phos-Chek WD881, partição de massa fresca aérea e da raiz (C) e massa seca aérea e da raiz (D) de plântulas submetidas a diferentes concentrações de Hold Fire, partição de massa fresca aérea e da raiz (E) e massa seca aérea e da raiz (F) de plântulas submetidas a diferentes concentrações de Polímero Hidroretentor, aos 14 dias após a semeadura .....	54
Figura 14. Plântulas de ipê-branco ( <i>T. roseoalba</i> ) nos tratamentos controle (A) e a 1,0 mL L <sup>-1</sup> de Phos-Chek WD881 (B), ambas aos 14 dias após a semeadura, Sinop - MT, 2018 .....	57
Figura 15. Plântulas de ipê-branco ( <i>T. roseoalba</i> ) no tratamento de 0,8 mL L <sup>-1</sup> de Phos-Chek WD881 aos 14 dias após a semeadura, Sinop - MT, 2018 .....	58

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Os incêndios florestais estão entre os fatores responsáveis por inúmeros impactos econômicos, sociais e ambientais em diferentes regiões (Latha & Kumar, 2016; Soares et al., 2017) e têm causado preocupações em função das perdas da biodiversidade, alterações no balanço de carbono de áreas florestadas, incremento de aerossóis e gases de efeito estufa na atmosfera, riscos às populações, dentre outros (Almeida, 2018; Andrade Filho et al., 2017; Menezes et al., 2018; Palácios et al., 2018; Soler & Úbeda, 2018; Stephens et al., 2018). Esse tipo de perturbação é o principal responsável pela perda de habitats e, conseqüentemente pela extinção de espécies (Maraboti et al., 2016).

Mesmo adotando práticas protecionistas, todos os anos extensas áreas florestais são queimadas pelo mundo inteiro (Soares et al., 2017). Objetivando encontrar técnicas de prevenção e/ou combate aos incêndios florestais, várias alternativas foram desenvolvidas, com destaque nesse caso, para os produtos químicos retardadores e/ou supressores de fogo (Canzian et al., 2016; Marshall et al., 2016; Plucinski et al., 2017).

Esses produtos podem ser classificados em retardantes de curta e de longa duração, que diferem entre si, principalmente pelo tempo de duração do efeito da sua ação após aplicação (Liodakis et al., 2002; Pastor Ferrer, 2004; Ribeiro et al., 2006). Os retardantes têm sido considerados uma importante ferramenta no combate de incêndios florestais, principalmente através de aplicações aéreas (Angeler et al., 2004; Giménez et al., 2004). Esses produtos químicos são considerados fundamentais no combate aos incêndios florestais (Ribeiro et al., 2006), no entanto, eles são comumente utilizados em áreas naturais frágeis (Adams & Simmons, 1999). Nesse sentido, Song et al. (2014) argumentam que os impactos do uso dos retardantes sobre os organismos e o ambiente são pouco conhecidos.

No Brasil, o uso de retardantes de fogo ainda é incipiente (Batista, 2009), todavia, esses produtos estão disponíveis comercialmente, e despertam preocupações, pois não há legislação normativa para o uso no país (IBAMA, 2018), aliado ainda, ao pouco conhecimento dos efeitos ambientais e aos custos desses produtos (Ribeiro, 2011).

O enfoque das pesquisas a respeito desses produtos no Brasil é voltado para sua eficiência no combate aos incêndios. Assim, estudos que avaliem os impactos do uso de retardantes de fogo sobre os ecossistemas e organismos, são ainda necessários. Nesse contexto, alguns estudos pelo mundo já relataram determinados efeitos dos retardantes químicos, como a contaminação de riachos e morte de peixes (Boer et al., 1998), redução da germinação de

sementes (Angeler et al., 2004; Luna et al., 2007; Song et al., 2014) e consequente alteração de comunidades vegetais (Larson et al., 1999), dentre outros.

No entanto, outros produtos têm sido investigados como alternativa de retardantes de fogo, como os polímeros hidrotentores (Bordado & Gomes, 2007; Souza et al., 2012), que por serem biodegradáveis, contribuem para a preservação ambiental (Li et al., 2016) e, em geral, apresentam boa hidrofiliidade, biocompatibilidade, atoxidade e flexibilidade (Tavakol et al., 2016).

Assim, esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes concentrações de dois retardantes de fogo e de um polímero hidrotentor sobre a germinação de sementes e o crescimento de plântulas, de espécies florestais tropicais, bem como identificar possíveis efeitos fitotóxicos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Avaliar o efeito de diferentes concentrações de produtos químicos retardantes de fogo sobre o processo da fisiologia da germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas de quatro espécies florestais tropicais.

### 2.2 Específicos

- i) Avaliar o efeito de diferentes concentrações dos produtos retardantes de fogo Phos-Chek WD881 e Hold Fire e de um Polímero Hidroretentor nas taxas de germinação de sementes de quatro espécies arbóreas tropicais.
- ii) Avaliar o vigor de plântulas de quatro espécies florestais tropicais em diferentes concentrações dos retardantes de fogo Phos-Chek WD881 e Hold Fire e de um Polímero Hidroretentor.
- iii) Identificar possíveis efeitos fitotóxicos de Phos-Chek WD881, Hold Fire e Polímero Hidroretentor sobre plântulas de faveira (*Enterolobium schomburgkii*), ipê-branco (*Tabebuia roseoalba*), ipê-rosa (*Handroanthus impetiginosus*) e paricá (*Schizolobium amazonicum*).

### **3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação apresenta a estrutura dividida em dois capítulos. O primeiro capítulo trata-se de uma revisão de literatura sobre a germinação de sementes, incêndios florestais, produtos retardantes utilizados no combate ao fogo e seus impactos e descrição das espécies florestais tropicais examinadas neste estudo. O segundo capítulo trata-se do artigo científico sobre o efeito dos retardantes de fogo sobre a germinação e crescimento de plântulas de espécies florestais tropicais.

Sequencialmente é apresentada a conclusão geral e sugestões para novas propostas de pesquisa sobre o tema. Os capítulos estão na forma de artigos e, foram formatados para submissão em revista com Qualis igual ou superior a B2 na área de Ciências Ambientais, conforme resolução do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

## CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4 REVISÃO DE LITERATURA

#### 4.1 Germinação de sementes florestais

A germinação tem início com a absorção de água pela semente através do processo de embebição, no qual ocorre a retomada das atividades metabólicas, e finaliza com o crescimento do eixo embrionário, em geral a radícula (Kerbaudy, 2004; Taiz et al., 2017). Fisiologicamente, a germinação se encerra quando a radícula rompe o tegumento da semente, entretanto, em tecnologia de sementes esse processo significa a formação de plântulas que possam ser avaliadas quanto ao seu potencial de sobrevivência, através de suas estruturas morfológicas normais (Borges & Rena, 1993; Kerbaudy, 2004; Marcos Filho, 2005).

Bewley (1997) atribui ainda a terminologia de germinação visível, na qual ele considera a penetração pela radícula dos tecidos que envolvem o embrião como o sinal visível do fim desse processo. Enquanto os eventos subsequentes, inclusive a mobilização das reservas de armazenamento, ele diz que são associados ao crescimento das plântulas. No sentido restrito, o período de germinação é compreendido pelo tempo entre a embebição das sementes e o surgimento da radícula (Bewley & Downie, 1996).

Como todos os outros processos biológicos, a germinação consome energia, a qual é proveniente da oxidação de substâncias de reserva da própria semente, ou seja, através da respiração (Carvalho & Nakagawa, 2012). Segundo Taiz et al. (2017), água, temperatura, oxigênio e frequentemente luz e nitrato são requeridos em quantidades adequadas para a germinação ocorrer, de modo que, a água é o fator mais essencial, pois ela gera a pressão de turgor que potencializa a expansão celular, a qual é responsável pelo crescimento e desenvolvimento vegetativo.

O processo de germinação de sementes é dividido em três fases ou estágios, relacionados à absorção de água, de acordo com Taiz et al. (2017) e Bareke (2018). Sendo que o primeiro é marcado pela rápida absorção inicial de água (embebição) para a hidratação das sementes e consequente ativação do metabolismo, seguido pelo aumento da respiração e síntese de proteínas. No segundo estágio a embebição diminui e os processos metabólicos são retomados, incluindo transcrição e tradução, ocorrendo o consumo das reservas da semente em cotilédones ou endosperma e, translocação para o crescimento embrionário, o que leva a emergência da radícula (Carvalho & Nakagawa, 2012). Por fim, na terceira fase com a redução do potencial

hídrico, devido a divisão celular e o crescimento da plântula, a absorção de água reinicia (Carvalho & Nakagawa, 2012).

O sucesso da germinação é alcançado com a formação e estabelecimento de mudas, que depende das respostas germinativas das sementes a vários fatores (Tobe et al., 2005). Assim, o potencial germinativo das sementes pode ser influenciado por fatores que podem ser tanto internos da própria semente quanto externos, relacionados ao ambiente (Carvalho & Nakagawa, 2012; Bareke, 2018).

#### **4.1.1 Fatores que influenciam a germinação**

##### **4.1.1.1 Fatores inerentes às sementes**

Características morfológicas relacionadas ao tegumento e tamanho das sementes influenciam seu desempenho germinativo, pois podem determinar o grau de permeabilidade à água e a capacidade de germinação e sobrevivência das plântulas (Kerbaudy, 2004). Assim, sementes de algumas espécies podem apresentar algum mecanismo estrutural ou fisiológico, denominado dormência, o qual evita que a germinação ocorra em condições desfavoráveis para o crescimento vegetal (Bareke, 2018).

As características genéticas determinam a longevidade, que é o período que uma semente pode viver, enquanto a interação entre os fatores genéticos e ambientais determina a viabilidade, que é o tempo que a semente realmente vive (Carvalho & Nakagawa, 2012). A viabilidade pode garantir o potencial germinativo ao longo do tempo, enquanto a longevidade na fase pós-dispersão da semente que é definida durante o seu desenvolvimento, determina se as sementes são tolerantes ou sensíveis ao dessecamento, e nesse aspecto são classificadas como ortodoxas ou recalcitrantes, respectivamente (Kerbaudy, 2004), indicando as condições de armazenamento adequadas para cada classe.

A germinação de sementes também pode ser estimulada ou inibida pela ação de fitohormônios naturais, como por exemplo as giberelinas, que atuam na regulação da germinação e quebra de dormência (Bareke, 2018). Segundo Taiz et al. (2017), as giberelinas atuam na ativação do crescimento do embrião, no enfraquecimento do endosperma em torno do embrião e na mobilização das reservas.

##### **4.1.1.2 Fatores ambientais**

Os fatores ambientais influenciam a germinação tanto na fase de formação e maturação da semente, quanto no período pós-dispersão (Kerbaudy, 2004). Sendo que os fatores água,

temperatura, oxigênio e luz influenciam essas duas fases (Carvalho & Nakagawa, 2012; Kerbauy, 2004), de modo que os efeitos podem variar em função da espécie (Bentsink & Koornneef, 2008) sendo a água considerada o mais essencial entre esses (Taiz et al., 2017).

A água atua como reagente ou substrato para diversas reações celulares, como por exemplo a hidrólise de macromoléculas, como a do amido em açúcares solúveis, que são fundamentais no processo germinativo (Pimentel, 2004). A absorção de água promove a reidratação dos tecidos e conseqüente intensificação da respiração e de outras atividades metabólicas, que fornecem energia e nutrientes para o crescimento do eixo embrionário (Carvalho & Nakagawa, 2012).

De acordo com Kerbauy (2004), a luz é considerada o sinal do ambiente controlador da germinação de sementes de muitas espécies, podendo atuar tanto na indução ou quebra da dormência quanto na germinação propriamente dita. Entretanto, Carvalho & Nakagawa (2012) afirmam que a luz não exerce nenhum efeito sobre o processo germinativo de fato.

A temperatura influencia a germinação através da ação sobre a velocidade de absorção de água e nas reações bioquímicas (Carvalho & Nakagawa, 2012), atuando também tanto na indução ou quebra da dormência quanto no crescimento embrionário (Kerbauy, 2004), conseqüentemente influenciando a taxa de germinação (Bareke, 2018).

Apesar de ser considerado fundamental no processo de germinação, o oxigênio é requerido em níveis usualmente baixos, o que mostra que dificilmente esse elemento seja um fator limitante da germinação (Carvalho & Nakagawa, 2012). Devido à dificuldade de absorção desse elemento, a energia utilizada na fase inicial da germinação é proveniente da respiração anaeróbica (Carvalho & Nakagawa, 2012), e semelhante a absorção de água, a absorção do oxigênio também ocorre segundo um padrão trifásico (Bewley & Black, 1994).

Dessa forma, a etapa da germinação das sementes é um momento de risco no ciclo de vida das plantas (Harper, 1977) e, por ser um processo irreversível, se ocorrer na ocasião ou local desfavorável leva a morte de um potencial indivíduo (Kigel & Galili, 1995). Portanto, as condições ambientais são fatores determinantes no processo de germinação e, atuam na probabilidade de sucesso da planta completar seu ciclo de vida (Baskin & Baskin, 1988; Schütz, 2000; Vandeloek et al., 2008).

Associados aos fatores ambientais, têm-se os fatores químicos que podem influenciar no processo de germinação. Estes podem ser caracterizados por substâncias orgânicas, que podem ser liberadas no ambiente natural por plantas ditas alelopáticas, como por exemplo fenilpropanoides e derivados do ácido benzoico e, por inorgânicas e orgânicas sintéticas, as

quais são aplicadas no solo, como por exemplo os pesticidas (Kerbaudy, 2004; Marcos-Filho, 2005) e fertilizantes químicos (Sangoi et al., 2009).

Diversos são os compostos químicos relatados exercendo tanto efeitos positivos quanto negativos na germinação de sementes. Como as nanopartículas de SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Zn e ZnO (Lu et al., 2002; Lin & Xing, 2007; Dastjerdi et al., 2016), os compostos orgânicos acetofenona, 4-metilguaiaicol, fenol o-cresol e 2,3-xilenol (Mu et al., 2003), os compostos nitrogenados NaN<sub>3</sub>, NaNO<sub>2</sub>, KNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Carmona, 1997; Pérez-Fernández & Rodríguez-Echeverría, 2003; Angeler et al., 2004; Kołodziejek et al., 2017), além dos compostos organofosforados, principalmente os ésteres de ácido fosfórico e seus derivados, como os fosfatos (Grant et al., 2001, Angeler et al., 2004; Bell et al., 2005; Barboza et al., 2018). Sendo que estes últimos dois grandes grupos além de estarem presentes na composição de fertilizantes e pesticidas, também são os principais compostos dos retardantes de fogo (Poulton et al., 1997; Angeler et al., 2004; Bell et al., 2005; Sangoi et al., 2009; Tavares et al., 2013; Borsoi et al., 2014; Kołodziejek et al., 2017; Barboza et al., 2018).

Assim, o processo de germinação também pode ser influenciado pela aplicação de retardantes de fogo na prevenção e combate aos incêndios florestais (Adams & Simmons, 1999; Angeler et al., 2004; Bell et al., 2005; Luna et al., 2007), que ainda, pode ser agravado a depender das características físicas da semente (Song et al., 2014).

Os efeitos dos retardantes de fogo sobre a germinação de sementes e as respostas fisiológicas das plantas são de particular interesse ambiental, pois são de extrema importância para a dinâmica dos ecossistemas (Song et al., 2014). Além de que os custos de reparação dos danos causados pela supressão do fogo podem ser muito altos, e dependendo do dano, pode até ser irreversível (Adams & Simmons, 1999).

Song et al. (2014) afirmam que as taxas de germinação de sementes de *Pinus densiflora*, *Pinus rígida* e *Brassica campestris* foram significativamente afetadas pelos tratamentos com espumas de supressão de fogo, sendo que ambas as espécies apresentaram taxas de germinação muito menores em comparação com o tratamento controle (água), mesmo nos tratamentos mais diluídos e, se agravando quanto maior era o tempo de exposição aos produtos. Esses autores afirmam ainda que, a solução não diluída indicou uma natureza extremamente fitotóxica, devido à baixa taxa de germinação das sementes quando expostas por apenas uma hora. Dessa forma, o uso de espumas e retardantes de fogo de longo prazo em áreas naturais com alto valor de conservação, reforça a necessidade de uma avaliação mais criteriosa e abrangente de seus potenciais impactos ecológicos nos ecossistemas (Adams & Simmons, 1999), bem como

incentiva a busca por produtos alternativos que visem auxiliar na solução de problemáticas ambientais, como os incêndios florestais.

#### **4.2 Incêndios florestais e produtos utilizados no combate ao fogo**

As florestas são recursos imprescindíveis e desempenham papel fundamental na manutenção do equilíbrio ecológico da terra (Torres et al., 2016). Dentre os fatores responsáveis pelo desmatamento destacam-se os cortes rasos, o furto de árvores, os incêndios florestais, dentre outros (Latha & Kumar, 2016).

O fogo pode ser um elemento natural de alguns ecossistemas florestais, influenciando em muitas de suas funções, tais como a regulação da sucessão vegetal e do habitat, a reciclagem de nutrientes, redução da biomassa e o controle de doenças e insetos (Assaker et al., 2012). Todavia, conceitualmente o incêndio florestal é a propagação livre ou descontrolada de fogo em florestas e outras formas de vegetação (Soares & Santos, 2002).

Embora o fogo tenha impactos positivos em muitos processos naturais dos ecossistemas (Acuna et al., 2010), os incêndios florestais originários tanto por causas naturais quanto por ações antrópicas, causam a destruição da biodiversidade (Maraboti et al., 2016). Além de outros impactos negativos, como a poluição do ar e da água, a degradação e erosão do solo, a desertificação, o comprometimento da segurança e saúde humana, a destruição de habitats naturais e, conseqüentemente, uma das maiores causas da extinção de espécies (Batista, 2004; Assaker et al., 2012; Maraboti et al., 2016).

Entretanto, existem muitas áreas no mundo que precisam do fogo para a conservação de espécies vegetais, as quais são denominadas de ecossistemas dependentes do fogo (Soares et al., 2017). Contudo, esses autores alertam que, em outras áreas o fogo pode ser fator de destruição e até levar espécies nativas e seus habitats à extinção, as quais são denominadas de ecossistemas sensíveis ao fogo.

De acordo com Soares & Batista (2006), anualmente, os incêndios florestais no Brasil estão tornando-se cada vez mais críticos, apresentando aumento da extensão de área queimada bem como os conseqüentes danos ao ambiente e à sociedade. Sendo que, o primeiro levantamento nacional de ocorrência de incêndios florestais no Brasil foi realizado apenas em 1983 (Soares et al., 2017). De acordo com esses autores, o mais recente levantamento registrou entre 1998 e 2002 um total de 19.377 incêndios em áreas protegidas, atingindo mais de 85.700 ha.

Muitos desses incêndios ocorrem predominantemente em áreas naturais que estão sendo ocupadas por habitação humana (Torres et al., 2016). Esses autores afirmaram ainda que, com

o aumento de populações nessas áreas, conseqüentemente, aumenta-se os riscos de perdas econômicas e humanas em decorrência de incêndios florestais. Com o aumento da frequência e severidade desses eventos, a busca pela melhoria das técnicas de combate aos incêndios tem se intensificado (Song et al., 2014). Nesse contexto, os esforços de combate aos incêndios florestais são crescentes, devido ao aumento do desenvolvimento humano na interface urbano-florestal (Marshall et al., 2016).

Mesmo com a adoção de práticas protecionistas, anualmente os incêndios destroem extensas áreas florestais em todo o mundo (Soares et al., 2017). Assim, com a finalidade de auxiliar no combate aos incêndios florestais, ao longo dos últimos anos, foram desenvolvidos vários produtos químicos, como as espumas de supressão e os retardantes, visando diminuir a propagação do fogo (Larson et al., 1999).

#### **4.2.1 Retardantes de fogo**

Devido ao expressivo aumento das ocorrências e dimensões dos incêndios florestais em todo o mundo, o uso de produtos químicos de combate a incêndios tornou-se muito comum (Barreiro et al., 2016), sendo que, os produtos retardadores de fogo, constituem-se atualmente, em uma importante estratégia para os bombeiros nesse processo (Giménez et al., 2004).

De acordo com Ribeiro et al. (2006), um retardante de fogo é um agente químico que quando utilizado sozinho ou diluído em água, reduz ou elimina a combustão do material combustível, que é transformado diretamente em carvão após a liberação da água, pois não ocorre a liberação de gases inflamáveis. Segundo Chandler et al. (1983), a eficácia desse produto depende da concentração de sal e de sua capacidade de aderência à superfície do combustível.

Os retardantes podem ser encontrados em forma líquida ou em pó, fornecidos como um concentrado, que é diluído em água para formar a calda, que é aplicada durante as atividades de combate (USFS, 2015). Constituem-se basicamente por uma mistura de sais inorgânicos (amônio, sulfatos e fosfatos), solventes, agentes umectantes, estabilizadores e espessantes ou surfactantes como aditivos que, têm a função de conferir maior densidade, alterar a capilaridade e propriedades físicas de adesão e coesão da água, bem como reduzir a inflamabilidade do material combustível (Barreiro et al., 2016).

Segundo Chandler et al. (1983), inicialmente esses produtos eram divididos em supressantes e retardantes de fogo, o primeiro utilizado no combate direto aos incêndios, aplicado sobre as chamas na frente de fogo e, o segundo aplicado sobre o material combustível à frente do fogo.

Contudo, atualmente não se faz mais essa distinção, pois os produtos são utilizados para as duas finalidades (Batista et al., 2008).

A classificação dos retardantes comumente considera o tempo de duração da ação do produto após a aplicação, dividindo-os em retardantes de curta duração, grupo dos espumógenos e viscosantes, que intensificam a capacidade de extinção da água, restando mais umidade no material combustível e/ou retardando a evaporação; e retardantes de longa duração, composto por sulfatos, fosfatos ou polifosfatos de amônio que deixam resíduos dos agentes inibidores da combustão sobre o material combustível após a evaporação da água (Liodakis et al., 2002; Pastor Ferrer, 2004; Ribeiro et al., 2006).

Embora os retardantes químicos sejam considerados fundamentais no combate aos incêndios florestais e amplamente utilizados em diversas regiões do mundo (Ribeiro et al., 2006), no Brasil, esses produtos são pouco conhecidos e utilizados, devido à grande parte deles não serem fabricados no país e aos preços elevados (Machado Filho et al., 2012). Além da inexistência de normas que definam a concentração e o volume de calda adequados para a extinção dos incêndios em diferentes cenários ambientais (materiais combustíveis) de áreas naturais ou plantadas no país (Canzian et al., 2016).

Segundo Ribeiro (2011), diante das perdas decorrentes dos incêndios florestais, da ocupação humana acelerada em áreas antes não habitadas e o conseqüente aumento dos prejuízos ambientais e econômicos, surgiu a necessidade de busca por estratégias e instrumentos em outros países, que fossem adaptados às condições brasileiras. Assim, o país passou a importar os retardantes de fogo e, aos poucos incluí-los nas estratégias de combate aos incêndios florestais no território nacional, todavia, sem legislação pertinente.

De acordo com Batista (2009), o uso de retardantes químicos no Brasil ainda é incipiente, apesar dessa tecnologia já estar disponível no mercado nacional. Entretanto, ainda existe uma falta de consenso entre usuários e pesquisadores, devido ao pouco conhecimento e domínio sobre o assunto, bem como aos altos valores despendidos para o uso desses produtos (Ribeiro, 2011).

Apesar disso, os retardantes de fogo têm sido aceitos e reconhecidos como eficientes ferramentas de combate a incêndios pelos órgãos de gestão (Angeler et al., 2004). Entretanto, Song et al. (2014) afirmam que os efeitos dos produtos químicos de combate a incêndios sobre os organismos e os ecossistemas afetados ainda não foram devidamente investigados e, por isso continuam mal compreendidos.

#### 4.2.2 Efeitos do uso de retardantes de fogo aos organismos e ao ambiente

No Brasil não existem estudos avaliando os efeitos do uso de retardantes químicos de combate a incêndios florestais sobre os organismos e os ecossistemas, mesmo sabendo-se que eles estão sendo utilizados, pois estão disponíveis comercialmente. O enfoque das pesquisas no país sobre o uso desses produtos é voltado quase que exclusivamente para a sua eficiência na extinção de incêndios, propriamente dita.

Isso evidencia uma lacuna no conhecimento que precisa ser preenchida, com a realização de estudos que gerem essas informações, pois elas poderão auxiliar na formulação de legislação para normatização do uso desses produtos em território brasileiro, visando atender as peculiaridades de cada ecossistema.

Larson & Duncan (1982) argumentam que os ganhos e as perdas entre os efeitos do fogo e do retardador de fogo precisam ser quantificados e avaliados. Entretanto, poucas informações estão disponíveis para permitir uma avaliação dos ganhos de supressão de fogo a curto prazo em comparação aos potenciais impactos a longo prazo sobre a vegetação, a vida silvestre, bem como os recursos aquáticos (Adams & Simmons, 1999).

Apesar de existir muitos retardantes de fogo disponíveis comercialmente, nem todos foram submetidos a rigorosos estudos para avaliar seus impactos sobre a saúde humana e o meio ambiente (Bell, 2003). Kalabokidis (2000) argumenta que são poucas as informações sobre a toxicidade desses produtos químicos para os organismos terrestres e aquáticos e, mais escassas ainda, quando se trata de impactos a nível de ecossistema.

Geralmente os compostos dos produtos utilizados no combate aos incêndios florestais degradam-se no meio ambiente e, não são esperadas exposições permanentes e persistentes (USFS, 2015), tanto que a princípio, acreditava-se que os compostos dos retardadores de incêndio não causariam efeitos adversos ao meio ambiente, devido serem constituídos de sais de fosfato de amônio (Kalabokidis, 2000).

Entretanto, não se pode desconsiderar impactos negativos dos retardantes sobre os organismos sensíveis, mesmo empregando-se taxas de aplicação dentro dos intervalos recomendados (Angeler et al., 2004). Além de que, a adição desnecessária desses produtos ao meio ambiente pode constituir um risco considerável e deve ser evitada (Smith et al., 2011). Mesmo sendo repetidamente afirmado que os efeitos dos retardantes são localizados, impactos potenciais em larga escala são previstos (Bell, 2003).

Alguns estudos nos últimos anos evidenciaram que esses produtos podem causar efeitos ambientais adversos, principalmente quando aplicados em uma taxa maior do que o indicado,

gerando contaminação do solo, das plantas e das águas doce e oceânica (Bradstock et al., 1987; Boer et al., 1998; Kalabokidis, 2000; Giménez et al., 2004; Bell et al., 2005; Song et al., 2014; Michalopoulos et al., 2016; Wang, 2018).

Reduções na emergência de *Daphnia curvirostris* Eylmann (Cladocera, Crustacea) foram documentadas em zonas úmidas temporárias no Mediterrâneo, numa região central da Espanha por Angeler et al. (2005), em função do aumento da taxa de aplicação de retardante um químico de longa duração, podendo ser um indicativo de que as interações bentônico-pelágicas nessas áreas podem ser negativamente afetadas por esses produtos, servindo como indicador sensível de contaminação.

Segundo evidências do estudo de Seymour & Collett (2009), o uso de um retardante combinado às condições climáticas favoráveis, levou à alteração do habitat para duas espécies de formigas da Charneca na Austrália, possivelmente devido à invasão de ervas daninhas e ao acúmulo de serrapilheira, ocasionado pela mortalidade da folhagem, criando um ambiente inadequado para a atividade dessas formigas.

Alterações na interação planta-micróbio foram relatadas por Marhall et al. (2016) em pradarias no oeste dos Estados Unidos, que observaram menores colonizações por fungos micorrízicos arbusculares em plantas expostas a um retardante de fogo de longa duração. Segundo Kalabokidis (2000), plantas expostas a retardantes que contêm amônia em sua composição podem aumentar a absorção de nitratos e conseqüentemente causar intoxicação aos mamíferos herbívoros que as forrageiam.

Bradstock et al. (1987) relataram mortalidade generalizada da folhagem de eucalipto pulverizada com retardante à base de sulfato de amônio na Austrália. Também avaliando um retardante com mesma composição química em pradaria de gramínea mista em Dakota do Norte, Larson & Newton (1997) observaram desidratação foliar e conseqüente escurecimento das folhas de plantas expostas ao produto, decorrentes da possível queimadura por aplicação direta.

Larson & Duncan (1982) observaram que a composição de espécies foi alterada em áreas onde foram aplicados retardantes na Califórnia, e que apesar da germinação das leguminosas não ter sido afetada, elas não conseguiram estabelecer-se nos locais atingidos pelos produtos. A aplicação de retardantes de longa duração adiciona nitrogênio e fósforo em solos pobres, o que pode levar ao surgimento de plantas espontâneas e redução da diversidade florística (Larson & Newton, 1997; Bell et al., 2005).

De modo semelhante, Larson et al. (1999), verificaram que plantas exóticas invasoras pareceram se beneficiar dos retardantes e obter certa vantagem competitiva. Recentemente Marshall et al. (2016), observaram maior quantidade de ervas daninhas nas áreas que receberam a aplicação de um retardante de longa duração e não foram queimadas, em pradarias nos Estados Unidos e, argumentaram que essas plantas responderam melhor aos pulsos de nutrientes dos retardantes, indicando que isso também pode estar associado a mudanças na composição de espécies.

Em uma outra área de pradaria intermediária nos Estados Unidos, Besaw et al. (2011), também constataram aumento na abundância de plantas forrageiras exóticas em função do pulso de nutrientes provocado pela aplicação de retardantes, enquanto as gramíneas perenes nativas decresceram. Por outro lado, na Grécia Michalopoulos et al. (2016), relataram a lixiviação de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$  de um solo florestal após a aplicação de um retardante de longa duração, provavelmente devido à deposição de amônio, que mobilizou os cátions de base do solo.

Cinco anos após a aplicação de produtos químicos de combate a incêndios em solos queimados no noroeste da Espanha, Couto-Vázquez et al. (2011), encontraram efeitos significativos de um retardante de polifosfato de amônio sobre as propriedades do solo e comunidades microbianas, além da alteração da comunidade vegetal devido a morte de pinheiros, enquanto a espuma supressora não afetou a vegetação. Analisando as consequências ecológicas de longo prazo dos retardantes no sistema solo-planta nessa mesma área, Fernández-Fernández et al. (2015), concluíram que tanto a aplicação de polifosfato de amônio quanto o fogo causaram alterações nutricionais no solo e nas plantas, assim como na composição de espécies arbustivas após 10 anos.

Também em um estudo de longo prazo nessa mesma área, Barreiro et al. (2016), avaliaram as diferentes propriedades de um solo após 10 anos da aplicação dos produtos químicos de combate a incêndios e, concluíram que esse solo recuperou sua qualidade química após esse período. No entanto, foram observadas alterações na composição da comunidade microbiana desse solo, em função da aplicação do retardante de polifosfato de amônio combinado com o fogo, mesmo após o período decorrido.

Avaliando o comportamento da macrófita *Typha domingensis* exposta a um retardante de longa duração em áreas úmidas no Mediterrâneo, Angeler et al. (2004) relataram que houve efeito negativo sobre a germinação das sementes, devido a alterações na qualidade da água. Luna et al. (2007), também constataram potencial efeito negativo de um retardante de fogo de

longa duração na viabilidade e na germinação de sementes de diversas espécies de plantas no Mediterrâneo.

Por outro lado, Song et al. (2014) ao avaliarem os efeitos de três espumas de supressão de fogo de curto prazo, consideraram que o real impacto desses produtos químicos nos ecossistemas pode ser mínimo. Apesar de também terem verificado evidências de fitotoxicidade e reduções nas taxas de germinação de três espécies de plantas coreanas, mesmo em concentrações diluídas.

Adams & Simmons (1999) argumentaram que, os retardantes de curto prazo podem ser a estratégia mais apropriada e menos prejudicial, devido sua baixa toxicidade e eficácia na supressão de incêndios florestais. Porém, eles também têm implicações ecológicas que precisam ser consideradas (Larson & Duncan, 1982), assim, seu uso difundido deve ser reduzido até a completa avaliação de seus possíveis impactos ecológicos (Adams & Simmons, 1999).

A maioria dos produtos químicos de combate a incêndios são utilizados em áreas naturais, com alto valor de vida silvestre ou paisagístico (Adams & Simmons, 1999) e, ambientalmente sensíveis, com espécies vegetais e animais ameaçadas (Kalabokidis, 2000). Todavia, em função dos efeitos significativos na redução do fogo, tudo indica que após regulamentações normativas, pode-se considerar quase impossível evitar que áreas não atingidas pelos incêndios também recebam parte desses produtos (Barreiro et al., 2016).

Portanto, de acordo com Song et al. (2014), estudos que avaliem o efeito dos produtos químicos de combate a incêndios na germinação das plantas são essenciais, pois podem prever alterações ecológicas no campo pós-fogo. Assim, destaca-se a necessidade da realização de pesquisas que estabeleçam os critérios para o uso eficiente dos retardantes, visando garantir a segurança ambiental (Angeler et al., 2005).

Por conseguinte, outros produtos têm sido investigados como alternativa para evitar ou retardar o fogo, como os polímeros hidrorretentores (Bordado & Gomes, 2007; Souza et al., 2012), que por serem biodegradáveis em sua maioria, podem contribuir para a preservação ambiental (Li et al., 2016). Além de apresentarem boa hidrofiliidade, biocompatibilidade, atoxidade e flexibilidade (Tavakol et al., 2016).

#### **4.2.3 Hidrogel como retardante de fogo alternativo**

O hidrogel é um tipo de material polimérico com capacidade de absorver até 400 vezes a sua massa seca em água, com habilidade de armazená-la e disponibilizá-la de maneira controlada à

planta, e tem sua ação como agente tamponante contra o estresse hídrico temporário, minimizando os problemas relacionados ao déficit hídrico (Azevedo et al., 2002; Prevedello & Loyola, 2007; Abedi-Koupai et al., 2008; Yonezawa et al., 2017; Gokavi et al., 2018).

A capacidade de retenção de água de um hidrogel depende dos grupos hidrofílicos de sua composição, enquanto que sua capacidade de expansão está relacionada com o potencial osmótico (Yonezawa et al., 2017; Neethu et al., 2018). Assim, o emprego de polímeros hidroretentores surgiu como uma alternativa para amenizar os problemas relacionados ao déficit hídrico após o plantio (Dranski et al., 2013; Gokavi et al., 2018; Neethu et al., 2018).

Os primeiros hidrogéis disponibilizados no mercado nacional eram de origem sintética, o que dificultava seu uso, pelo alto custo de produção e principalmente por não serem degradados biologicamente, por isso podiam prejudicar o meio ambiente pelos possíveis resíduos gerados (Yonezawa et al., 2017). Contudo, o emprego de polímeros naturais na síntese do hidrogel tem apresentado boa hidrofiliidade, biodegradabilidade, biocompatibilidade, atoxidade e flexibilidade (Tavakol et al., 2016).

Segundo Yonezawa et al. (2017), o uso do hidrogel se destacou na agricultura a partir dos anos 80, mas foi por volta de 2006, que o uso de polímeros naturais, como celulose, amido, gelatina e goma-guar na síntese do hidrogel, despertaram maior interesse. Pois tornava algumas propriedades mais atraentes e principalmente, deixava o hidrogel biodegradável, ganhando assim grande interesse na aplicação agrícola pela conservação do meio ambiente.

Recentemente, o hidrogel tem sido alvo de pesquisas nas mais variadas áreas, como na aplicação do polímero hidroretentor para conservação da umidade de materiais combustíveis, a fim de retardar a propagação do fogo, ou extingui-lo (Bordado & Gomes, 2007; Souza et al., 2012), na germinação de hortaliças (Pazderu & Koudela, 2013), na germinação de sementes de colza (*Brassica napus*) (Tang et al., 2014), na germinação de sementes de trigo, quiabo (Sutradhar et al., 2015) e de café (Gokavi et al., 2018), além das pesquisas rotineiras, relacionando seu uso ao déficit hídrico.

Yonezawa et al. (2017) e Gokavi et al. (2018), afirmam que o uso do hidrogel pode melhorar as taxas de germinação de sementes e o desenvolvimento de várias espécies vegetais, contudo, ressaltam que diversos fatores podem influenciar na germinação e desenvolvimento de uma planta, como a composição química do hidrogel, a quantidade aplicada, o tipo de solo e a espécie.

Dessa forma, o hidrogel é um produto ecológico e promissor para aplicação em diversas áreas (Yonezawa et al., 2017; Neethu et al., 2018; Gokavi et al., 2018). Porém, cabe ressaltar a

importância da necessidade de realização de pesquisas que fundamentem os conhecimentos sobre as formas mais adequadas de uso desse polímero.

### **4.3 Caracterização das espécies florestais tropicais estudadas**

#### **4.3.1 *Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth.**

*Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth. (faveira) é nativa da Amazônia, com ampla distribuição geográfica neotropical, ocorre em mata pluvial de terra firme desde a América Central, Amazônia Legal, Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil, difundindo-se até a Argentina, Bolívia, Paraguai e Uruguai (Mesquita, 1990; Lorenzi, 1998). É uma árvore que atinge de 10 a 30 m de altura, heliófita, ocorre em solos bem drenados, ricos em matéria orgânica e de boa fertilidade (Lorenzi, 1998).

É uma espécie leguminosa que faz associação com bactérias fixadoras de nitrogênio, por isso é recomendada para reflorestamento em locais com solos menos férteis (Mesquita, 1990). A sua madeira é indicada para movelaria, acabamentos internos e também para obras externas (Lorenzi, 1998).

As sementes possuem dormência física, devido a impermeabilidade do tegumento, sendo necessária a superação dessa condição para promover a germinação, que após a sua aplicação permite atingir percentuais de germinação superiores a 99% (Souza & Varela, 1989). Contudo, Mojena et al. (2016) dizem que isso depende da qualidade fisiológica bem como da maturidade das sementes e, observaram taxas de germinação de 60, 98 e 100% para sementes coletadas em diferentes épocas do ano.

Para fins de avaliação da germinação, Ramos & Ferraz (2008) recomendaram considerar a “plântulas normal” de *E. schomburgkii* aos 7-15 dias após a semeadura, pois com esse tempo já é possível observar as estruturas essenciais das plântulas, o que permite a classificação quanto à normalidade/vigor.

#### **4.3.2 *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos**

*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (ipê-rosa) possui ampla distribuição geográfica, ocorre em floresta primária densa, formações abertas e secundárias nas Américas Central e do Sul e, no Brasil nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste (Lohmann, 2015; Camillo & Salomão, 2016). É uma espécie arbórea da família Bignoniaceae, pode atingir até 12 m de altura, heliófita, secundária, ocorre em solos arenosos, úmidos e com boa drenagem,

contudo, tem crescimento limitado sob baixos teores de nutrientes (Schneider et al., 2000; Camillo & Salomão, 2016).

Essa espécie nativa é uma das mais utilizadas na arborização urbana nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, possui propriedades medicinais e sua madeira é utilizada na construção civil, naval e movelaria (Lorenzi, 2008; Castellanos et al., 2009; Camillo & Salomão, 2016). Também apresenta grande potencial para uso em recuperação de áreas degradadas (Lorenzi, 2008; IPEF, 2010).

Uma considerável redução no número de indivíduos de *H. impetiginosus* em áreas de ocorrência natural tem sido verificada ultimamente (Martins et al., 2009), tanto que é classificada como “Quase Ameaçada” segundo a Lista de Espécies da Flora do Brasil (Lohmann, 2015). As sementes são classificadas como ortodoxas, podendo ser armazenadas por longos períodos, desde que possuam umidade próxima de 7% a -20 °C (Mello & Eira, 1995; Gemaque et al., 2005).

A germinação ocorre rapidamente após a dispersão, coincidindo com as primeiras chuvas (Schulze et al., 2008). Em condições naturais a germinação é variável, em torno de 40 a 50% (Ribeiro et al., 2012), enquanto em ambiente controlado pode atingir 70 a 80% (Silva et al., 2004; Oliveira et al., 2005).

#### **4.3.3 *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke**

*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá) tem como sinônimo *Schizolobium Parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby segundo a Lista da Flora do Brasil (2018). É restrita da Bacia Amazônica com ocorrência na Bolívia, Colômbia, Peru, Venezuela e Brasil, onde é encontrada em florestas primárias e secundárias do Amazonas, Pará, Mato Grosso e Rondônia (Souza et al., 2003; Sousa et al., 2005).

É uma espécie arbórea da família Fabaceae, pode atingir até 30 m de altura, pioneira, de crescimento bastante rápido, desenvolve-se melhor em solos francos a argilosos férteis ou medianamente férteis, profundos e com boa drenagem (Rossi & Quisen, 1997; Rossi et al., 2001). A madeira é empregada principalmente na laminação e produção de painéis compensados, palitos de fósforo, embalagens leves, celulose e papel (Sousa et al., 2005).

Também é indicada para plantios comerciais e recuperação de áreas degradadas, sendo também recomendada para ambientes ripários, mas não sujeitos a inundação (Sousa et al., 2005; Carvalho, 2007). Devido às suas características de crescimento e adaptabilidade, *S.*

*amazonicum* é uma das espécies nativas com maior área plantada na região Amazônica (Marques et al., 2006).

As sementes de *S. amazonicum* são ortodoxas e apresentam dormência tegumentar, devido a impermeabilidade do tegumento, necessitando de tratamentos para promover a germinação (Sousa et al., 2005). Quando submetidas a processo de superação de dormência, as sementes podem apresentar percentuais de germinação de 80 a 90% (Souza et al., 2003).

#### **4.3.4 *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith**

*Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (ipê-branco) ocorre tanto em matas primárias como em secundárias nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e norte de São Paulo, podendo ser encontrado também na caatinga do nordeste brasileiro (Lorenzi, 1992). É uma espécie arbórea da família Bignoniaceae, pode atingir até 10 m de altura, heliófita, ocorre em solos pedregosos e calcários de floresta semidecídua e frequente em terrenos cascalhentos no pantanal mato-grossense (Lorenzi, 1992; Pott & Pott, 1994).

É muito ornamental, e por isso bastante utilizada na arborização urbana, sendo a madeira utilizada na construção civil, principalmente em acabamentos internos (Lorenzi, 1992). Segundo esse autor, devido a adaptabilidade de *T. roseoalba* a solos secos e pedregosos, essa espécie é recomendada para recuperação de áreas degradadas com essas características.

A espécie produz uma grande quantidade de sementes, que perdem a viabilidade em pouco tempo após a coleta quando mantidas em condições naturais (Kageyama & Marquez, 1981). As sementes são ortodoxas e não apresentam dormência, podendo ser armazenadas a 3-7% de umidade e baixas temperaturas (Degan et al., 2001; Wetzel et al., 2005).

A germinação das sementes logo após a dispersão é superior a 40% em viveiro, podendo iniciar aos quatro dias após a semeadura (Lorenzi, 1992; Ortolani, 2007), sendo que aos 15 dias após a semeadura é possível distinguir as estruturas morfológicas essenciais de suas plântulas (Ortolani, 2007).

#### **4.4 Descrição dos produtos químicos avaliados**

Foram utilizados neste estudo os retardantes de fogo Phos-Chek WD881® (ICL Performance Products LP, St. Louis, MO, EUA), produto que consiste numa solução de sulfonato de alfa olefina, 2,4-pentanodiol, 2-metil-, álcool laurílico e d-limoneno (ICL, 2015), e classificado como retardante classe A de curta duração; Hold Fire® (Favaro & Perin Ind. e Com. LTDA – ME, Vila Velha, ES, BR), produto composto de óleos orgânicos, polímero

higroscópico e surfactante, classificado como retardante classe A (Favaro & Perin, 2016) e considerado como de curta duração; e o Nutrigel® (Polímero Hidroretentor (Agrotterra Insumos, São José do Rio Preto, SP, BR)), produto a base de MgCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub> e polímeros (AGROTERRA, 2015), consistindo num hidrogel utilizado no manejo hídrico na agricultura.

Esses produtos químicos foram selecionados para a realização deste estudo pelo fato de estarem disponíveis comercialmente no Brasil, e com a finalidade de uso no combate a incêndios florestais, no caso do Phos-Chek WD881 e do Hold Fire; e por seu relativamente recente emprego como produto alternativo no combate aos incêndios florestais, no caso do Polímero Hidroretentor (Bordado & Gomes, 2007; Souza et al., 2012). E, principalmente devido a inexistência de legislação específica no país que regulamente o uso dos retardantes de fogo (IBAMA, 2018), assim como de estudos sobre os efeitos desses produtos químicos sobre a vegetação brasileira.

## REFERÊNCIAS

- Abedi-Koupai, J.; Sohrab, F.; Swarbrick, G. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.31, n.2, p.317-331, 2008.
- Acuna, M. A.; Palma, C. D.; Cui, W.; Martell, D. L.; Weintraub, A. Integrated spatial fire and forest management planning. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, v.40, n.12, p.2370-2383, 2010.
- Adams, R.; Simmons, D. Ecological effects of fire fighting foams and retardants: a summary. *Australian Forestry*, Queen Victoria, v.62, n.4, p.307-314, 1999.
- Agrotterra. Ficha técnica (Produto Nutrigel). Agrotterra Insumos, São José do Rio Preto, SP, 2015.
- Almeida, A. B. Knowing better and losing less. *Territorium*, Lousã, v.25, n.1, p.155-165, 2018.
- Andrade Filho, V. S. de; Artaxo Netto, P. E.; Hacon, S. de S.; Carmo, C. N. do. Distribuição espacial de queimadas e mortalidade em idosos em região da Amazônia Brasileira, 2001 - 2012. *Ciência e Saúde Coletiva* [online], Rio de Janeiro, v.22, n.1, p.245-253, 2017.
- Angeler, D. G.; Martín, S.; Moreno, J. M. *Daphnia emergence*: a sensitive indicator of fire-retardant stress in temporary wetlands. *Environment International*, New York, v.31, p.615-620, 2005.
- Angeler, D. G.; Rodríguez, M.; Martín, S.; Moreno, J. M. Assessment of application-rate dependent effects of a long-term fire retardant chemical (Fire Trol 934®) on *Typha domingensis* germination. *Environment International*, New York, v.30, n.3, p.375-381, 2004.

- Assaker, A.; Darwish, T.; Faour, G.; Noun, M. Use of remote sensing and GIS to assess the anthro-pogenic impact on forest fires in Nahr Ibrahim Watershed, Lebanon. *Lebanese Science Journal*, Beirut, v.13, n.1, p.15-28, 2012.
- Azevedo, T. L. F.; Bertonha, A.; Goncalvez, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura. *Revista do Programa de Ciências Agroambientais, Alta Floresta*, v.1, n.1, p.23-31, 2002.
- Barboza, H. T. G.; Nascimento, X. P. R.; Freitas-Silva, O.; Soares, A. G.; DaCosta, J. B. N. Compostos organofosforados e seu papel na agricultura. *Revista Virtual de Química*, Niterói, v.10, n.1, p.172-193, 2018.
- Bareke, T. Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants & Agriculture Research*, Novi, v.8, n.4, p.336-346, 2018.
- Barreiro, A.; Martín, A.; Carballas, T.; Díaz-Raviña, M. Long-term response of soil microbial communities to fire and fire-fighting chemicals. *Biology and Fertility Soils*, Berlin, v.52, p.963-975, 2016.
- Baskin, C. C.; Baskin, J. M. Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperate region. *American Journal of Botany*, Lancaster, v.7, n.2, p.286-305, 1988.
- Batista, A. C. Detecção de Incêndios Florestais por Satélites. *Revista Floresta*, Curitiba, v.34, n.2, p.237-241, 2004.
- Batista, A. C. O uso dos retardantes no combate aéreo aos incêndios florestais. *Revista Floresta*, v.39, 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/268286686\\_O\\_USO\\_DOS\\_RETARDANTES\\_NO\\_COMBATE\\_AEREO\\_AOS\\_INCENDIOS\\_FLORESTAIS](https://www.researchgate.net/publication/268286686_O_USO_DOS_RETARDANTES_NO_COMBATE_AEREO_AOS_INCENDIOS_FLORESTAIS)>. Acesso em: 29 out. 2018.
- 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*, Piracicaba, v.36, n.79, p.223-229, 2008.
- Bell, T. L. Effects of fire retardant on vegetation in eastern Australian heathlands: a preliminary investigation. *Fire Management: Department of Sustainability and Environment*, Victoria. 2003. 40p. (Research Report n.68).
- Bell, T.; Tolhurst, K.; Worters, M. Effects of fire retardant Phos-Chek on vegetation in eastern Australian heathlands. *International Journal of Wildland Fire*, Roslyn, v.14, p.199-211, 2005.
- Bentsink, L.; Koornneef, M. Seed dormancy and germination. *Arabidopsis Book*, Washington, v.6, e0119, 2008.
- Besaw, L. M.; Thelen, G. C.; Sutherland, S.; Metlen, K.; Callaway, R. M. Disturbance, resource pulses and invasion: short-term shifts in competitive effects, not growth responses, favour exotic annuals. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, v.48, p.998-1006, 2011.
- Bewley, J. D.; Black, M. Seeds physiology of development and germination. New York: Plenum Press, 1994. 494p.

- Bewley, J. D.; Downie, B. Is failure of seeds to germinate during development a dormancy-related phenomenon? In: Lang GA, ed. *Plant Dormancy Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. CAB International, Wallingford. 1996. p.17-27.
- Bewley, J. D. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*, Rockville, v.9, p.1055-1066, 1997.
- Boer, J.; Wester, P. G.; Klamer, H. J. C.; Lewis, W. E.; Boon, J. P. Do flame retardants threaten ocean life?. *Nature*, London, v.394, p.28-29, 1998.
- Bordado, J. C. M.; Gomes, J. F. P. New technologies for effective forest fire fighting. *International Journal of Environmental Studies*, London, v.64, n.2, p.243-251, 2007.
- Borges, E. E. de L.; Rena, A. B. Germinação de sementes. In: Aguiar, I. B.; Piña-Rodrigues, F. C. M.; Figliolia, M. B. (Orgs.). *Sementes Florestais Tropicais*. 1.ed. Brasília: Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, v.1, 1993. p.83-135.
- Borsoi, A.; Santos, P. R. R. dos; Taffarel, L. E.; Gonçalves Júnior, A. C. Agrotóxicos: histórico, atualidades e meio ambiente. *Acta Iguazu*, Cascavel, v.3, n.1, p.866-100, 2014.
- Bradstock, R.; Sanders, J.; Tegart, A. Short-term effects on the foliage of a eucalypt forest after an aerial application of a chemical fire retardant. *Australian Forestry*, Queen Victoria, v.50, n.2, p.71-80, 1987.
- Camillo, J.; Salomão, A. N. *Handroanthus impetiginosus*: Ipê roxo. In: Vieira, R. F.; Camillo, J.; Coradin, L. *Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual e potencial: plantas para o futuro - Região Centro-Oeste*. Biodiversidade 44, Brasília: MMA, 2016.
- 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. *Nativa*, Sinop, v.4, n.4, p.195-198, 2016.
- Carmona, R. Influência do pH na resposta de sementes de plantas daninhas a substâncias promotoras de germinação. *Planta Daninha*, Rio de Janeiro, v.15, n.1, p.3-17, 1997.
- Carvalho, N. M. de; Nakagawa, J. (Eds). *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 5.ed. Jaboticabal: Funep, 2012. 590p.
- Carvalho, P. E. R. Paricá: *Schizolobium amazonicum*. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 8 p. (Circular técnica, 142).
- Castellanos, J. R. G.; Prieto, J. M.; Heinrich, M. Red Lapacho (*Tabebuia impetiginosa*) - A global ethnopharmacological commodity? *Journal of Ethnopharmacology*, Lausanne, v.121, n.1, p.01-13, 2009.
- Chandler, C.; Cheney, P.; Thomas, P.; Trabaud, L.; Williams, D. *Fire in forestry*. v.2, New York: John Wiley, 1983. 298 p. (Forest Fire Management and Organization).

- Couto-Vázquez, A.; García-Marco, S.; González-Prieto, S. J. Longterm effects of fire and three firefighting chemicals on a soil–plant system. *International Journal of Wildland Fire*, Roslyn, v.20, n.7, p.856-865, 2011.
- Dastjerdi, E. B.; Sahid, I. B.; Jusoh, K. B. Phytotoxicity assessment of nano-ZnO on aroundnut (*Arachis hypogaea*) seed germination in MS Medium. *Sains Malaysiana*, Bangi, v.45, n.8, p.1183-1190, 2016.
- Degan, P.; Aguiar, I.B.; Sader, R.; Perecin, D.; Pinto, L.R. Influência de métodos de secagem na conservação de sementes de Ipê-branco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.5, n.3, p.492-496. 2001.
- Dranski, J. A. L.; Pinto Junior, A. S.; Campagnolo, M. A.; Malavasi, U. C.; Malavasi, M. M. Sobrevivência e crescimento do pinhão-mansão em função do método de aplicação e formulações de hidrogel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.17, n.5, p.537-542, 2013.
- Favaro & Perin Indústria e Comércio Ltda - ME. Hold fire: retardante de incêndio classe A. Favaro & Perin Indústria e Comércio Ltda - ME, Vila Velha, ES, 2016.
- 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*, Amsterdam, v.515-516, p.92-100, 2015.
- Flora do Brasil. *Schizolobium* in Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB78761>>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- Gemaque, R. C. R.; Davide, A. C.; Silva, E. A. A.; Faria, J. M. R. Efeito das secagens lenta e rápida em sementes de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.). *Cerne*, Lavras, v.11, n.4, p.329-335, 2005.
- Giménez, A.; Pastor, E.; Zárate, L.; Planas, E.; Arnaldos, J. Long-term forest fire retardants: a review of quality, effectiveness, application and environmental considerations. *International Journal of Wildland Fire*, Roslyn, v.13, p.1-15, 2004.
- Gokavi, N.; Rudragouda; Mote, K.; Mukharib, D. S., Manjunath, A. N.; Raghuramulu, Y. Performance of hydrogel on seed germination and growth of young coffee seedlings in nursery. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, Rohini, v.7, n.3, p.1364-1366, 2018.
- Grant, C. A.; Flaten, D. N.; Tomasiewicz, D. J.; Sheppard, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *POTAFOS: Informações Agronômicas*, n.95, 2001. 5p.
- Harper, J. L. *Population biology of plants*. Academic Press, London, UK. 1977.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 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, IBAMA, Brasília, 2018. 15p. Disponível em: <[https://www.ibama.gov.br/phocadownload/quimicos-e-biologicos/retardantes-de-chamas/2018-SEI\\_IBAMA-Parecer-Tecnico-5142018-COASP-CGASQ-DIQUA.pdf](https://www.ibama.gov.br/phocadownload/quimicos-e-biologicos/retardantes-de-chamas/2018-SEI_IBAMA-Parecer-Tecnico-5142018-COASP-CGASQ-DIQUA.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2018.
- ICL. Safety Data Sheet (Phos-Chek® WD881 Class a Foam Concentrate). Disponível em: <<https://www.fs.fed.us/rm/fire/wfcs/products/msds/foam/wd881.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018. 2015.
- IPEF - Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais. Ipê-roxo. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/nativas/detalhes.asp?codigo=27>>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- Kageyama, P. Y.; Marquez, F. C. M. Comportamento de sementes de curta longevidade armazenadas com diferentes teores de umidade inicial: gênero *Tabebuia*. Piracicaba: IPEF, 1981, 4p (Circular técnica, 26).
- Kalabokidis, K. D. Effects of wildfire suppression chemicals on people and the environment-a review. *Global Nest Journal*, Marousi, v.2, n.1, p.129-137, 2000.
- Kerbauy, G. B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 470p.
- Kigel, J.; Galili, G. Seed development and germination. Academic Press, New York, p.507-543, 1995.
- Kołodziejek, J.; Patykowski, J.; Wala, M. Effect of light, gibberellic acid and nitrogen source on germination of eight taxa from disappearing European temperate forest, *Potentillo albae-Quercetum*. *Scientific Reports*, London, v.7, n.13924, 2017.
- Larson, D. L.; Newton, W. E. Effects of fire retardant chemicals and fire suppressant foam on North Dakota prairie vegetation. In: Poulton, B.; Hamilton, S.; Buhl, K.; Vyas, N.; Hill, E.; Larson, D. Toxicity of fire retardant and foam suppressant chemicals to plant and animal communities. Interagency Fire Coordination Committee, Boise, Idaho, 180p. 1997.
- Larson, D. L.; Newton, W. E.; Anderson, P. J.; Stein, S. J. Effects of fire retardant chemical and fire-suppressant foam on shrub steppe vegetation in northern Nevada. *International Journal of Wildland Fire*, Roslyn, v.9, n.2, p.115-127, 1999.
- Larson, J. R.; Duncan, D. A. Annual grassland response to fire retardant and wildfire. *Journal of Range Management*, Denver, v.35, p.700-703, 1982.
- Latha, K.; Kumar, S. S. Energy aware deforestation monitoring system. *Australian Journal of Basic Applied Sciences*, Perth, v.10, n.2, p.283-289, 2016.
- Li, M.; Tshabalala, M. A.; Buschle-Diller, G. Formulation and characterization of polysaccharide beads for controlled release of plant growth regulators. *Journal of Materials Science*, Norwell, v.51, p.4609-4617, 2016.

- Lin, D.; Xing, B. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution, Barking*, v.150, p.243-250, 2007.
- Lioudakis, S.; Bakirtzis, D.; Lois, E.; Gakis, D. The effect of  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  and  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  on spontaneous ignition properties of *Pinus halepensis* pine needles. *Fire Safety Journal, Oxford*, v.37, p.481-494, 2002.
- Lohmann, L. G. 2015. Bignoniaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB114086>>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- Lorenzi, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. São Paulo: Instituto Plantarum, 1992. 382p.
- Lorenzi, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2 ed. Nova Odessa, SP: Plantarum, 1998. 352p.
- Lorenzi, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. Vol. 1. 5 ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008. 384p.
- Lu, C. M.; Zhang, C. Y.; Wen, J. Q.; Wu, G. R.; Tao, M. X. Research of the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. *Soybean Science, Beijing*, v.21, 168e172, 2002.
- Luna, B.; Moreno, J. M.; Cruz, A.; Fernández-González, F. Effects of a long-term fire retardant chemical (Fire-Trol 934) on seed viability and germination of plants growing in a burned Mediterranean area. *International Journal of Wildland Fire, Roslyn*, v.16, n.3, p.349-359, 2007.
- Machado Filho, C.; 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, Santa Maria*, v.22, n.2, p.365-371, 2012.
- Maraboti, V. M.; Gonçalves, S. B.; Canzian, W. P.; Fiedler, N. C.; Mendonça, A. R. Fire retardants different efficiency in eucalyptus plantations in the south of Espírito Santo, Brazil. *Australian Journal of Basic Applied Sciences, Perth*, v.10, n.9, p.24-29, 2016.
- Marcos Filho, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Piracicaba: Fealq, 2005. 495p.
- Marques, L. C. T.; Yared, J. A. G.; Siviero, M. A. A evolução do conhecimento sobre o paricá para reflorestamento no Estado do Pará. Belém: Embrapa, 2006. 5p. (Comunicado Técnico, 158).
- Marshall, A.; Waller, L.; Lekberg, Y. Cascading effects of fire retardant on plant-microbe interactions, community composition, and invasion. *Ecological Applications, Tempe*, v.26, n.4, p. 996-1002, 2016.

- Martins, L.; Lago, A. A.; Andrade, A. C. S.; Sales, W. R. M. Conservação de sementes de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl.) em nitrogênio líquido. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v.31, n.2, p.71-76, 2009.
- Mello, C. M. C.; Eira, M. T. S. Conservação de sementes de ipês (*Tabebuia* spp.). *Revista Árvore*, Viçosa, v.19, n.4, p.427-432, 1995.
- Menezes, J. A. de; Palácios, R. da S.; Menezes Junior, E. M. de; Soares Júnior, A.; Nogueira, J. de S. Caracterização espectral de propriedades ópticas de aerossóis em região de floresta tropical. *Nativa*, Sinop, v.6, n.5, p.451-456, 2018.
- Mesquita, A. L. Revisão taxonômica do Gênero *Enterolobium* Mart. (Mimosoideae) para a região neotropical. Pernambuco: UFPE, 1990. 44p. Dissertação Mestrado.
- Michalopoulos, C.; Koufopoulou, S.; Tzamtzis, N.; Pappa, A. Impact of a long-term fire retardant (FireTrol 931) on the leaching of Ca, Mg and K from a Mediterranean forest loamy soil. *Environmental Science and Pollution Research*, Berlin, v.23, n.6, p.5487-5494, 2016.
- Mojena, P. A.; Chormiak, D. I. G.; Miranda, Y. Harvest season and physiological quality of *Enterolobium schomburgkii* seeds. *Benth. Scientific Electronic Archives*, Sinop, v.9, n.4, p.20-25, 2016.
- Mu, J.; Uehara, T.; Furuno, T. Effect of bamboo vinegar on regulation of germination and radicle growth of seed plants. *Journal of Wood Science*, Singapore, v.49, p.262-270, 2003.
- Neethu, T. M.; Dubey, P. K.; Kaswala, A. R. Prospects and Applications of Hydrogel Technology in Agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Tamilnadu, v.7, n.5, p.3155-3162, 2018.
- Oliveira, L. M.; Carvalho, M. L. M.; Silva, T. T. A.; Borges, D. I. Temperatura e regime de luz na germinação de sementes de *Tabebuia impetiginosa* (Martius ex A. P.de Candolle) Standley e *T. serratifolia* Vahl Nich. - Bignoniaceae. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.29, n.3, 642-648, 2005.
- Ortolani, F. A. Morfoanatomia, citogenética e palinologia em espécies de ipês (Bignoniaceae). Jaboticabal: Unesp, 2007. 106f. Tese Doutorado.
- Palácios, R. da S.; Sallo, F. da S.; Marques, J. B.; Santos, A. C. A.; Menezes, J. A.; Biudes, M. S.; Nogueira, J. de S. Variabilidade espaço-temporal da profundidade ótica de aerossóis nos biomas cerrado e pantanal da região central do Brasil. *Nativa*, Sinop, v.6, n.1, p.56-65, 2018.
- Pastor Ferrer, E. Contribució a l'estudi dels efectes dels retardants en l'extinció d'incendis forestals. Barcelona: ETSEIB, 2004. 304 p. Tese Doutorado.
- Pazderu, K.; Koudela, M. Influence of hydrogel on germination of lettuce and onion seed at different moisture levels. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, Brno, v.61, n.6, p.1817-1822, 2013.

- Pérez-Fernández, M. A.; Rodríguez-Echeverría, S. Effect of smoke, charred wood, and nitrogenous compounds on seed germination of ten species from woodland in Central-Western Spain. *Journal of chemical ecology*, New York, v.29, p.237-251, 2003.
- Pimentel, C. A relação da planta com a água. Seropédica: Edur, 2004. 191p.
- 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*, Oxford, v.87, p.71-79, 2017.
- Pott, A.; Pott, V. J. Plantas do Pantanal. Embrapa: Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, 1994. 320p.
- Poulton, B.; Hamilton, S.; Buhl, K.; Vyas, N.; Hill, E.; Larson, D. Toxicity of fire retardant and foam suppressant chemicals to plant and animal communities. Interagency Fire Coordination Committee, Boise, Idaho, 180p. 1997.
- Prevedello, C. L.; Loyola, J. M. T. Efeito de polímeros hidroretentores na infiltração da água no solo. *Scientia Agraria*, Curitiba, v.8, n.3, p.313-317, 2007.
- Ramos, M. B. P.; Ferraz, I. D. K. Estudos morfológicos de frutos, sementes e plântulas de *Enterolobium schomburgkii* Benth. (Leguminosae-Mimosoideae). *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v.31, n.2, p.227-235, 2008.
- Ribeiro, C. A. D.; Costa, M. P.; Senna, D. S.; Caliman, J. P. Fatores que afetam a germinação das sementes e a biomassa de plântulas de *Tabebuia heptaphylla*. *Revista Floresta*, Curitiba, v.42, n.1, p.161-168, 2012.
- Ribeiro, G. A. Tecnologias de combate aéreo e uso de retardantes. *Revista Opiniões*, mar. /mai. 2011. Disponível em: <[http://www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?tit=tecnologias\\_de\\_combate\\_aereo\\_e\\_uso\\_de\\_retardantes&id=5827](http://www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?tit=tecnologias_de_combate_aereo_e_uso_de_retardantes&id=5827)>. Acesso em: 29 out. 2018.
- 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*, Viçosa, v.30, n.6, p.1025-1031, 2006.
- Rossi, L. M. B.; Quisen, R. C.; Azevedo, C. P. de; Vieira, A. H. Aspectos silviculturais e socioeconômicos de uma espécie de uso múltiplo: o caso de *Schizolobium amazonicum* (Hub.) Ducke. In: Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul, 8, 2000, Nova Prata. Anais... Nova Prata: Prefeitura Municipal; Santa Maria: UFSM, 2001 p.271-279. 1 CD-ROM.
- Rossi, L. M. B.; Quisen, R. C. *Schizolobium amazonicum* Ducke: a multipurpose tree in Rondonia, Brazil. In: Alternatives to Slash-and-Burn Annual Review Meeting, 6., 1997, Bogor. Posters Abstracts... Nairobi: ICRAF, 1997. p.9.
- Sangoi, L.; Ernani, P. R.; Bianchet, P. Desenvolvimento inicial do milho em função de doses e fontes de nitrogênio aplicadas na semeadura. *Biotemas*, Florianópolis, v.22, n.4, p.53-58, 2009.

- Schneider, P. S. P.; Schneider, P. R.; Finger, C. A. G. Crescimento do ipê-roxo, *Tabebuia impetiginosa* Martius ex A. P. de Candolle, na depressão central do estado do Rio Grande Sul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.10, n.2, p.91-100, 2000.
- Schulze, M.; Grogan, J.; Uhl, C.; Lentini, M.; Vidal, E. Evaluating ipê (*Tabebuia*, Bignoniaceae) logging in Amazonia: Sustainable management or catalyst for forest degradation? *Biological Conservation*, Essex, v.141, p.2071-2085, 2008.
- Schütz, W. Ecology of seed dormancy and germination in sedges (*Carex*). *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, Jena, v.3, n.1, p.67-89, 2000.
- Seymour, B.; Collett, N.G. Effects of fire retardant application on heathland surface-dwelling ant species (Order Hymenoptera; Family Formicidae) in Victoria, Australia. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.257, n.4, p.1261-1270, 2009.
- Silva, E. A. A.; Davide, A. C.; Faria, J. M. R.; Melo, D. L. B.; Abreu, G. B. Germination studies on *Tabebuia impetiginosa* Mart. *Seeds*. Cerne, Lavras, v.10, n.1, p.1-9, 2004.
- Smith, H. G.; Sheridan, G. J.; Lane, P. N. J.; Nyman, P.; Haydon, S. Wildfire effects on water quality in forest catchments: a review with implications for water supply. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.396, p.170-192, 2011.
- Soares, R. V.; Batista, A. C. Curso de especialização por tutoria à distância: combustão da biomassa e propagação dos incêndios. Brasília: UFPR - Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, 2v. 35p. 2006.
- Soares, R. V.; Batista, A. C.; Tetto, A. F. Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2017. 255p.
- Soares, R. V.; Santos, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. *Revista Floresta*, Curitiba, 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*, London, v.206, p.65-68, 2018.
- Song, U.; Mun, S.; Waldman, B.; Lee, E. J. Effects of three fire-suppressant foams on the germination and physiological responses of plants. *Environmental Management*, New York, v.54, p.865-874, 2014.
- Sousa, D. B. de; Carvalho, G. S.; Ramos, E. J. A. Paricá: *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. Benevides: Rede de Sementes da Amazônia, 2005. 2p. (Informativo Técnico, 13).
- Souza, C. R.; Rossi, L. M. B.; Azevedo, C. P. de; Vieira, A. H. Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2003. 11p. (Circular Técnica, 18).
- Souza, H. N.; Araújo, T. G.; Ribeiro, G. A. Avaliação da eficiência de um gel hidroretentor como retardante de fogo. *Revista Árvore*, Viçosa, v.36, n.3, p.471-477, 2012.

- Souza, S. G. A.; Varela, V. P. Tratamentos pré-germinativos em sementes de faveira-orelhade-macaco (*Enterolobium schomburgkii* Benth.). *Acta Amazonica*, Manaus, v.19, p.19-26, 1989.
- 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*, Washington, v.68, n.2, p.77-88, 2018.
- Sutradhar, S. C.; Khan, M. M. R.; Rahman, M. M.; Dafadar, N. C. The synthesis of superabsorbent polymer from a carboxymethylcellulose/acrylic acid blend using gamma radiation and its application in agriculture. *Journal of Physical Science*, Pulau, v.26, p.23-39, 2015.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. [tradução: Mastroerti et al.]. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 888p. 2017.
- Tang, H.; Zhang, L.; Hu, L.; Zhang, L. Application of chitin hydrogels for seed germination, seedling growth of rapeseed. *Journal Plant Growth Regulation*, Berlin, v.33, p.195-201, 2014.
- Tavakol, M.; Vasheghani-Farahani, E.; Mohammadifar, M. A.; Soleimani, M.; Hashemi-Najafabadi, S. Synthesis and characterization of an in situ forming hydrogel using tyramine conjugated high methoxyl gum tragacanth. *Biomaterials Applications*, London, v.30, p.1016-1025, 2016.
- Tavares, L. C.; Tunes, L. M. de; Brunes, A. P.; Fonseca, D. Â. R.; Rufino, C. de A.; Barros, A. C. S. A. Potássio via recobrimento de sementes de soja: efeitos na qualidade fisiológica e no rendimento. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.43, n.7, p.1196-1202, 2013.
- Tobe, K.; Zhang, L.; Omasa, K. Seed Germination and Seedling Emergence of Three Annuals Growing on Desert Sand Dunes in China. *Annals of Botany*, London, v.95, p.649-659, 2005.
- Torres, F. T. P.; Lima, G. S.; Martins, S. V.; Reis, B. P. Use of geographic information systems in forest fires mapping in Southeastern of Brazil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Perth, v.10, n.16, p.28-35, 2016.
- USFS – U.S. Forest Service. Ecological risk assessment of wildland fire-fighting chemicals: long-term fire retardants. Prepared by Labat Enviromental for US Forest Service, Fire and Aviation Management. 120p. 2015.
- Vandelook, F.; Van de Moer, D.; Van Assche, J. A. Environmental signals for seed germination reflect habitat adaptations in four temperate Caryophyllaceae. *Functional Ecology*, Oxford, v.22, p.470-478, 2008.
- Wang, S. Research on environmental impact of water-based fire extinguishing agents. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Harbin, v.113 (012124), 2018.

Wetzel, M. M. V.; Silva, D. B.; Gonçalves, L. P. Conservação de germoplasma semente de cebola (*Allium cepa* L.) a longo prazo no Brasil. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2005. 5p. (Circular técnica, 38).

Yonezawa, U. G.; Moura, M. R. de; Aouada, F. A. Estado da arte: um estudo sobre polímeros biodegradáveis na germinação e desenvolvimento de plantas. Caderno de Ciências Agrárias, Montes Claros, v.9, n.2, p.69-78, 2017.

## CAPÍTULO 2 – Artigo

### Efeito de retardantes de fogo sobre a germinação de espécies florestais tropicais

**Resumo:** Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes concentrações de retardantes de fogo e de um Polímero Hidroretentor sobre a germinação de sementes e crescimento de plântulas de espécies florestais tropicais. Sementes de *Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth. (faveira), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (ipê-rosa), *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá) e *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (ipê-branco) foram oriundas da arborização urbana de Sinop - MT, e quando necessário, foram submetidas a tratamentos para superação de dormência, com posterior desinfestação, em solução de hipoclorito de sódio a 2% por cinco minutos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos: i) Phos-Chek® WD881 a 0,0; 0,1; 0,3; 0,6; 0,8 e 1,0 mL L<sup>-1</sup>; ii) Hold Fire® a 0,0; 0,7; 0,9; 1,1; 1,3 e 1,5 mL L<sup>-1</sup> e iii) Polímero Hidroretentor (Nutrigel®) a 0,00; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,0 g L<sup>-1</sup>, sendo os tratamentos controles (0,0) somente água destilada; e quatro repetições de 100; 30 ou 25 sementes (dependendo da espécie). Os testes de germinação foram conduzidos individualmente por espécie e produto, em laboratório, em câmaras de germinação a 30 °C e fotoperíodo de 12 horas (2500 lux), por 14 dias para cada espécie, com as sementes acondicionadas em caixas plásticas de germinação sobre papel germitest. Avaliou-se: porcentagem de germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação; vigor, comprimento e massa fresca e seca de plântulas. O retardante Phos-Chek WD881 reduziu o índice de velocidade de germinação do ipê-branco e do ipê-rosa e a primeira contagem de germinação dessas espécies e do paricá. A quantidade de plântulas normais foi reduzida em 96,3; 81,3 e 19,5% respectivamente, para essas espécies. O produto Hold Fire influenciou na porcentagem de germinação do ipê-rosa, que apresentou 97,0% a 1,1 mL L<sup>-1</sup>, e na velocidade de germinação do ipê-branco que foi de 13,69 a 0,7 mL L<sup>-1</sup>, mas não causou variações no vigor das plântulas. O Polímero Hidroretentor não influenciou na germinação nem no crescimento das plântulas, mas causou redução de 14,3% de plântulas normais do paricá. O Phos-Chek WD881 afetou negativamente os comprimentos aéreo do ipê-rosa e do paricá e radicular do ipê-branco e do ipê-rosa. Somente o ipê-rosa teve o comprimento radicular influenciado pelo Hold Fire, que apresentou 3,2 cm em 1,1 mL L<sup>-1</sup>. Com exceção do paricá, as demais espécies apresentaram leves alterações no padrão de alocação de biomassa em todos os produtos químicos. Conclui-se que o Phos-Chek WD881

pode ser fitotóxico para o ipê-branco, ipê-rosa e paricá, quando aplicado em concentração igual ou superior a  $0,6 \text{ mL L}^{-1}$ ; enquanto o Hold Fire pode beneficiar a germinação do ipê-branco e do ipê-rosa e o crescimento desta última; e o Polímero Hidroretentor não exerce nenhum efeito sobre a germinação e o crescimento das espécies florestais avaliadas.

**Palavras-chave:** sementes florestais, fitotoxicidade, processo germinativo, vigor de plântulas

### Effect fire retardants on the germination of tropical forest species

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the effect of different concentrations of fire retardants and a Hydroretent Polymer on seed germination and seedling growth of tropical forest species. Seeds of *Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth. (faveira), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (ipê-rosa), *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá) e *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (ipê-branco) originated from the urban arborization of Sinop - MT, and when necessary, were submitted to treatments to overcome dormancy, with subsequent disinfection, in 2% sodium hypochlorite solution for five minutes. The experimental design was completely randomized, with six treatments: i) Phos-Chek® WD881 at 0,0; 0.1; 0.3; 0.6; 0.8 and 1.0 mL L<sup>-1</sup>; ii) Hold Fire® at 0.0; 0.7; 0.9; 1.1; 1.3 and 1.5 mL L<sup>-1</sup>; and iii) 0.005 Hydroretent Polymer (Nutrigel®) at 0.00; 0.10; 0.25; 0.50; 0.75 and 1.0 g L<sup>-1</sup>, the controls treatments (0,0) being only distilled water; and four replicates of 100; 30 or 25 seeds (depending on the specie). Germination tests were conducted individually by species and product, in the laboratory, in germination chambers at 30 °C and photoperiod of 12 hours (2500 lux), for 14 days for each species, with the seeds packed in plastic germination boxes on paper germitest. It was evaluated: percentage of germination, first germination count, germination speed index and mean germination time; vigor, length, fresh and dry mass of seedlings. The Phos-Chek WD881 retardant reduced the germination speed index of ipê-branco and ipê-rosa and the first germination count of these species and paricá. The amount of normal seedlings was reduced by 96.3; 81.3 and 19.5%, respectively, for these species. The Hold Fire product influenced the germination percentage of of ipê-rosa, which presented 97.0% to 1.1 mL L<sup>-1</sup>, and in the speed of germination of the ipê-branco, which was 13.69 to 0.7 mL L<sup>-1</sup>, but did not cause variations in vigor of the seedlings. The Hydroretent Polymer did not influence germination or seedling growth, but caused 14.3% reduction of normal seedlings. The Phos-Chek WD881 adversely affected the aerial lengths of the ipê-rosa and the paricá and root of the ipê-branco and the ipê-rosa. Only the ipê-rosa had the root length influenced by the Hold Fire, which presented 3.2 cm in 1.1 mL L<sup>-1</sup>. With the exception of paricá, the other species showed slight changes in the pattern of biomass allocation in all chemical products. It is concluded that Phos-Chek WD881 can be phytotoxic for ipê-branco, ipê-rosa and paricá, when applied in concentration equal to or greater than 0.6 mL L<sup>-1</sup>; while Hold Fire can benefit the germination of ipê-branco and ipê-rosa and the growth of the latter; and the Hydroretent Polymer has no effect on the germination and growth of the evaluated forest species.

**Key words:** forest seeds, phytotoxicity, germination process, seedling vigor

## 1 INTRODUÇÃO

Embora práticas protecionistas sejam adotadas, paulatinamente o fogo compromete ou destrói vastas áreas florestais pelo mundo inteiro (Soares et al., 2017), o que vem aumentando a preocupação global pela busca de alternativas para combate e/ou prevenção aos incêndios (Couto-Vázquez et al., 2011; Plucinski et al., 2017). Em geral, buscam-se ferramentas, técnicas e/ou produtos que promovam a redução da propagação do fogo e a redução do risco de ignição do material combustível.

Nesse contexto, os retardantes de fogo consistem em produtos químicos de combate a incêndios (Larson et al., 1999), fornecidos em forma líquida ou em pó, empregados de diferentes formas no combate, conforme sua classificação e especificações técnicas recomendadas para aplicação (USFS, 2015). Basicamente são produtos compostos por sais inorgânicos (amônio, sulfatos e fosfatos), solventes, agentes umectantes, estabilizadores e espessantes ou surfactantes como aditivos que, têm a função de conferir maior densidade, alterar a capilaridade e as propriedades físicas de adesão e coesão da água, além de reduzir a inflamabilidade do material combustível (Barreiro et al., 2016).

Esses produtos são classificados em duas categorias conforme o tempo de duração da ação do princípio ativo após aplicação; em retardantes de curta duração, que são os espumógenos e viscosantes e retardantes de longa duração, compostos por sulfatos e fosfatos de amônio (Liodakis et al., 2002; Pastor Ferrer, 2004; Ribeiro et al., 2006). Esses produtos têm sido bem aceitos e considerados uma importante e eficiente ferramenta para o combate a incêndios por aplicação aérea (Angeler et al., 2004; Giménez et al., 2004; Michalopoulos et al., 2016; Plucinski et al., 2017).

Todavia, esses produtos podem ser utilizados em áreas naturais, de alto valor de vida silvestre ou paisagístico, no combate a incêndios no mundo todo (Adams & Simmons, 1999). Os efeitos desses produtos sobre os ecossistemas e os organismos são pouco conhecidos e, seus impactos ecológicos precisam ser melhor estudados e compreendidos. Para as condições brasileiras, essa questão torna-se ainda mais crítica, devido a inexistência de legislação para regulamentação do uso dos produtos retardantes de fogo no combate aos incêndios florestais (IBAMA, 2018).

Alguns estudos alertaram para determinados impactos decorrentes do uso de produtos químicos de combate a incêndios, como a redução da germinação de sementes em zonas úmidas e centro-leste da Espanha (Angeler et al., 2004; Luna et al., 2007) e na Coreia (Song et al., 2014); a redução da riqueza de espécies e alterações nas comunidades de plantas nos Estados

Unidos (Larson et al., 1999; Besaw et al., 2011) e alterações de produtividade das plantas, nutrientes do solo e interações solo-planta na Espanha (Couto-Vázquez et al., 2011) e Estados Unidos (Marshall et al., 2016), dentre outros.

Por outro lado, produtos comerciais já existentes, mas destinados para outras finalidades, têm sido testados para uso alternativo na manutenção da umidade de materiais combustíveis, visando evitar ou retardar o fogo, como o caso dos polímeros hidrorretentores (Bordado & Gomes, 2007; Souza et al., 2012). De acordo com Li et al. (2016), a utilização de polímeros hidrorretentores biodegradáveis (hidrogel) pode reduzir o uso dos recursos naturais, fertilizantes e agrotóxicos, contribuindo para a preservação ambiental.

No Brasil não existem estudos investigando os efeitos dos retardantes químicos sobre os organismos e os ecossistemas. As pesquisas sobre esses produtos têm como foco a eficiência na extinção do incêndio propriamente dita. Assim, pesquisas que abordem essa questão podem contribuir para o conhecimento dos riscos associados ao uso dos retardantes, bem como para a formulação de legislação para regulamentação dessa classe de produtos em território brasileiro.

Nesse sentido, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes concentrações de retardantes de fogo de curta duração comerciais e de um polímero hidrorretentor sobre a germinação de sementes e crescimento de plântulas de quatro espécies florestais tropicais, bem como identificar possíveis efeitos fitotóxicos.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Coletas e caracterização das sementes

Para a realização desta pesquisa foram coletadas sementes de *Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth., *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke e *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (daqui em diante referidas pelos nomes populares: faveira, ipê-rosa, paricá e ipê-branco, respectivamente) em árvores da arborização urbana do município de Sinop, MT. As sementes foram coletadas em árvores matrizes selecionadas de acordo com as recomendações de Figliolia & Aguiar (1993) e Davide & Silva (2008) em 2017 (Tabela 1).

O clima da região é do tipo Aw (tropical quente e úmido) segundo a classificação climática de Köppen, com duas estações bem definidas: seca (maio a setembro) e chuvosa (outubro a abril), a temperatura média mensal varia de 24,0 a 27,0 °C e a precipitação anual em torno de 1970 mm (Souza et al., 2013).

Tabela 1. Localização e caracterização dendrométrica das árvores matrizes de faveira (*E. schomburgkii*), ipê-rosa (*H. impetiginosus*), paricá (*S. amazonicum*) e ipê-branco (*T. roseoalba*) no município de Sinop - MT, 2017

Localização das árvores matrizes						
Matriz (espécie)	N	Coordenadas geográficas <sup>(1)</sup>		Altitude	Dist. máx.	
		Latitude	Longitude			
<i>E. schomburgkii</i>	7	11°51'31,38"S; 11°51'37,99"S	55°32'49,85"O; 55°28'49,13"O	374, 4	7289,2	
<i>H. impetiginosus</i>	12	11°51'2,22"S; 11°51'39,40"S	55°31'30,90"O; 55°28'45,10"O	373, 4	5147,3	
<i>S. amazonicum</i>	5	11°50'48,39"S; 11°51'4,95"S	55°31'30,42"O; 55°31'17,11"O	367, 4	649,6	
<i>T. roseoalba</i>	12	11°49'49,03"S; 11°51'18,13"S	55°29'14,58"O; 55°29'37,65"O	373, 4	2826,7	

Variáveis dendrométricas das árvores matrizes <sup>(2)</sup>				
Matriz (espécie)	Alt <sub>T</sub>	Alt <sub>C</sub>	DAP	Dc
	(m)		(cm)	(m)
<i>E. schomburgkii</i>	14,18	1,85	69,15	15,66
<i>H. impetiginosus</i>	12,28	2,22	34,64	9,64
<i>S. amazonicum</i>	23,97	7,27	72,79	23,37
<i>T. roseoalba</i>	7,72	1,68	28,01	4,82

<sup>(1)</sup> Coordenadas geográficas das árvores mais distantes entre si; <sup>(2)</sup> Valores médios das árvores matrizes de cada espécie florestal; N - Número de árvores matrizes; Dist. máx. - Distância máxima entre as árvores matrizes; Alt<sub>T</sub> - Altura total; Alt<sub>C</sub> - Altura comercial; DAP - Diâmetro a altura do peito; Dc - Diâmetro de copa.

Para as espécies faveira, ipê-branco e ipê-rosa, as coletas das sementes foram realizadas diretamente nas árvores, após a constatação do início da dispersão, que ocorreu nos meses de julho e outubro de 2017, com auxílio de podão; enquanto para o paricá, as sementes foram coletadas diretamente no chão, após a queda natural das mesmas, na área de projeção das copas, também em outubro do mesmo ano. Após a coleta, foram retiradas amostras de sementes dos lotes de cada espécie, para a caracterização quanto ao peso de mil sementes e grau de umidade pelo método de estufa a 105 °C ± 3 durante 24 horas, ambos conforme especificações das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009) (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização de sementes de quatro espécies florestais tropicais na transição Cerrado-Amazônia, Sinop - MT, 2017

Espécies	Grau de umidade	Peso de mil sementes	Tempo de armazenamento
	(%)	(g)	(dias)
<i>E. schomburgkii</i>	7,80	96,8035	196
<i>H. impetiginosus</i>	7,98	27,2696	38
<i>S. amazonicum</i>	5,73	804,2721	154
<i>T. roseoalba</i>	7,84	12,3514	11

Adicionalmente, as sementes foram caracterizadas quanto às medidas biométricas e características de superfície (Tabela 3 e Figura 1).

Tabela 3. Medidas biométricas e características de superfície de sementes de quatro espécies florestais tropicais na transição Cerrado-Amazônia, Sinop - MT, 2017

Espécies	Comprimento Largura Espessura			Características de superfície das sementes
	(mm)			
<i>E. schomburgkii</i>	8,81	6,23	3,51	Tegumento duro e impermeável, textura lisa
<i>H. impetiginosus</i>	12,07	7,0	0,68	Flexível e textura papirácea
<i>S. amazonicum</i>	21,07	13,58	3,49	Tegumento duro e impermeável, textura lisa
<i>T. roseoalba</i>	9,42	6,85	0,59	Flexível e textura papirácea

O beneficiamento das sementes de faveira, ipê-branco e ipê-rosa consistiu na extração destas dos frutos, e na remoção do endocarpo papiráceo para as de paricá. Os lotes de sementes de cada espécie foram então armazenados em câmara fria sob temperatura de 12 °C e umidade relativa de 10% até a realização dos ensaios de germinação.

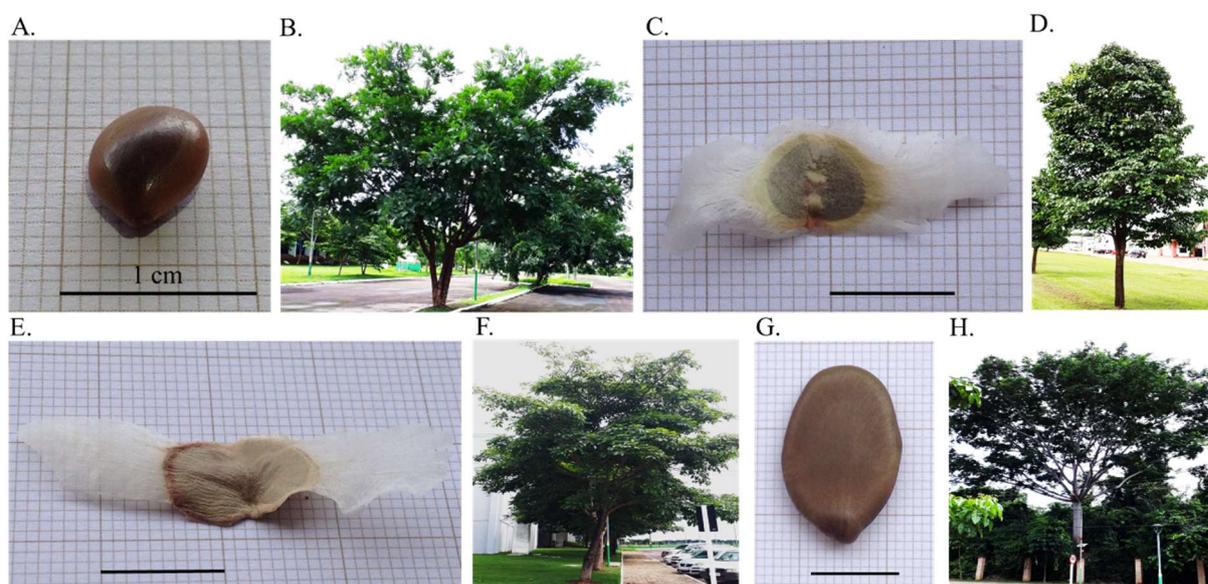


Figura 1. Sementes e árvores matrizes de quatro espécies florestais tropicais. Faveira (*E. schomburgkii*) (A e B), ipê-branco (*T. roseoalba*) (C e D), ipê-rosa (*H. impetiginosus*) (E e F) e paricá (*S. amazonicum*) (G e H) na transição Cerrado-Amazônia, Sinop - MT, 2017

## 2.2 Testes de germinação

Os experimentos foram conduzidos individualmente por espécie, no Laboratório Ambiente e Planta da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Câmpus Universitário de Sinop,

MT, entre setembro de 2017 e março de 2018. Antes da instalação de cada teste de germinação, as sementes foram triadas, visando selecionar as mais vigorosas e sadias. Posteriormente, as sementes foram submetidas a tratamentos pré-germinativos para superação de dormência e/ou aceleração do processo germinativo, que consistiram na escarificação química do tegumento com imersão das sementes em ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  95%) por 20 minutos para faveira; imersão das sementes em água a 100 °C por dois minutos e semeadura após 24 horas na água para o paricá; e remoção das alas para as espécies ipê-branco e ipê-rosa.

Todo o material utilizado (papel de germinação, pinças, seringas, caixas de germinação, entre outros) nos experimentos foram esterilizados em autoclave (em temperaturas indicadas para cada tipo de material) por uma hora, enquanto que as câmaras de germinação foram desinfestadas com álcool 70%, visando minimizar a contaminação por patógenos. Após a aplicação dos tratamentos pré-germinativos, as sementes foram desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio a 2% por cinco minutos, em seguida lavadas em água destilada.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com os tratamentos representados pelos seguintes produtos retardantes de fogo: i) Phos-Chek WD881®, nas concentrações de 0,0 (controle), 0,1; 0,3; 0,6; 0,8 e 1,0 mL L<sup>-1</sup>; ii) Hold Fire®, nas concentrações de 0,0 (controle), 0,7; 0,9; 1,1; 1,3 e 1,5 mL L<sup>-1</sup> e iii) Polímero Hidroretentor (Nutrigel®), nas concentrações de 0,00 (controle), 0,10; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,0 g L<sup>-1</sup>, diluídos em água destilada, no intervalo de concentração recomendada pelos fabricantes (com exceção do polímero hidroretentor) (Figura 2) e, somente água destilada no controle.

Para as avaliações de germinação e de vigor das sementes foram utilizadas quatro repetições de 100 sementes para as espécies ipê-branco e ipê-rosa; quatro repetições de 30 sementes para faveira e quatro repetições de 25 sementes para o paricá, para cada tratamento supracitado; sendo a quantidade sementes determinada em função dos tamanhos das mesmas. E para a análise do vigor de plântulas, foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes para todas as espécies.

Posteriormente, as sementes foram acondicionadas em caixas plásticas de polipropileno com tampa, nas dimensões de 21,5 cm de comprimento por 21,5 cm de largura por 8,2 cm de altura, sobre papel germitest, sendo que o volume (mL) de solução de cada produto retardante ou água destilada (controle) aplicado em todos os tratamentos, foi o equivalente a três vezes o peso do papel (Brasil, 2009). Em seguida, as caixas plásticas foram tampadas e levadas para câmaras de germinação reguladas com temperatura constante de 30 °C e fotoperíodo de 12 horas, com iluminação por lâmpadas fluorescentes (2500 lux). De acordo com a necessidade, o papel foi

novamente umedecido com as soluções dos produtos retardantes ou com água destilada (controle).

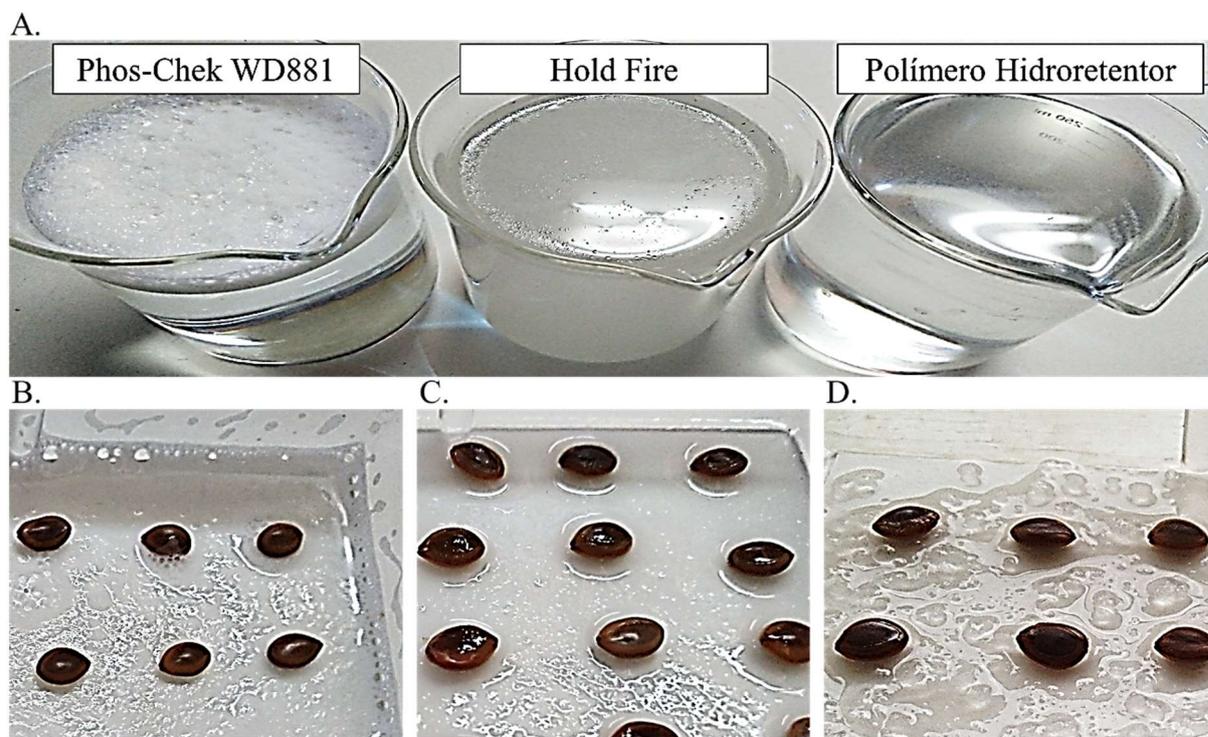


Figura 2. Aspecto dos produtos químicos diluídos e aplicados em sementes de faveira (*E. schomburgkii*). Produtos químicos diluídos em suas maiores concentrações (A), Phos-Chek WD881 a  $1,0 \text{ mL L}^{-1}$  (B), Hold Fire a  $1,5 \text{ mL L}^{-1}$  (C), Polímero Hidroretentor a  $1,0 \text{ g L}^{-1}$  (D)

As contagens das sementes germinadas foram realizadas diariamente a partir do dia seguinte a instalação dos experimentos, por um período de 14 dias para cada espécie. As variáveis avaliadas foram: primeira contagem de germinação (PCG), conduzida juntamente com o teste de germinação, na qual foram consideradas germinadas as sementes que originaram plântulas normais no sétimo dia após a instalação do experimento (Brasil, 2009); porcentagem de germinação (%G), avaliada por meio da contagem aos 14 dias após a instalação do experimento, sendo consideradas germinadas as sementes que originaram plântulas normais (Brasil, 2009), ambas expressas em porcentagem.

Ao final do período experimental também foi registrado o número de plântulas normais (PN) e anormais (PA) e de sementes não germinadas, categoria em que foram agrupadas as sementes mortas e duras (Brasil, 2009) (Figura 3).

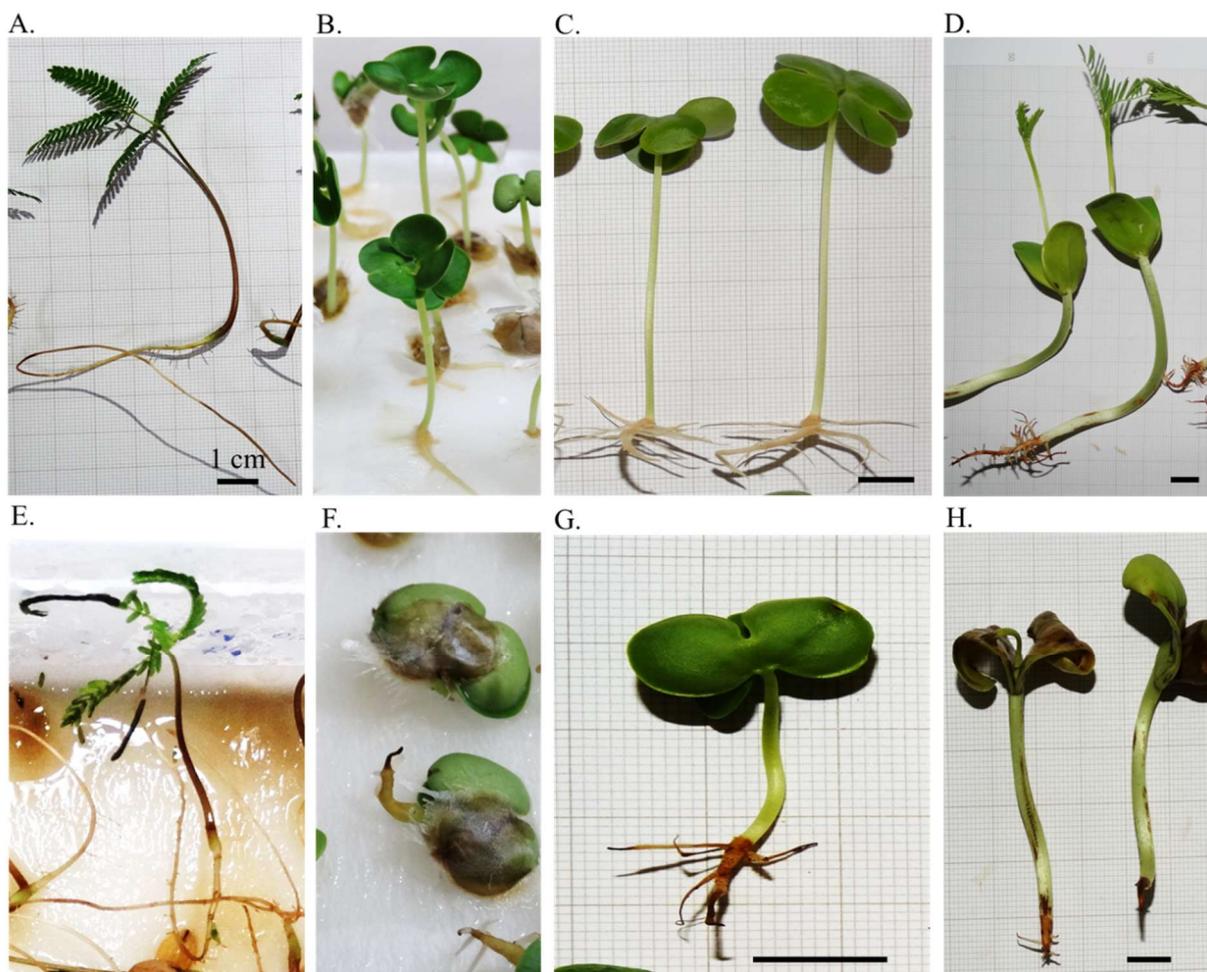


Figura 3. Plântulas normais (imagens superiores) provenientes do tratamento controle e anormais (imagens inferiores) de *E. schomburgkii* em  $0,10 \text{ g L}^{-1}$  de Polímero Hidroretentor (A e E), *T. rosealba* em  $0,8 \text{ mL L}^{-1}$  de Phos-Chek WD881 (B e F), *H. impetiginosus* em  $1,0 \text{ mL L}^{-1}$  de Phos-Chek WD881 (C e G) e *S. amazonicum* em  $0,6 \text{ mL L}^{-1}$  de Phos-Chek WD881 (D e H) (faveira, ipê-branco, ipê-rosa e paricá), ambas aos 14 dias após a semeadura

Avaliou-se também o índice de velocidade de germinação (IVG), considerando-se como germinadas as sementes que apresentavam no mínimo  $2,0 \text{ mm}$  de protusão da raiz primária, determinado segundo Maguire (1962), através da Eq. 1.

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n} \quad (\text{Equação 1})$$

em que: IVG - índice de velocidade de germinação;  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_n$  - número de plântulas normais computadas na primeira contagem, na segunda contagem e última contagem;  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_n$  - número de dias desde a semeadura até a primeira, segunda e última contagens.

Avaliou-se ainda o tempo médio de germinação (TMG), obtido por meio das contagens diárias das sementes germinadas até o décimo quarto dia, conforme Labouriau (1983), calculado pela Eq. 2.

$$TMG = \frac{\sum(n_i t_i)}{\sum n_i} \quad (\text{Equação 2})$$

em que: TMG - tempo médio de germinação (dias);  $n_i$  - número de sementes germinadas por dia (no intervalo entre cada contagem);  $t_i$  - tempo decorrido entre o início da germinação e a  $i$ -ésima contagem;  $i$  - 1, 2, ... n dias.

Com a finalidade de avaliar a ação dos produtos retardantes de fogo testados e, partindo-se do pressuposto de que podem existir diferentes efeitos residuais destes nos distintos estádios de desenvolvimento das plântulas, ao final do período experimental também foram medidos: comprimento da parte aérea (base da plântula até a inserção das folhas cotiledonares) e das raízes (base da plântula até o ápice da raiz principal), utilizando régua com precisão de 0,1 cm; massas frescas da parte aérea (MFA) e das raízes (MFR); massas secas da parte aérea (MSA) e das raízes (MSR); ambos obtidos através de quatro repetições de 25 plântulas para todos os tratamentos, após 14 dias da semeadura.

Para a determinação das massas frescas e secas, primeiramente as plântulas foram separadas em raízes e parte aérea, e pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g. Posteriormente, foram colocadas para secagem em estufa de circulação forçada de ar com temperatura de  $65,0 \pm 2,0$  °C, até atingirem peso constante, com posterior pesagem da massa seca (Nakagawa, 1999).

Os dados de germinação e crescimento obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ( $p \leq 0,05$ ), e posteriormente à análise de variância pelo teste F, sendo as análises de regressão linear ou polinomial, obtidas para as concentrações separadas por produto e individualmente por espécie, ambos ao nível de 95% de confiança. Quando necessário, os dados foram transformados em  $[\text{raiz}(x/100)]$ . Para os dados de vigor das plântulas e partição de biomassa realizou-se análise descritiva, pela impossibilidade de aplicação de teste para comparação de médias, devido à natureza dos dados (diferentes espécies e produtos).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Phos-Chek WD881: germinação e vigor

As espécies florestais estudadas apresentaram respostas distintas para as variáveis de germinação em função das concentrações crescentes de Phos-Chek WD881, com destaque para o ipê-branco e o ipê-rosa (Figura 4).

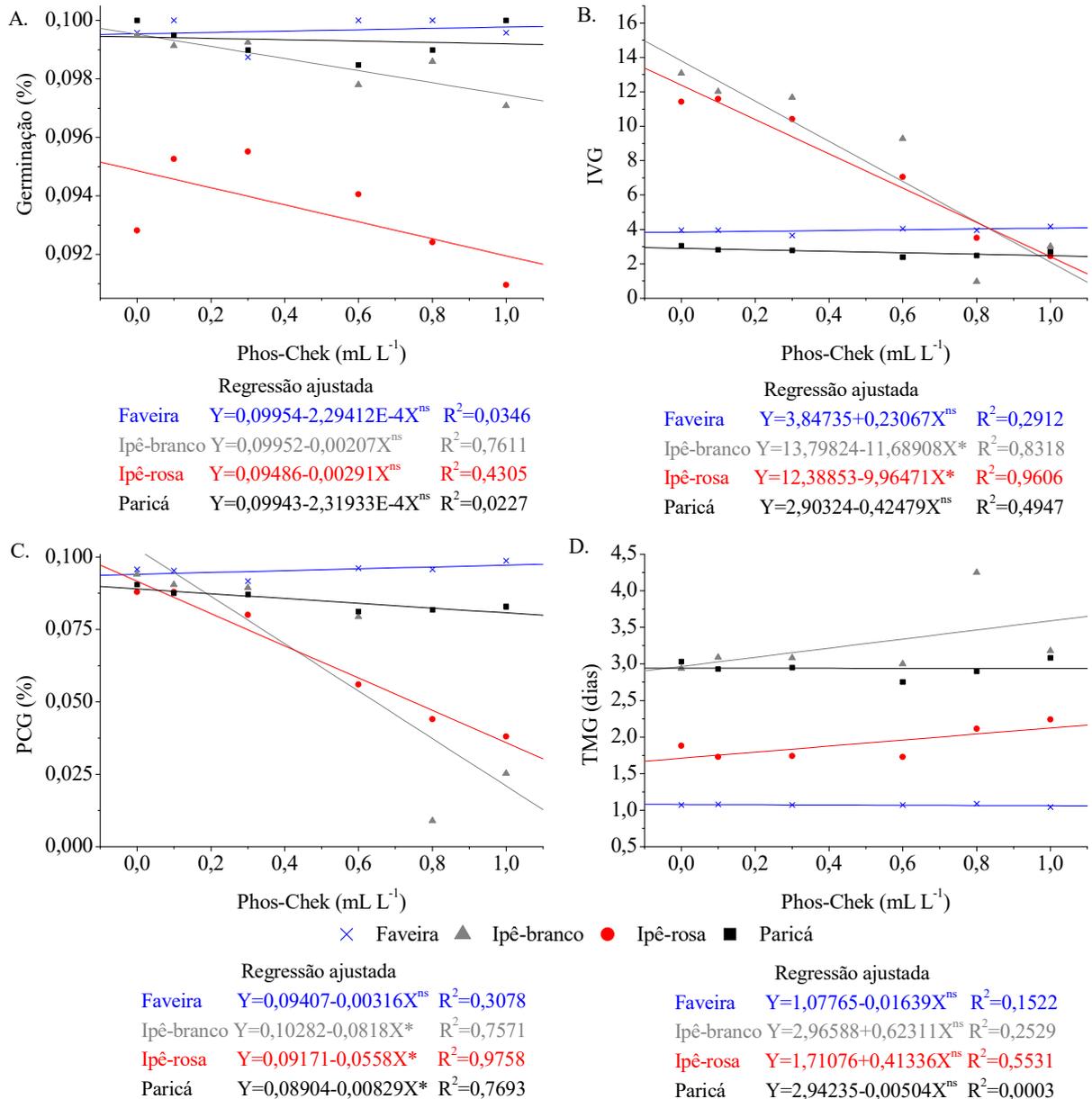
A germinação (%G) apresentou leve redução linear em função do aumento das concentrações das soluções de Phos-Chek WD881 para as espécies ipê-branco e ipê-rosa, apesar da não significância (Figura 4A). Essa redução foi verificada a partir do tratamento de  $0,6 \text{ mL L}^{-1}$  para as duas espécies de ipês, afetando negativamente a germinação, que apresentaram 96,0% (ipê-branco) e 89,0% (ipê-rosa) de sementes germinadas nessa concentração.

A concentração de  $1,0 \text{ mL L}^{-1}$  do produto retardante causou reduções de 5,05 e 3,49% da germinação para o ipê-branco e ipê-rosa, respectivamente, em comparação aos percentuais obtidos para o controle ( $0,0 \text{ mL L}^{-1}$ ). Para a faveira e o paricá não foi observado esse padrão, indicando que a germinação dessas espécies não foi afetada pelas variações nas concentrações de Phos-Chek WD881, mantendo %G superiores a 98,0 e 97,0%, respectivamente (Figura 4A).

O índice de velocidade de germinação (IVG) das sementes de ipê-branco e ipê-rosa foi significativamente afetado pelo aumento das concentrações das soluções de Phos-Chek WD881, enquanto para a faveira e o paricá não houve efeito significativo (Figura 4B). As duas espécies de ipês apresentaram redução linear desse índice, sendo esta mais acentuada a partir da concentração  $0,6 \text{ mL L}^{-1}$  para ambas, atingindo redução de 77,1 e 78,9% respectivamente, na concentração de  $1,0 \text{ mL L}^{-1}$ , em relação ao controle ( $0,0 \text{ mL L}^{-1}$ ).

A primeira contagem de germinação (%PCG) decresceu em função do aumento das concentrações do retardante para as espécies de ipê-branco, ipê-rosa e paricá, sendo mais expressiva a partir da concentração  $0,6 \text{ mL L}^{-1}$  (Figura 4C). Por outro lado, para a faveira não houve influência do aumento das concentrações de Phos-Chek WD881 no percentual de germinação na primeira contagem. Foram verificadas reduções na PCG de 82,0% (ipê-branco), 81,0% (ipê-rosa) e 16,0% (paricá) na concentração  $1,0 \text{ mL L}^{-1}$ , em comparação ao controle ( $0,0 \text{ mL L}^{-1}$ ).

O tempo médio de germinação (TMG) não apresentou efeito significativo para nenhuma espécie em função do aumento das concentrações de Phos-Chek WD881 (Figura 4D). Contudo, observou-se que, as concentrações de 0,8 e  $1,0 \text{ mL L}^{-1}$  do retardante proporcionaram maiores valores médios em dias para germinação para o ipê-branco e o ipê-rosa.

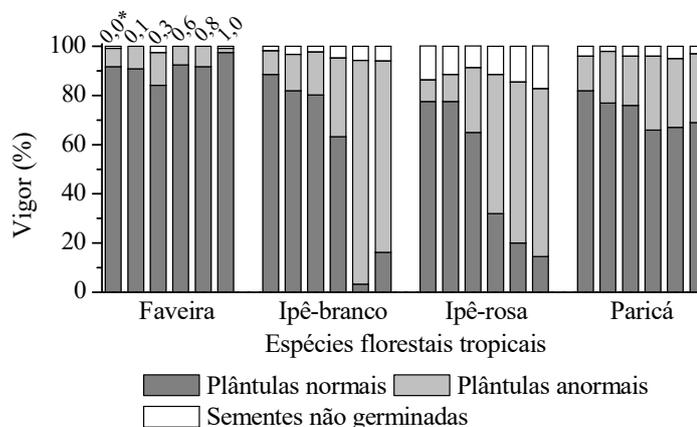


Dados de germinação (%) e PCG foram transformados em  $[\text{raiz}(x/100)]$ . \* significativo ao nível de 5% de probabilidade. <sup>ns</sup> não significativo

Figura 4. Variáveis de germinação de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Phos-Chek WD881. Porcentagem de germinação aos 14 dias após a semeadura (A), índice de velocidade de germinação - IVG (B), primeira contagem de germinação - PCG, realizada aos sete dias após a semeadura (C) e tempo médio de germinação - TMG (D)

O padrão de proporção de plântulas normais e anormais variou entre as espécies em reposta às concentrações crescentes de Phos-Chek WD881 (Figura 5). O aumento das concentrações do retardante causou decréscimos expressivos nas porcentagens de plântulas normais para as

espécies ipê-branco, ipê-rosa e paricá, sendo que as duas primeiras apresentaram maiores reduções em relação à última.



\*Concentrações do Phos-Chek WD881 para cada espécie

Figura 5. Percentuais médios de plântulas normais, anormais e sementes não germinadas (sementes mortas e duras) de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Phos-Chek WD881

Como observado para as variáveis de germinação (Figura 4), as maiores reduções de plântulas normais também foram verificadas a partir da concentração 0,6 mL L<sup>-1</sup> de Phos-Chek WD881. Com as menores quantidades de plântulas normais em 0,8 mL L<sup>-1</sup> (ipê-branco), 1,0 mL L<sup>-1</sup> (ipê-rosa) e 0,6 mL L<sup>-1</sup> (paricá) (Figura 5).

A porcentagem de plântulas anormais logicamente foi inversamente proporcional à de plântulas normais (Figura 5). Com o aumento das concentrações de Phos-Chek WD881, houve aumento do percentual de plântulas anormais de ipê-branco, ipê-rosa e paricá, com maior influência no ipê-branco. Essas espécies chegaram a apresentar 91,0; 68,3 e 30,0% respectivamente, de plântulas classificadas como anormais em concentrações iguais ou superiores a 0,6 mL L<sup>-1</sup> do produto retardante.

A faveira não foi afetada pelas concentrações crescentes do retardante, com variações nas porcentagens de plântulas normais e anormais dependente apenas dos fatores genéticos e/ou dos lotes de sementes. Assim como a porcentagem de sementes não germinadas, que não apresentou variação expressiva com o aumento em concentrações de Phos-Chek WD881 (Figura 5).

### 3.2 Hold Fire: germinação e vigor

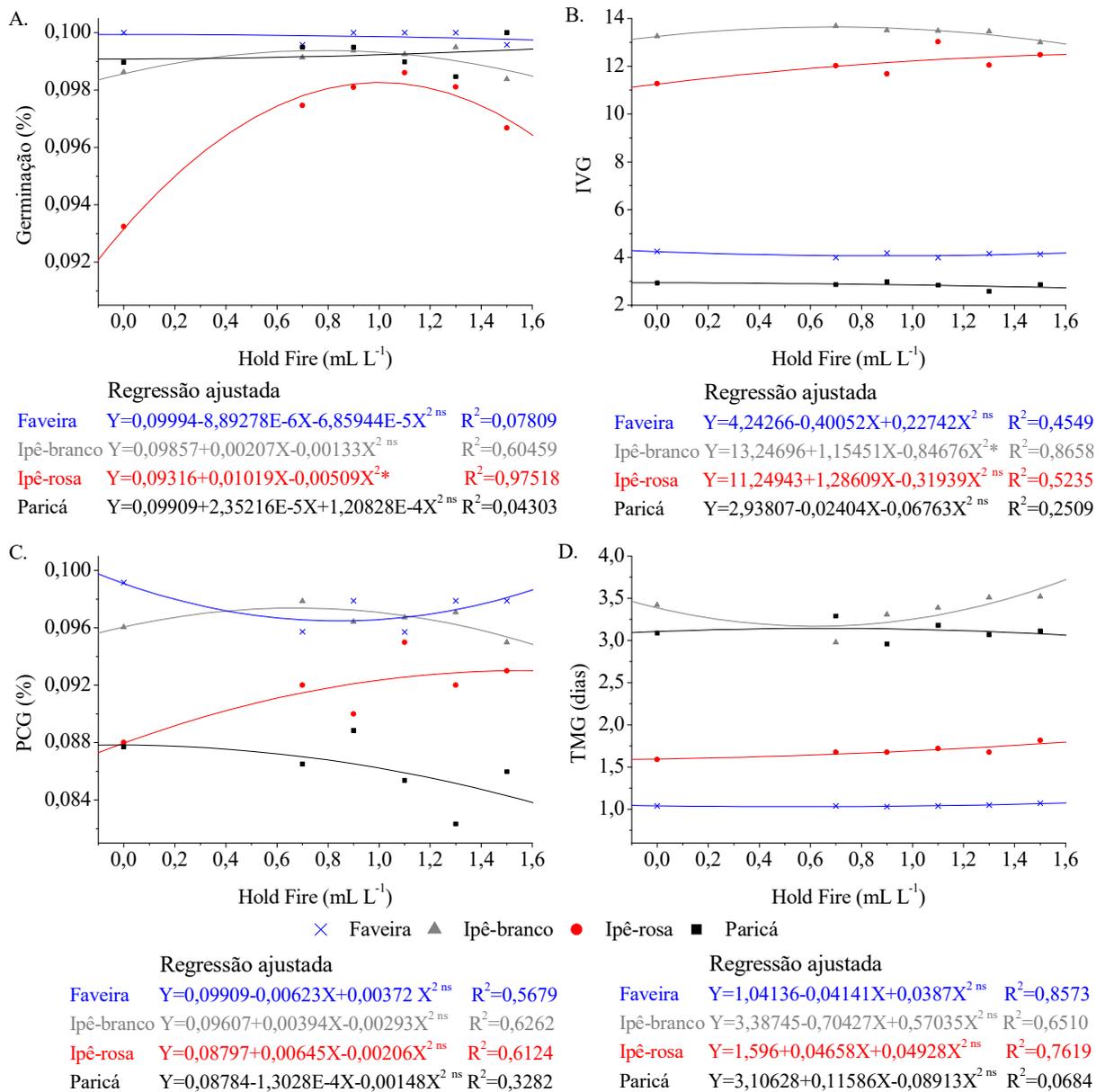
As variáveis de germinação das espécies florestais tropicais empregadas neste estudo apresentaram respostas com padrão polinomial, em função das concentrações de Hold Fire, apesar da não significância para as equações ajustadas para algumas destas (Figura 6). A partir da derivação das equações de regressão ajustadas foram determinados os pontos de máxima ou mínima concentração do produto retardante.

A germinação das sementes do ipê-rosa foi influenciada significativamente pelo aumento das concentrações das soluções de Hold Fire, expressando máxima porcentagem estimada na concentração de  $1,0 \text{ mL L}^{-1}$ , enquanto a concentração de  $1,1 \text{ mL L}^{-1}$  apresentou a maior germinação observada de 97,0% (Figura 6A). A germinação das demais espécies florestais não foi influenciada pelo aumento das concentrações desse retardante, que apresentaram germinação superior a 99,0% - faveira ( $0,7$  e  $1,5 \text{ mL L}^{-1}$ ), 97,0% - ipê-branco ( $0,0$  e  $1,5 \text{ mL L}^{-1}$ ) e 97,0% - paricá ( $1,3 \text{ mL L}^{-1}$ ).

O IVG foi influenciado significativamente apenas para o ipê-branco, que apresentou máxima velocidade de germinação estimada na concentração de  $0,68 \text{ mL L}^{-1}$  de Hold Fire, e observada em  $0,7 \text{ mL L}^{-1}$ . Enquanto o maior valor médio observado para o IVG dessa espécie foi de 13,69 para as sementes submetidas a  $0,7 \text{ mL L}^{-1}$  do retardante (Figura 6B). Para as demais espécies os maiores valores médios desse índice foram de 4,25 (faveira), 13,02 (ipê-rosa) e 2,98 (paricá) em  $0,0$ ;  $1,1$  e  $0,9 \text{ mL L}^{-1}$ , respectivamente.

Sob concentrações crescentes de Hold Fire não foram verificadas variações significativas nos percentuais da PCG até o nível de  $1,5 \text{ mL L}^{-1}$  para nenhuma das espécies florestais tropicais testadas (Figura 6C). Que apresentaram as maiores porcentagens médias em  $0,0 \text{ mL L}^{-1}$  (98,3% - faveira),  $0,7 \text{ mL L}^{-1}$  (95,7% - ipê-branco),  $1,1 \text{ mL L}^{-1}$  (90,5% - ipê-rosa) e  $0,9 \text{ mL L}^{-1}$  (79,0% - paricá) do retardante.

O TMG de todas as espécies florestais examinadas também não foi influenciado pelo aumento das concentrações de Hold Fire (Figura 6D). Sendo que os menores TMGs foram de 1, 2 e 3 dias para faveira, ipê-rosa e paricá, respectivamente, em todas as concentrações do retardante, enquanto para o ipê-branco foram 3 dias nas concentrações de  $0,0$  a  $1,1 \text{ mL L}^{-1}$ .

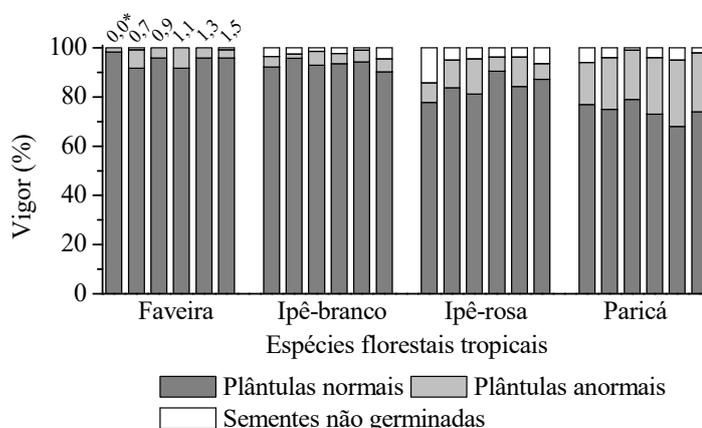


Dados de germinação (%) e PCG foram transformados em [raiz(x/100)]. \* significativo ao nível de 5% de probabilidade. <sup>ns</sup> não significativo

Figura 6. Variáveis de germinação de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Hold Fire. Porcentagem de germinação aos 14 dias após a semeadura (A), índice de velocidade de germinação - IVG (B), primeira contagem de germinação - PCG, realizada aos sete dias após a semeadura (C) e tempo médio de germinação - TMG (D)

O aumento das concentrações de Hold Fire não causou variações expressivas nos percentuais de plântulas normais e anormais e de sementes não germinadas para nenhuma das espécies florestais analisadas (Figura 7). Dessa forma, a formação de plântulas normais ao final do período experimental não foi comprometida, que atingiu 98,0% (0,0 mL L<sup>-1</sup>) para a faveira,

96,0% (0,7 mL L<sup>-1</sup>) para o ipê-branco, 91,0% (1,1 mL L<sup>-1</sup>) para o ipê-rosa e 79,0% (0,9 mL L<sup>-1</sup>) para o paricá.



\*Concentrações do Hold Fire para cada espécie

Figura 7. Percentuais médios de plântulas normais, anormais e sementes não germinadas (sementes mortas e duras) de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Hold Fire

A maior quantidade de sementes não germinadas (14,0%) foi observada para o ipê-rosa no tratamento controle (0,0 mL L<sup>-1</sup>), visto que este tratamento foi acometido pela incidência de fungos, que resultou em maior mortalidade das sementes em relação aos demais tratamentos. Devido a isso, esse resultado não foi considerado como efeito do produto retardante.

### 3.3 Polímero Hidroretentor: germinação e vigor

As respostas das variáveis de germinação das espécies florestais estudadas apresentaram padrão polinomial, em função do aumento das concentrações do Polímero Hidroretentor, porém, não foram significativas (Figura 8).

Embora não tenha sido verificado efeitos significativos do aumento das concentrações do Polímero Hidroretentor na germinação de nenhuma espécie, foram observadas porcentagens de germinação superiores a 97,0; 98,0; 90,0 e 95,0%, para a faveira e ipê-branco (0,00 g L<sup>-1</sup>), ipê-rosa (0,75 g L<sup>-1</sup>) e paricá (0,10 g L<sup>-1</sup>), respectivamente. Adicionalmente verificou-se ainda que a porcentagem média de germinação de todas as concentrações do Polímero Hidroretentor foi de 100% para a faveira, 90,0% para ipê-branco, 93,0% para o ipê-rosa e 98,0% para o paricá (Figura 8A).

O IVG variou de 3,96 (0,50 g L<sup>-1</sup>) a 4,25 (0,25 g L<sup>-1</sup>) para a faveira, de 13,09 (0,00 g L<sup>-1</sup>) a 13,73 (0,25 g L<sup>-1</sup>) para o ipê-branco, de 12,02 (0,75 g L<sup>-1</sup>) a 12,57 (1,0 g L<sup>-1</sup>) para o ipê-rosa e

de 2,73 (0,10 g L<sup>-1</sup>) a 3,16 (0,00 g L<sup>-1</sup>) para o paricá (Figura 8B). Semelhante ao observado para a %G (Figura 8A), a PCG do ipê-rosa e do paricá apresentou padrão polinomial negativo (Figura 8C).

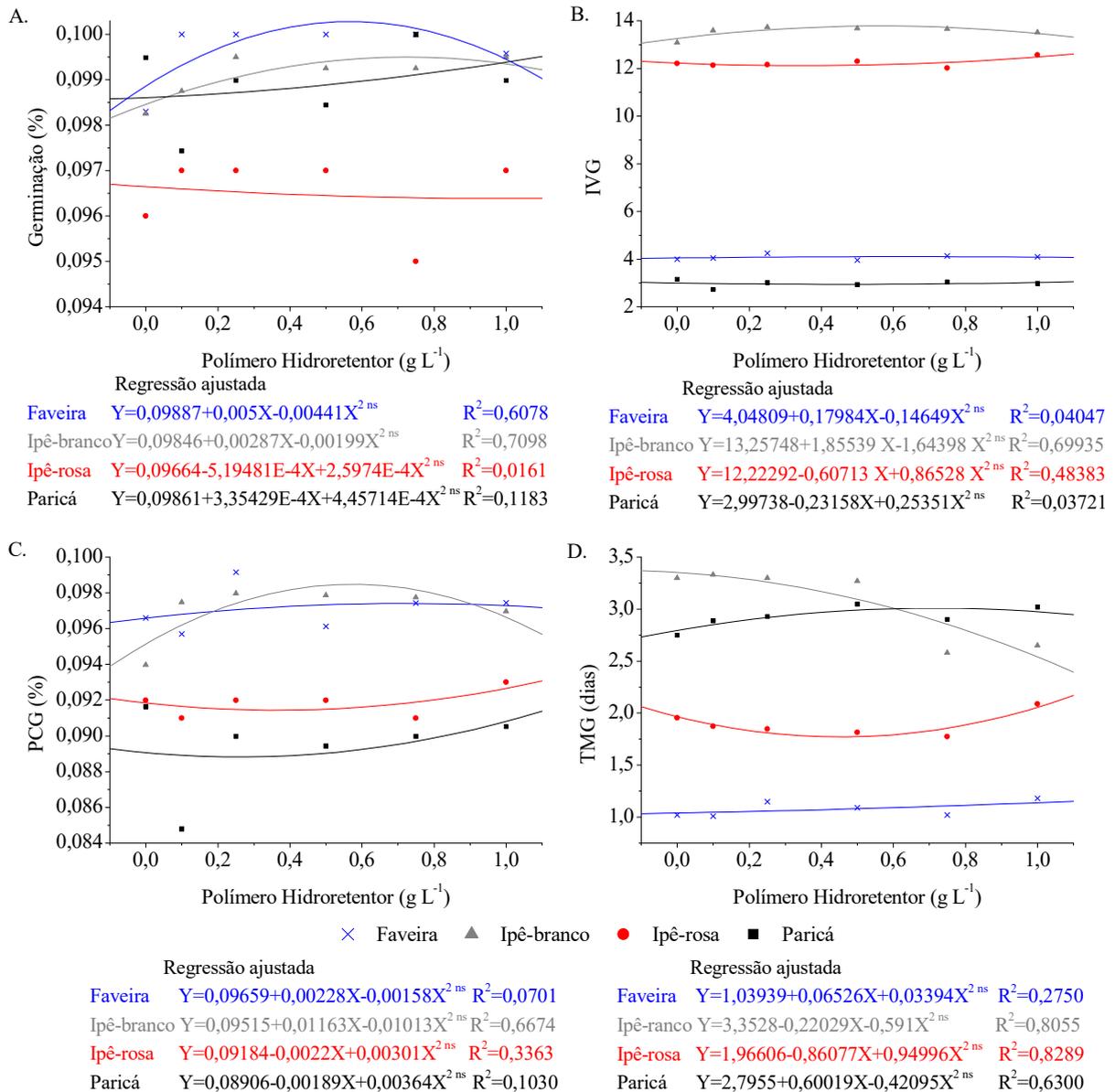
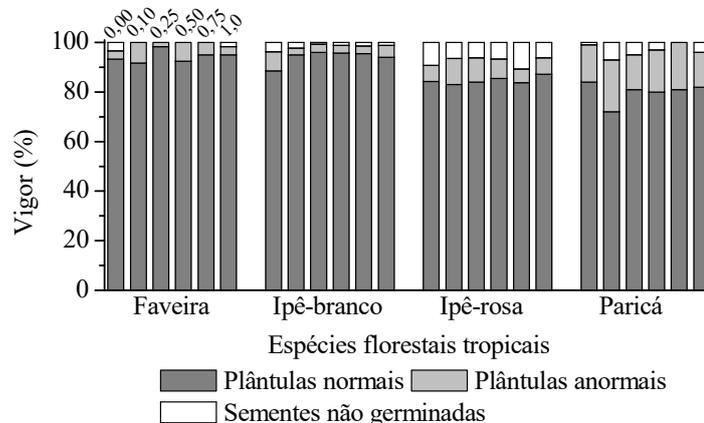


Figura 8. Variáveis de germinação de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Polímero Hidroretentor. Porcentagem de germinação aos 14 dias após a semeadura (A), índice de velocidade de germinação - IVG (B), primeira contagem de germinação - PCG, realizada aos sete dias após a semeadura (C) e tempo médio de germinação - TMG (D)

Conforme houve o aumento das concentrações do Polímero Hidroretentor ocorreu uma redução do número de sementes germinadas dessas espécies até 0,75 g L<sup>-1</sup> (ipê-rosa) e 0,50 g L<sup>-1</sup> (paricá) do retardante, tendendo a aumentar novamente a partir de então. Enquanto a faveira e o ipê-branco apresentaram padrão polinomial positivo. A medida em que aumentou as concentrações do produto retardante, houve aumento da porcentagem de sementes germinadas até 0,25 g L<sup>-1</sup> de Polímero Hidroretentor, para ambas as espécies, tendendo reduzir novamente a partir dessa concentração (Figura 8C).

Os TMGs médios foram de 1,0 (faveira), 2,0 (ipê-rosa) e 3,0 dias (ipê-branco e o paricá) (Figura 8D). O aumento na concentração de Polímero Hidroretentor causou redução de 14,3% de plântulas normais para o paricá em 0,10 g L<sup>-1</sup> em relação ao tratamento controle (Figura 9). Enquanto para as demais espécies florestais investigadas a formação de plântulas normais ao final do período experimental foi superior a 92,0% (0,10 g L<sup>-1</sup>) para a faveira, 89,0% (0,00 g L<sup>-1</sup>) para o ipê-branco e 83,0% (0,10 g L<sup>-1</sup>) para o ipê-rosa, não apresentando variações expressivas (Figura 9).



\*Concentrações do Polímero Hidroretentor para cada espécie

Figura 9. Percentuais médios de plântulas normais, anormais e sementes não germinadas (sementes mortas e duras) de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Polímero Hidroretentor

Considerando os valores médios de todos os tratamentos para cada espécie florestal, foram computados 5,0% (faveira), 4,0% (ipê-branco), 8,0% (ipê-rosa) e 17,0% (paricá) de plântulas anormais formadas a partir das sementes submetidas às diferentes concentrações de Polímero Hidroretentor.

### 3.4 Crescimento de plântulas

Assim como observado na germinação e vigor, as espécies florestais examinadas apresentaram respostas distintas para as variáveis de crescimento em função das diferentes concentrações de Phos-Chek WD881 (Figura 10). O aumento das concentrações do retardante afetou significativamente o comprimento da parte aérea e/ou da raiz em plântulas de ipê-branco, ipê-rosa e paricá (Figuras 10A e 10B).

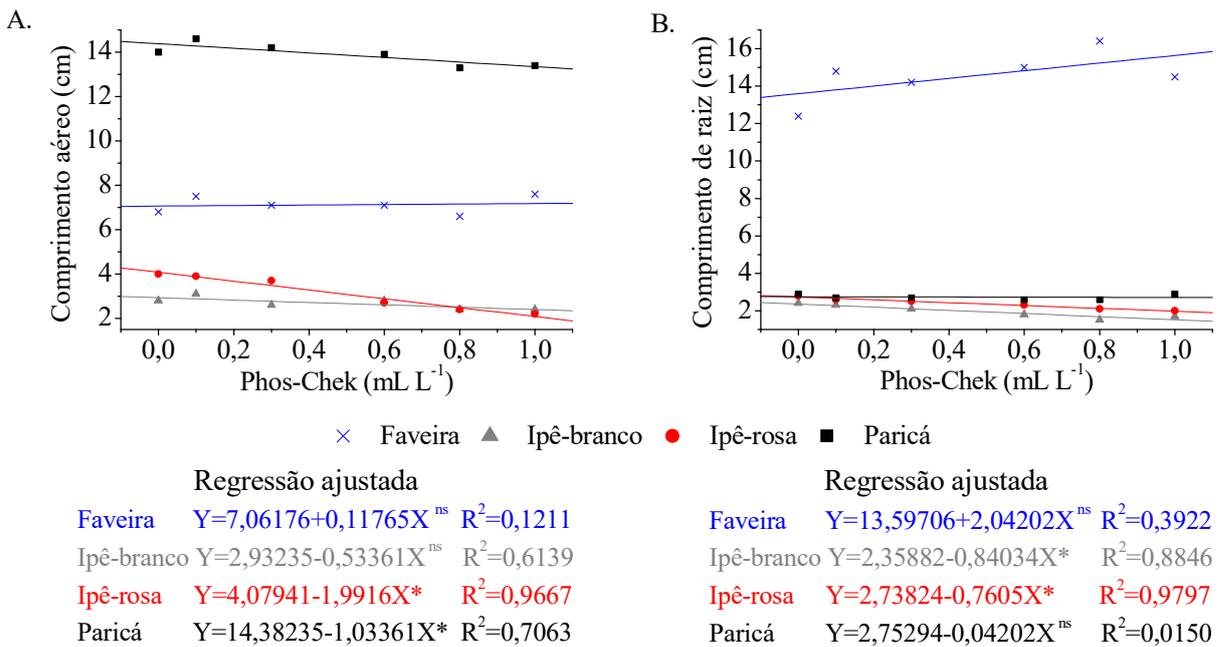


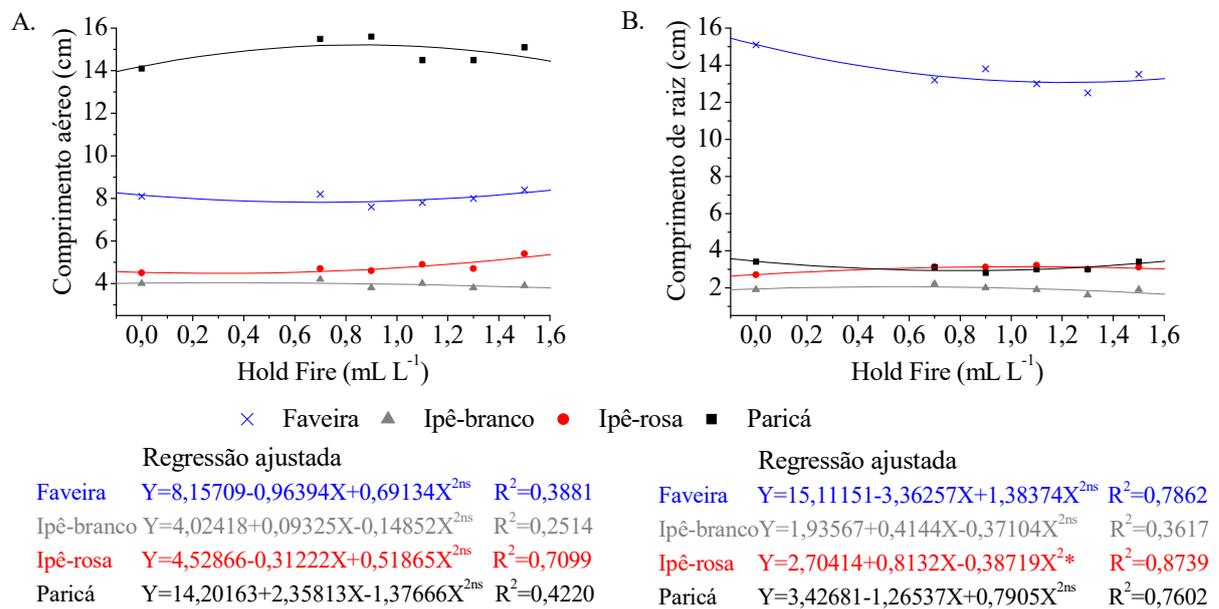
Figura 10. Comprimento da parte aérea (A) e da raiz (B) de plântulas de espécies florestais tropicais submetidas a diferentes concentrações de Phos-Chek WD881 aos 14 dias após a semeadura

A redução do comprimento da parte aérea do ipê-rosa e do paricá e, do comprimento de raiz do ipê-branco e do ipê-rosa, foi mais perceptível a partir da concentração de 0,6 mL L<sup>-1</sup> Phos-Chek WD881. Que apresentaram os menores comprimentos médios de parte aérea em 1,0 mL L<sup>-1</sup> (2,2cm - ipê-rosa) e 0,8 mL L<sup>-1</sup> (13,3 cm - paricá), e de raiz em 0,8 mL L<sup>-1</sup> (1,5 cm - ipê-branco) e 1,0 mL L<sup>-1</sup> (2,0 cm - ipê-rosa) de Phos-Chek WD881 (Figuras 10A e 10B). Essas reduções foram de 37,5% para o ipê-branco, 45,0 e 28,6% para a parte aérea e a raiz, respectivamente do ipê-rosa e 5% para o paricá.

O comprimento médio da parte aérea das plântulas de faveira foi de 7,1 cm e da raiz 14,5 cm (Figuras 10A e 10B), não influenciado pelo aumento das concentrações de Phos-Chek WD881.

As variáveis de crescimento das plântulas das espécies florestais tropicais apresentaram padrão polinomial, em função das diferentes concentrações de Hold Fire (Figuras 11A e B). O aumento das concentrações de Hold Fire influenciou significativamente apenas o comprimento de raiz do ipê-rosa, sendo que a concentração de 1,1 mL<sup>-1</sup> proporcionou o maior valor médio (3,2 cm) (Figura 11B), com comprimento máximo estimado na concentração de 1,0 mL L<sup>-1</sup>.

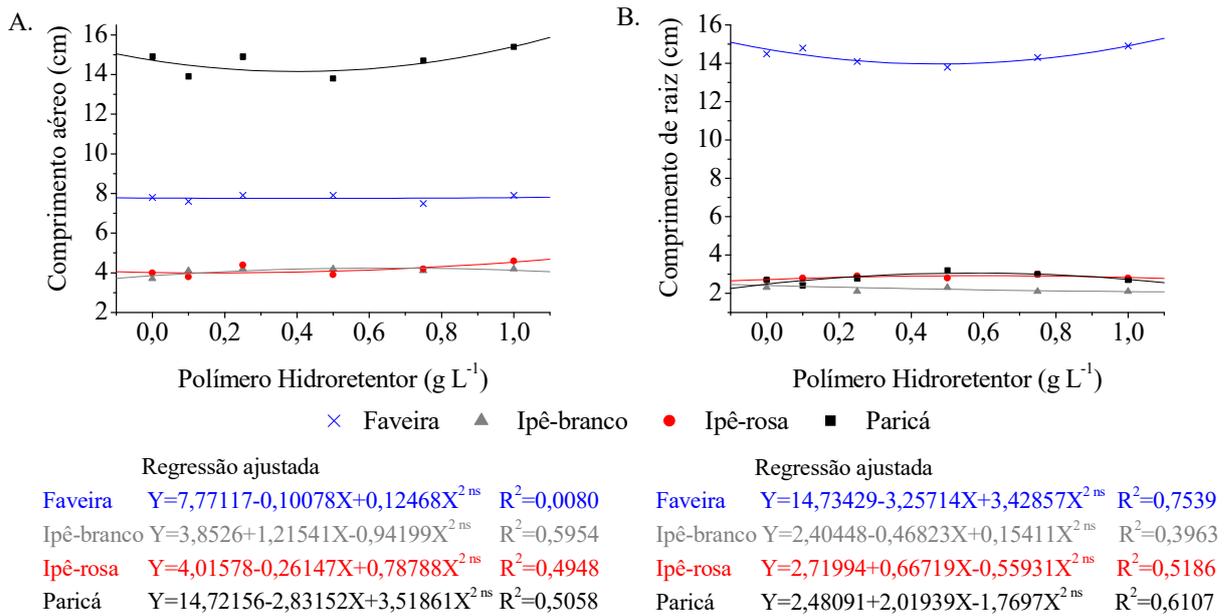
O comprimento médio da parte aérea das plântulas das demais espécies foi de 8,0; 4,0 e 14,9 cm e da raiz de 13,5; 1,9 e 3,1 cm para a faveira, ipê-branco e paricá, respectivamente (Figuras 11A e B).



\* significativo ao nível de 5% de probabilidade. <sup>ns</sup> não significativo

Figura 11. Comprimento da parte aérea (A) e da raiz (B) de plântulas de espécies florestais tropicais submetidas a diferentes concentrações de Hold Fire aos 14 dias após a semeadura

Semelhante ao observado para o Hold Fire, as variáveis de crescimento das plântulas apresentaram padrão polinomial em função das diferentes concentrações do Polímero Hidroretentor (Figuras 12A e B). Entretanto, não foi verificado efeito significativo em função do Polímero Hidroretentor para nenhuma das espécies florestais estudadas. As quais apresentaram valores médios de comprimento aéreo de 7,8; 4,1; 4,2 e 14,6 cm e comprimento radicular de 14,4; 2,3; 2,8 e 2,8 cm para a faveira, ipê-branco, ipê-rosa e paricá, respectivamente.



\* significativo ao nível de 5% de probabilidade. <sup>ns</sup> não significativo

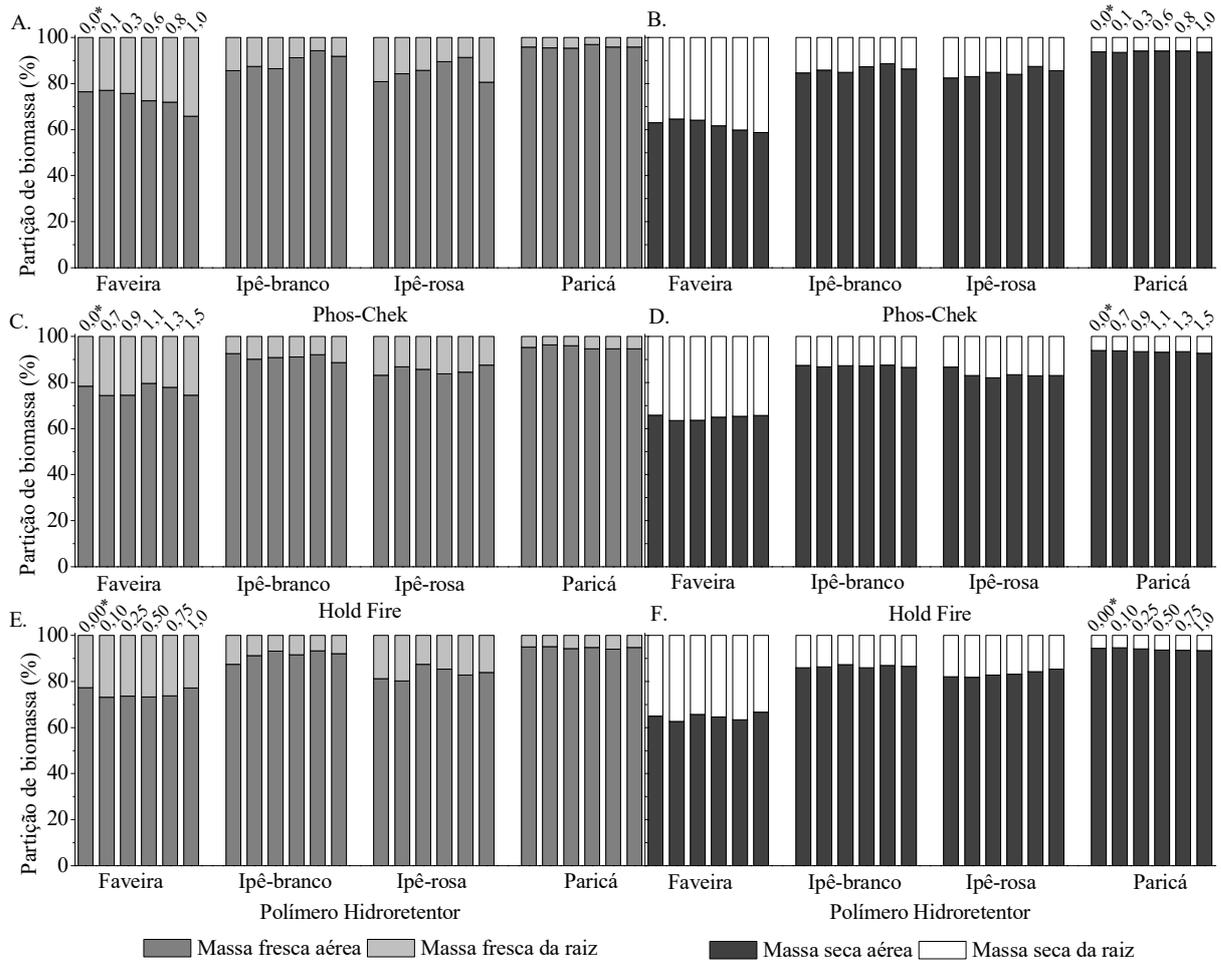
Figura 12. Comprimento da parte aérea (A) e da raiz (B) de plântulas de espécies florestais tropicais submetidas a diferentes concentrações de Polímero Hidroretentor aos 14 dias após a semeadura

### 3.4.1 Partição de biomassa das plântulas

O padrão de partição de massa fresca e seca foi variável para as espécies submetidas a concentrações crescentes de Phos-Chek WD881. De modo que, o acúmulo de massa fresca e seca aérea e da raiz nas plântulas de faveira foi afetado pelas diferentes concentrações do retardante, apresentando redução da massa fresca e seca aérea a partir de  $0,6 \text{ mL L}^{-1}$ , enquanto que as massas fresca e seca da raiz aumentaram a partir dessa concentração (Figuras 13A e 13B).

O ipê-branco exibiu padrão diferente, apresentando maior investimento em massa fresca e seca da parte aérea em resposta ao aumento das concentrações de Phos-Chek WD881. Enquanto a massa fresca e seca da raiz diminuiu conforme o aumento das concentrações do retardante, sendo mais perceptível a partir de  $0,6 \text{ mL L}^{-1}$ , para ambas (Figuras 13A e 13B).

O incremento em biomassa aérea do ipê-rosa foi crescente até a concentração de  $0,8 \text{ L}^{-1}$ , com posterior redução. Contrariamente, o aumento das concentrações de Phos-Chek WD881 levou a reduções de 55,2 e 28,3% da biomassa radicular fresca e seca nessa concentração. Diferentemente das demais espécies, o paricá não apresentou variações no padrão de alocação da biomassa tanto fresca, quanto seca em função do Phos-Chek WD881 (Figuras 13A e 13B).



\*Concentrações do produto para cada espécie

Figura 13. Percentuais médios de biomassa acumulada de espécies florestais tropicais em diferentes concentrações de Phos-Chek WD881, Hold Fire e Polímero Hidroretentor. Partição de massa fresca aérea e da raiz (A) e massa seca aérea e da raiz (B) de plântulas submetidas a diferentes concentrações de Phos-Chek WD881, partição de massa fresca aérea e da raiz (C) e massa seca aérea e da raiz (D) de plântulas submetidas a diferentes concentrações de Hold Fire, partição de massa fresca aérea e da raiz (E) e massa seca aérea e da raiz (F) de plântulas submetidas a diferentes concentrações de Polímero Hidroretentor, aos 14 dias após a semeadura

Com relação ao Hold Fire, verificou-se que a faveira apresentou alteração no padrão de acúmulo de biomassa, com redução das massas fresca e seca aérea em concentrações menores (0,7 a 0,9 mL L<sup>-1</sup>) do retardante e, conseqüentemente, maior biomassa de raiz nessas concentrações (Figuras 13C e 13D).

Para o ipê-branco não foi verificado um padrão de alocação da biomassa fresca e seca em resposta ao aumento das concentrações de Holde Fire, contudo, a menor partição de massa fresca aérea dessa espécie ocorreu na concentração de 1,5 mL L<sup>-1</sup> (Figuras 13C e 13D).

Resultado semelhante foi observado para o ipê-rosa, em que também não se verificou um padrão de alocação da biomassa em função do aumento das concentrações de Hold Fire. De modo que, a maior partição de massa fresca aérea dessa espécie ocorreu na concentração de 1,5 mL L<sup>-1</sup>, enquanto a maior massa seca aérea foi no tratamento controle. E o paricá não apresentou nenhuma variação no padrão de alocação da biomassa tanto fresca, quanto seca em resposta ao aumento das concentrações de Hold Fire (Figuras 13C e 13D).

Quanto ao Polímero Hidroretentor, concentrações intermediárias (0,1; 0,25 e 0,75 g L<sup>-1</sup>) diminuíram a partição de massa fresca aérea da faveira, enquanto a biomassa seca não apresentou um padrão de alocação em função do aumento das concentrações desse produto (Figuras 13E e 13F).

O ipê-branco apresentou maior acúmulo de massa fresca aérea nos tratamentos com Polímero Hidroretentor. Enquanto a biomassa seca não apresentou um padrão claro de alocação em resposta ao aumento das concentrações desse produto (Figuras 13E e 13F).

Concentrações de Polímero Hidroretentor superiores a 0,25 g L<sup>-1</sup> proporcionaram os maiores acúmulos de massa fresca e seca da parte aérea para o ipê-rosa. Contudo, também não se verificou um padrão-resposta em função do aumento das concentrações do produto. E o investimento em biomassa aérea tanto fresca quanto seca do paricá não apresentou variações em função do aumento das concentrações do Polímero Hidroretentor, assim como observado para essa espécie nos tratamentos com os outros produtos (Figuras 13E e 13F).

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Phos-Chek WD881: germinação e vigor

Os efeitos do uso de produtos químicos de combate a incêndios florestais têm sido relatados em alguns organismos e ambientes nos últimos anos (Poulton et al., 1997; Kalabokidis, 2000; Angeler et al., 2004, 2005; Bell et al., 2005; Besaw et al., 2011; Song et al., 2014; Barreiro et al., 2016; Marshall et al., 2016; Wang, 2018). No entanto, as informações disponíveis sobre os efeitos desses produtos sobre as plantas são bastante escassas para se chegar a um consenso sobre a possível toxicidade destes e seu mecanismo, principalmente para o processo de germinação de sementes e crescimento de plântulas.

Mais escassos ainda são os estudos que avaliaram os efeitos dos retardantes de curta duração, como as espumas de supressão de fogo. A maior parte dos estudos realizados sobre o tema investigaram os efeitos dos retardantes de longa duração. Dessa forma, tem-se informações de apenas um estudo em que foi avaliado os efeitos de espumas de supressão de incêndios, uma

das quais foi o Phos-Chek WD881, sobre a germinação e o desenvolvimento inicial de plantas coreanas (Song et al., 2014).

Os resultados do presente estudo demonstraram que o aumento da concentração de Phos-Chek WD881 pode afetar negativamente a germinação de sementes de ipê-branco, ipê-rosa e paricá, comprovada pela significativa redução no IVG e na PCG (Figuras 4A e B).

Analisando o efeito de soluções pura e diluída a 1,0% de Phos-Chek WD881, Song et al. (2014) constataram redução significativa na germinação de sementes de *Pinus densiflora*, *Pinus rigida* e *Brassica campestris* para ambos tratamentos. Esses autores também verificaram diferenças na germinação entre as espécies vegetais e, afirmaram que, apesar da toxicidade do retardante ter diminuído à medida em que foi diluído, a germinação foi inibida. Em um outro estudo, Angeler et al. (2004) relataram que não encontraram efeitos significativos na germinação de sementes de *Thypha domingensis* submetidas a diferentes taxas de aplicação de um retardante de fogo de longa duração a 20%. Contudo, esses autores identificaram mudanças qualitativas nos padrões de germinação, de modo que, sementes submetidas a 1,0 e 3,0 L m<sup>-2</sup> germinaram mais rápido quando comparado com o controle.

A drástica redução na formação de plântulas normais para o ipê-branco, ipê-rosa e paricá demonstrou que essas espécies são altamente sensíveis a concentrações elevadas de Phos-Chek WD881, com reduções de até 96,3% (ipê-branco - 0,8 mL L<sup>-1</sup>), 81,3% (ipê-rosa - 1,0 mL L<sup>-1</sup>) e 19,5% (paricá - 0,6 mL L<sup>-1</sup>) de plântulas normais em relação ao tratamento controle (Figura 5). Song et al., (2014) também observaram maior sensibilidade de uma espécie em detrimento a outra, e obtiveram as menores taxas de germinação para *B. campestris* em relação às outras espécies examinadas, submetidas a soluções diluídas (1,0%) e não diluídas de três espumas de supressão de fogo, sendo o Phos-Chek WD881 um desses produtos.

Os resultados encontrados no presente estudo demonstraram que, o aumento das concentrações de Phos-Chek WD881 de até 1,0 mL L<sup>-1</sup> não influenciou a germinação, entretanto, a formação de plântulas normais foi severamente afetada para o ipê-branco e ipê-rosa e moderadamente afetada para o paricá. Assim, o estabelecimento dessas plântulas nessas condições foi visivelmente comprometido (Figuras 3F, G, H, 5 e 14).

Outro aspecto a ser considerado é o fato de que, a intensidade dos efeitos causados pelo aumento da concentração de Phos-Chek WD881 é variável em função da espécie florestal, evidenciado pelas duas espécies de ipês, que mostraram esses efeitos em maior grau em relação à faveira e ao paricá.

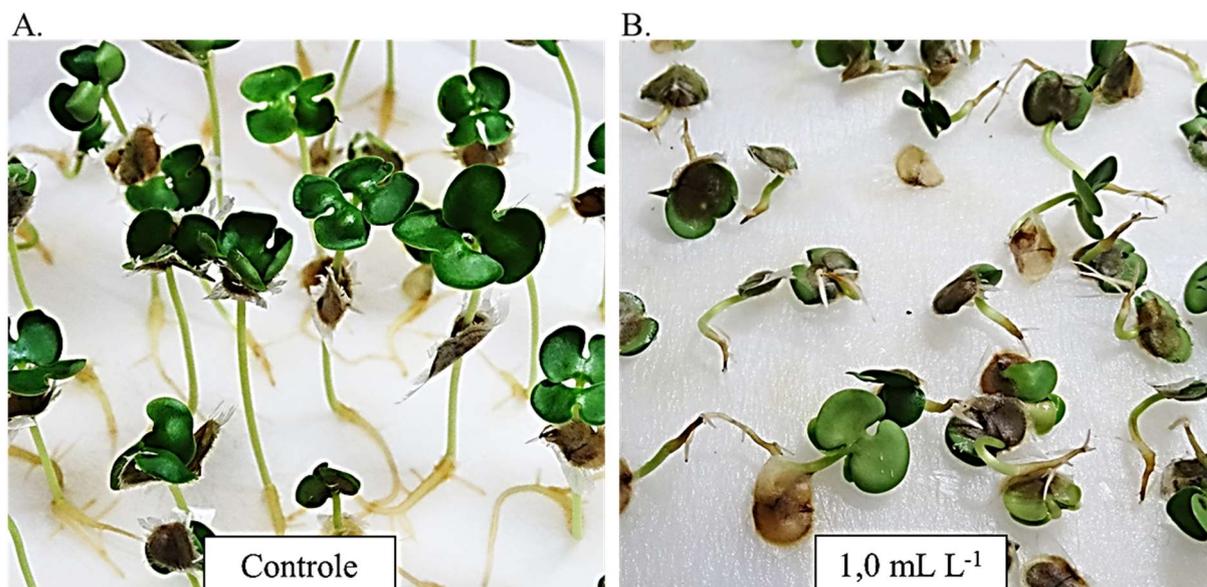


Figura 14. Plântulas de ipê-branco (*T. roseoalba*) nos tratamentos controle (A) e a 1,0 mL L<sup>-1</sup> de Phos-Chek WD881 (B), ambas aos 14 dias após a semeadura, Sinop - MT, 2018

Isso pode estar relacionado a vários fatores, como por exemplo a morfologia das sementes dessas espécies, uma vez que a consistência do tegumento é uma característica que as divide em dois grupos distintos (Figura 1). Song et al. (2014), também encontraram esse padrão de efeito associado à redução das taxas de germinação de *B. campestris* e o atribuíram à espessura do revestimento das sementes. Pois notaram que *P. densiflora* e *P. rigida* que tinham sementes com cobertura espessa, apresentaram menos inibição da germinação.

Por outro lado, Hamilton & Buhl et al. (1997) apontaram que a toxicidade de espumas supressoras como o Phos-Chek WD881, pode ser parcialmente devida à porção surfactante aniônico da sua formulação. Investigando os efeitos de retardantes de fogo em organismos aquáticos, esses autores verificaram que as espumas Phos-Chek WD881 e Silv-Ex têm uma toxicidade muito semelhante e são substancialmente mais tóxicas do que os retardantes de longa duração, além de terem causado maior toxicidade para dafnídeos (*Daphnia magna*) e anfípodas (*Hyaella azteca*).

Com a alteração da tensão superficial da água (adesão e coesão), os surfactantes reduzem a hidrofobicidade dos lipídeos e danificam os componentes lipídicos das membranas celulares, causando uma super-hidratação (Carraschi et al., 2012), que pode evoluir para necrose celular pela supressão dos processos metabólicos, em caso de altas concentrações (FAO, 1993). O que pode justificar e explicar as anormalidades verificadas nas plântulas submetidas ao Phos-Chek WD881 (Figuras 3F, G e H e 15) neste estudo. As quais em geral, apresentaram raízes

necrosadas e enegrecidas nas porções apicais, que foram mais severas com o aumento das concentrações do retardante, além do não estabelecimento dessas plântulas nas concentrações iguais ou superiores a  $0,6 \text{ mL L}^{-1}$  (Figuras 5 e 14).

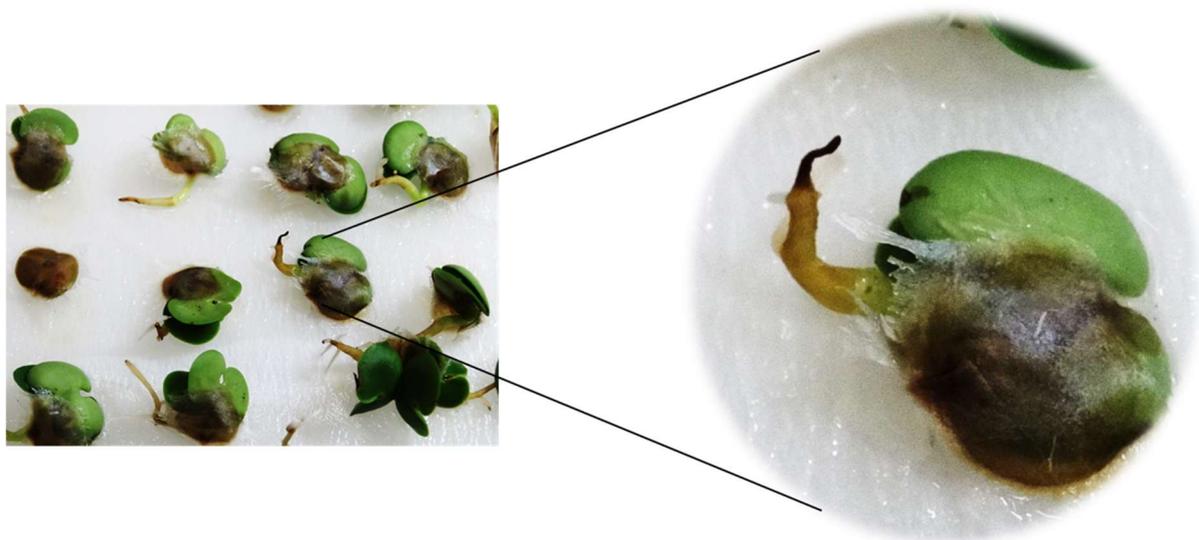


Figura 15. Plântulas de ipê-branco (*T. roseoalba*) no tratamento de  $0,8 \text{ mL L}^{-1}$  de Phos-Chek WD881 aos 14 dias após a sementeira, Sinop - MT, 2018

Nesse contexto, é importante alertar para o fato de que tanto o ipê-branco quanto o ipê-rosa, que foram as espécies mais sensíveis, dispersam suas sementes no período da seca, entre os meses de setembro e outubro, que coincide justamente com a época de maior ocorrência de incêndios na região do Centro-Norte brasileiro. Como as sementes dessas espécies são quiescentes, germinam rapidamente após a dispersão, caso as condições ambientais estejam favoráveis. Assim, o uso de espumas de supressão de incêndios, como o Phos-Chek WD881, poderia acarretar em efeitos negativos para essas plântulas, no caso de serem atingidas por esse produto durante a sua aplicação na realização de aceiros molhados (Canzian et al., 2016), ou aplicações acidentais e/ou desnecessárias.

#### 4.2 Hold Fire: germinação e vigor

As únicas informações disponibilizadas, mas não publicadas, sobre a toxicidade do retardante de incêndios Hold Fire são de análises químicas realizadas por laboratórios contratados pelo fabricante. As quais foram realizadas com os organismos aquáticos *Daphnia magna*, *Desmodesmus subspicatus* e *Vibrio fischeri*. Assim, a presente pesquisa trata-se de um estudo

inédito que vem contribuir para o conhecimento e melhor entendimento dos efeitos dos retardantes de incêndios de curta duração sobre as plantas.

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que o aumento da concentração de Hold Fire pode influenciar a germinação de sementes de algumas espécies florestais. Conforme observado para o ipê-rosa, que apresentou aumento significativo na germinação de suas sementes quando submetidas às maiores concentrações de Hold Fire, com incrementos de 10,3% (1,1 mL L<sup>-1</sup>) e 7,4% (1,5 mL L<sup>-1</sup>), enquanto o ipê-branco teve melhor IVG na menor concentração do retardante (Figuras 6A e 6B).

Apesar do Hold Fire também conter compostos surfactantes em sua constituição química, o vigor de plântulas não foi comprometido para nenhuma espécie, ao contrário do que foi observado para o Phos-Chek WD881. Visto que de maneira geral, obteve-se mais de 90% de plântulas classificadas como normais (Figura 7).

Embora esse produto seja considerado biodegradável, de composição orgânica natural e com biodegradação de 80% em até 30 dias (Silva Filho, 2017), o uso desse retardante em ambientes naturais deve ser feito com cautela, pois seus efeitos não são completamente conhecidos, e a variação no padrão de germinação aqui verificada indica que as implicações do Hold Fire sobre as plantas precisam ser investigadas mais a fundo.

Isto porque, alterações no padrão de germinação poderiam acarretar em mudanças na composição de espécies, no favorecimento da colonização de novos locais por espécies invasoras, ou ainda tornar vulneráveis as sementes que estejam nos bancos de sementes do solo após exposição aos retardantes (Angeler et al., 2004; Song et al., 2014). Essa cautela se torna ainda mais necessária pelo desconhecimento sobre a mobilidade desse produto no solo, assim como de outros possíveis efeitos ambientais (FISPQ, 2016).

Embora o Hold Fire não tenha mostrado evidência de fitotoxicidade às espécies florestais tropicais testadas em laboratório, seu real impacto ecológico nos ecossistemas naturais precisa ser avaliado. Uma vez que, até o momento isso não foi investigado e, seus efeitos sobre as plantas e ambientes naturais são pouco conhecidos.

### **4.3 Polímero Hidroretentor: germinação e vigor**

De acordo com Pazderu & Koudela (2013), somente é possível detectar o efeito do hidrogel em sementes que possuem germinação rápida. Apesar das espécies florestais examinadas nesse estudo (ipê-branco e ipê-rosa) atenderem a esse requisito, não foi constatado nenhum efeito

significativo da elevação da concentração de Polímero Hidroretentor na germinação das sementes florestais tropicais (Figura 8).

Quanto ao vigor, cabe destacar que o paricá além da redução na quantidade de plântulas normais em  $0,10 \text{ g L}^{-1}$ , também apresentou as menores taxas dessa variável nos tratamentos de  $0,25$ ;  $0,50$ ;  $0,75$  e  $1,0 \text{ g L}^{-1}$  em relação ao controle. Enquanto as demais espécies apresentaram maior quantidade de plântulas classificadas como normais nesses tratamentos (Figura 9).

Esse efeito pode estar relacionado a diferença de potencial hídrico do Polímero Hidroretentor e da semente. Pois sementes secas possuem um potencial hídrico muito baixo inicialmente em relação ao hidrogel, que é aumentado pela embebição, até que ambos os potenciais se igualem, o que pode influenciar no fluxo de água para dentro da semente (Bewley & Black, 1994; Pazderu & Koudela, 2013). Nesse caso, o tamanho da semente e a espessura do tegumento podem ter contribuído para os resultados apresentados pelo paricá neste estudo (Tabela 2). Além de que, o revestimento das sementes exerce a função de proteção do embrião contra os fatores externos, somado ao fato de que as membranas das sementes podem ter permeabilidade seletiva (Wierzbicka & Obidzińska, 1998; Lin & Xing, 2007). Assim, a velocidade de absorção de água pelas sementes pode diminuir com a aplicação de hidrogel, resultando em germinação lenta (Pazderu & Koudela, 2013), ou formação de plântulas anormais.

Ao avaliarem o efeito de um hidrogel na germinação de sementes de colza (*Brassica napus*), Tang et al. (2014) obtiveram alta taxa de germinação para as sementes submetidas à 2,0% do produto. Por outro lado, Pazderu & Koudela (2013) ao avaliarem a influência de um hidrogel na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa*) e cebola (*Allium cepa*), verificaram que concentrações elevadas do polímero reduziram a germinação de ambas as espécies. Esses autores argumentaram que a influência negativa do hidrogel estava relacionada à dose e também a cultivar, em termos de sensibilidade.

#### 4.4 Crescimento de plântulas

A significativa redução dos comprimentos aéreo e radicular do ipê-branco, do ipê-rosa e do paricá em função do aumento das concentrações de Phos-Chek WD881, reforça os resultados obtidos para as variáveis de normalidade dessas espécies (Figuras 4C, 5 e 10A e 10B). Além disso, evidenciou-se que com exceção do paricá, as demais espécies tiveram seu padrão de acúmulo de biomassa alterado em função do aumento da concentração do retardante (Figuras 13A e 13B).

De maneira geral, essas alterações foram mais expressivas a partir da concentração de 0,6 mL L<sup>-1</sup> do produto, indicando que concentrações mais altas de Phos-Chek WD881 podem ser prejudiciais às plântulas, podendo essa ( $\geq 0,6$  mL L<sup>-1</sup>) ser um nível crítico, a partir do qual efeitos negativos são causados em algumas espécies vegetais em condições laboratoriais.

Surfactantes aniônicos como o presente na composição do Phos-Chek WD881, também são utilizados nas formulações de herbicidas (Hamilton & Buhl et al., 1997; Carraschi et al., 2012). Estes compostos são moléculas anfipáticas que melhoram a aderência dos herbicidas, facilitando a absorção do ingrediente ativo pelas plantas (Wagner et al., 2003). No entanto, Oakes & Pollak (2000) alertam que esses compostos podem ser muito mais tóxicos para os organismos não-alvos do que o próprio ingrediente ativo.

Alterações como hiperplasia, aumento da distância interlamelar, o que dificulta a difusão de oxigênio, resultando em estresse respiratório e falha osmorregulatória podem ser causadas por surfactantes aniônicos (Hofer et al., 1995). Dessa forma, na ausência de um aceptor final na cadeia transportadora de elétrons ocorre a acidificação do citosol, e o piruvato é transformado em lactato e etanol, que representam as principais reações fermentativas das plantas, e apesar de não ser considerado tóxico, a difusão do etanol para fora das células representa perda de carbono (Souza & Sodek, 2002), o que poderia explicar as reduções do comprimento e alterações da partição biomassa das plântulas neste estudo.

Diante disso, cabe ressaltar que a extrapolação dos resultados obtidos neste estudo para as condições reais de campo deve ser feita com cuidado. Visto que, apesar dos impactos negativos aqui encontrados, outros estudos realizados com este ou outros retardantes similares, afirmaram que seus efeitos sobre as plantas nos ecossistemas naturais são insignificantes, ou que as taxas de aplicação recomendadas pelos fabricantes não serão prejudiciais ao ambiente a longo prazo (Angeler et al., 2004; Song et al., 2014).

Assim, é preciso atentar para o fato de que, devido a vasta heterogeneidade ambiental e diversidade florística brasileira, não se pode desconsiderar impactos negativos desse tipo de produto, mesmo que em taxas de aplicação recomendadas, a outros organismos mais sensíveis. Principalmente porque a presença de determinadas espécies num ambiente após um distúrbio severo, é essencial para a regeneração natural do ecossistema (Martins et al., 2008).

A formação de plântulas mais vigorosas para o ipê-rosa reflete o maior comprimento radicular verificado para essa espécie nos tratamentos com Hold Fire (Figuras 6C, 7 e 11A e 11B). De modo geral, a alocação de biomassa seca, que é a variável que mostra na prática o que a plântula realmente acumulou de carbono, não apresentou um padrão de partição em resposta

ao aumento das concentrações de Hold Fire, com exceção do ipê-rosa (Figuras 13C e 13D). Esses resultados reforçam o fato de que as espécies florestais tropicais estudadas reagiram de maneiras diferentes ao aumento da concentração desse retardante, assim como para os demais produtos.

Isto confirma a ideia de que é preciso conhecer e avaliar de maneira criteriosa os efeitos que esse produto pode exercer sobre os ecossistemas naturais, especialmente sobre espécies indicadoras, além de identificar aquelas potencialmente mais sensíveis. Principalmente por não existirem estudos avaliando os impactos desse retardante a curto e longo prazos, devido ser relativamente novo no mercado brasileiro, além da inexistência de legislação que regulamente o uso desse tipo de produto. Assim como pelo fato de ter ecotoxicidade confirmada, sendo considerado nocivo para organismos aquáticos (FISPQ, 2016).

A ausência de efeitos significativos em função do aumento das concentrações do Polímero Hidroretentor para todas as variáveis em todas as espécies, pode ser devida à natureza dos compostos químicos desse produto. Pois o mesmo apresenta 27,80; 49,70; 8,70 e 18,10 % de CaO, CaCO<sub>3</sub>, MgO e MgCO<sub>3</sub>, com poder de neutralização de 67,50% (classificação semelhante a calcário dolomítico). Nesse sentido, sabe-se que o cálcio e o magnésio são elementos minerais essenciais para a nutrição das plantas, e caso estejam presentes e disponíveis nas quantidades requeridas, só podem resultar em efeitos positivos (Rajj, 1991).

Nesse contexto, Yonezawa et al. (2017) comentam que não só a espécie, como a quantidade e a composição do hidrogel estão entre os fatores podem influenciar a germinação e o desenvolvimento das plantas. Resultados significativamente positivos foram observados por Al-Harbi (1999), expressos pelas massas fresca e seca de pepino (*Cucumis sativus* L.) na fase de crescimento vegetativo.

Por outro lado, Dranski et al. (2013), ao avaliarem a aplicação de Polímero Hidroretentor sobre o crescimento e sobrevivência de pinhão manso (*Jatropha curcas*), observaram que doses elevadas do hidrogel podem prejudicar o desenvolvimento das mudas. Entretanto, Santos & Silva (2016) avaliando a exposição a diferentes níveis de outro hidrogel nessa mesma espécie, concluíram que a aplicação do produto causou efeitos positivos sobre a biomassa aérea e total e, contribuiu para a formação de mudas mais vigorosas. De modo semelhante, Sutradhar et al. (2015) testaram um hidrogel superabsorvente a 0,3% na germinação e crescimento de plântulas de quiabo e trigo, e encontraram efeitos positivos sobre a porcentagem de germinação e comprimento e biomassa das plantas submetidas ao produto.

## 5 CONCLUSÕES

1. O Phos-Check WD881 afetou de forma negativa o índice de velocidade de germinação do ipê-branco (*Tabebuia roseoalba*) e do ipê-rosa (*Handroanthus impetiginosus*), e a primeira contagem de germinação do ipê-branco e do paricá (*Schizolobium amazonicum*).
2. O retardante de fogo Hold Fire influenciou a porcentagem de germinação final do ipê-rosa e o índice de velocidade de germinação do ipê-branco.
3. O crescimento das plântulas de ipê-branco, ipê-rosa e paricá foi afetado negativamente pelo aumento das concentrações de Phos-Chek WD881.
4. O aumento da concentração do Hold Fire influenciou apenas o comprimento radicular do ipê-rosa.
5. O Polímero Hidroretentor não influenciou nas taxas de germinação nem no crescimento das plântulas de nenhuma espécie avaliada, porém, pode afetar o vigor das plântulas de paricá.
6. O vigor e o crescimento das plântulas de ipê-branco, ipê-rosa e paricá foram severamente afetados pelo aumento da concentração de Phos-Chek WD881.
7. As espécies ipê-branco e ipê-rosa demonstraram serem mais sensíveis aos produtos retardantes de fogo em condições laboratoriais.
8. Possíveis efeitos fitotóxicos foram identificados para o Phos-Chek WD881 utilizado em concentrações iguais ou maiores que 0,6 mL L<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMENTOS

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

Ao Grupo de Pesquisa Interações Ambiente e Planta e a todos aqueles que direta, ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Sr. José Renato Favaro pela doação do produto comercial “Hold Fire” para o desenvolvimento de experimentos.

## LITERATURA CITADA

- Adams, R.; Simmons, D. Ecological effects of fire fighting foams and retardants: a summary. Australian Forestry, Queen Victoria, v.62, n.4, p.307-314, 1999.
- Al-Harbi, A. R. Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments. HortScience, Alexandria, v.34, n.2, p.223-224, 1999.
- Angeler, D. G.; Rodríguez, M.; Martín, S.; Moreno, J. M. Assessment of application-rate dependent effects of a long-term fire retardant chemical (Fire Trol 934<sup>®</sup>) on *Typha*

- domingensis* germination. Environment International, New York, v.30, n.3, p.375-381, 2004.
- Angeler, D. G.; Martín, S.; Moreno, J. M. *Daphnia emergence*: a sensitive indicator of fire-retardant stress in temporary wetlands. Environment International, New York, v.31, p.615-620, 2005.
- Barreiro, A.; Martín, A.; Carballas, T.; Díaz-Raviña, M. Long-term response of soil microbial communities to fire and fire-fighting chemicals. Biology and Fertility Soils, Berlin, v.52, p.963-975, 2016.
- Bell, T.; Tolhurst, K.; Worters, M. Effects of fire retardant Phos-Chek on vegetation in eastern Australian heathlands. International Journal of Wildland Fire, Roslyn, v.14, p.199-211, 2005.
- Besaw, L. M.; Thelen, G. C.; Sutherland, S.; Metlen, K.; Callaway, R. M. Disturbance, resource pulses and invasion: short-term shifts in competitive effects, not growth responses, favour exotic annuals. Journal of Applied Ecology, Oxford, v.48, p.998-1006, 2011.
- Bewley, J. D.; Black, M. Seeds physiology of development and germination. New York: Plenum Press, 1994. 494p.
- Bordado, J. C. M.; Gomes, J. F. P. New technologies for effective forest fire fighting. International Journal of Environmental Studies, London, v.64, n.2, p.243-251, 2007.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA, 2009. 399p.
- 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. Nativa, Sinop, v.4, n.4, p.195-198, 2016.
- Carraschi, S. P.; Luna, L. A. V.; Neto, A. N.; Gírio, A. C. F.; Cruz, C.; Pitelli, R. A. Toxicidade aguda e risco ambiental de surfactantes agrícolas para o guaru *Phalloceros caudimaculatus* (Pices: Poecilidae). Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology, Itajaí, v.7, n.1, 2012.
- Couto-Vázquez, A.; García-Marco, S.; González-Prieto, S. J. Longterm effects of fire and three firefighting chemicals on a soil-plant system. International Journal of Wildland Fire, Roslyn, v.20, n.7, p.856-865, 2011.
- Davide, A. C.; Silva, E. A. A. da. Sementes florestais. In: Davide, A. C.; Silva, E. A. A. da (Eds.). Produção de sementes e mudas de espécies florestais. Lavras: UFLA, 2008. 174p.
- Dranski, J. A. L.; Pinto Junior, A. S.; Campagnolo, M. A.; Malavasi, U. C.; Malavasi, M. M. Sobrevivência e crescimento do pinhão-mansô em função do método de aplicação e formulações de hidrogel. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.17, n.5, p.537-542, 2013.

- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Svobodová, Z.; Lloyd, R.; Máchová, J.; Vykusová, B. Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper, n.54, FOGELS, A. I., Rome, 1993. 59p.
- Figliolia, M. B.; Aguiar, I. B. de. Colheita de sementes. In: Aguiar, I. B.; Piña-Rodrigues, F. C. M.; Figliolia, M. B. (Orgs.). Sementes florestais tropicais. Brasília, DF: ABRATES, 1993. 350p.
- FISPQ. Ficha de informações de segurança de produtos químicos: Produto: Hold Fire. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 14725: 2014. 2016. 10p.
- Giménez, A.; Pastor, E.; Zárate, L.; Planas, E.; Arnaldos, J. Long-term forest fire retardants: a review of quality, effectiveness, application and environmental considerations. *International Journal of Wildland Fire*, Roslyn, v.13, p.1-15, 2004.
- Hamilton, S. J.; Buhl, K. J. Toxicity of fire retardant chemicals and fire suppressant foams to aquatic species. In: Poulton, B.; Hamilton, S.; Buhl, K.; Vyas, N.; Hill, E.; Larson, D. Toxicity of fire retardant and foam suppressant chemicals to plant and animal communities. Interagency Fire Coordination Committee, Boise, Idaho, 1997. 180p.
- Hofer, R.; Jeney, Z.; Bucher, F. Chronic effects of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) and ammonia on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry at water criteria limits. *Water Research*, New York, v.29, p.2725-9, 1995.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 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, IBAMA, Brasília, 2018. 15p. Disponível em: <[https://www.ibama.gov.br/phocadownload/quimicos-e-biologicos/retardantes-de-chamas/2018-SEI\\_IBAMA-Parecer-Tecnico-5142018-COASP-CGASQ-DIQUA.pdf](https://www.ibama.gov.br/phocadownload/quimicos-e-biologicos/retardantes-de-chamas/2018-SEI_IBAMA-Parecer-Tecnico-5142018-COASP-CGASQ-DIQUA.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2018.
- Kalabokidis, K. D. Effects of wildfire suppression chemicals on people and the environment-a review. *Global Nest Journal*, Marousi, v.2, n.1, p. 129-137, 2000.
- Labouriau, L. G. A germinação das sementes. Washington: OEA, 1983. 174p.
- Larson, J. R.; Duncan, D. A. Annual grassland response to fire retardant and wildfire. *Journal of Range Management*, Denver, v.35, p.700-703, 1982.
- Larson, D. L.; Newton, W. E.; Anderson, P. J.; Stein, S. J. Effects of fire retardant chemical and fire-suppressant foam on shrub steppe vegetation in northern Nevada. *International Journal of Wildland Fire*, Roslyn, v.9, n.2, p.115-127, 1999.
- Li, M.; Tshabalala, M. A.; Buschle-Diller, G. Formulation and characterization of polysaccharide beads for controlled release of plant growth regulators. *Journal of Materials Science*, Norwell, v.51, p.4609-4617, 2016.

- Lioudakis, S.; Bakirtzis, D.; Lois, E.; Gakis, D. The effect of  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  and  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  on spontaneous ignition properties of *Pinus halepensis* pine needles. *Fire Safety Journal*, Oxford, v.37, p.481-494, 2002.
- Lin, D.; Xing, B. Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution*, Barking, v.150, p.243-250, 2007.
- Luna, B.; Moreno, J. M.; Cruz, A.; Fernández-González, F. Effects of a long-term fire retardant chemical (Fire-Trol 934) on seed viability and germination of plants growing in a burned Mediterranean area. *International Journal of Wildland Fire*, Roslyn, v.16, n.3, p.349-359, 2007.
- Maguire, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for emergence and vigour. *Crop Science*, Madison, v.2, p.176-177, 1962.
- Marshall, A.; Waller, L.; Lekberg, Y. Cascading effects of fire retardant on plant-microbe interactions, community composition, and invasion. *Ecological Applications*, Tempe, v.26, n.4, p. 996-1002, 2016.
- Martins, S. V.; Almeida, D. P. de; Fernandes, L. V.; Ribeiro, T. M. Banco de sementes como indicador de restauração de uma área degradada por mineração de caulim em Brás Pires, MG. *Revista Árvore*, Viçosa, v.32, n.6, p.1081-1088, 2008.
- Michalopoulos, C.; Koufopoulou, S.; Tzamtzis, N.; Pappa, A. Impact of a long-term fire retardant (FireTrol 931) on the leaching of Ca, Mg and K from a Mediterranean forest loamy soil. *Environmental Science and Pollution Research*, Berlin, v.23, n.6, p.5487-5494, 2016.
- Nakagawa, J. Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: Krzyzanowski, F. C.; Vieira, R. D.; França Neto, J. B. (Eds.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999. 218p.
- Oakes, D. J.; Pollak, J. K. The *in vitro* evaluation of toxicities of three related herbicide formulations containing ester derivatives of 2,4,5-T and 2,4-D using sub-mitochondrial particles. *Toxicology*, Limerick, n.6, v.151, p.1-9, 2000.
- Pastor Ferrer, E. Contribució a l'estudi dels efectes dels retardants en l'extinció d'incendis forestals. Barcelona: ETSEIB, 2004. 304 p. Tese Doutorado.
- Pazderu, K.; Koudela, M. Influence of hydrogel on germination of lettuce and onion seed at different moisture levels. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, Brno, v.61, n.6, p.1817-1822, 2013.
- Poulton, B.; Hamilton, S.; Buhl, K.; Vyas, N.; Hill, E.; Larson, D. Toxicity of fire retardant and foam suppressant chemicals to plant and animal communities. Interagency Fire Coordination Committee, Boise, Idaho, 1997. 180p.
- Raj B. V. Fertilidade do solo e adubação, São Paulo: CERES/POTAFOS, 1991. 343p.

- 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*, Viçosa, v.30, n.6, p.1025-1031, 2006.
- Santos, M. R. P.; Silva, M. J. M. Growth and development of *Jatropha curcas* seedling using terracotem soil conditioners under different irrigation levels. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, Abu Dhabi, v.28, p.326, 2016.
- Silva Filho, E. A. da. Relatório de biodegradação de produto inibidor de chama: Hold Fire. Laboratório de Físico-Química: UFES, Vitória, ES. 2017. 4p.
- Soares, R. V.; Batista, A. C.; Tetto, A. F. Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2017. 255p.
- Song, U.; Mun, S.; Waldman, B.; Lee, E. J. Effects of three fire-suppressant foams on the germination and physiological responses of plants. *Environmental Management*, New York, v.54, p.865-874, 2014.
- Sousa, C. A. F. de; Sodek, L. The metabolic response of plants to oxygen deficiency. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Campinas, v.14, n.2, p.83-94, 2002.
- 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. *Nativa*, Sinop, v.1, p.34-43, 2013.
- Souza, H. N.; Araújo, T. G.; Ribeiro, G. A. Avaliação da eficiência de um gel hidroretentor como retardante de fogo. *Revista Árvore*, Viçosa, v.36, n.3, p.471-477, 2012.
- Sutradhar, S. C.; Khan, M. M. R.; Rahman, M. M.; Dafadar, N. C. The synthesis of superabsorbent polymer from a carboxymethylcellulose/acrylic acid blend using gamma radiation and its application in agriculture. *Journal of Physical Science*, Pulau, v.26, p.23-39, 2015.
- Tang, H.; Zhang, L.; Hu, L.; Zhang, L. Application of chitin hydrogels for seed germination, seedling growth of rapeseed. *Journal Plant Growth Regulation*, Berlin, v.33, p.195-201, 2014.
- USFS. US Forest Service. 2015. Ecological risk assessment of wildland fire-fighting chemicals: long-term fire retardants. Disponível em: <[https://www.fs.fed.us/rm/fire/wfcs/documents/EcoRA-Retardants-PUBLIC-Dec2013-rev3\\_080614.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/fire/wfcs/documents/EcoRA-Retardants-PUBLIC-Dec2013-rev3_080614.pdf)>. Acesso em 10 jan. 2019.
- Wagner, E. D.; Marengo, M. S.; Plewa, M. J. Modulation of the mutagenicity of heterocyclic amines by organophosphate insecticides and their metabolites. *Mutation research/Genetic toxicology and environmental mutagenesis*, Amsterdam, v.536, p.103-115, 2003.
- Wang, S. Research on environmental impact of water-based fire extinguishing agents. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Harbin, v.113 (012124), 2018.

- Wierzbicka, M.; Obidzińska, J. The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant Science, Limerick*, v.137, p.155-171, 1998.
- Yonezawa, U. G.; Moura, M. R. de; Aouada, F. A. Estado da arte: um estudo sobre polímeros biodegradáveis na germinação e desenvolvimento de plantas. *Caderno de Ciências Agrárias, Montes Claros*, v.9, n.2, p.69-78, 2017.

## CONCLUSÃO GERAL E SUGESTÕES

Para estudos futuros, propõe-se a investigação dos padrões de germinação de sementes e crescimento de plântulas do maior número possível de espécies vegetais nativas e exóticas, tanto lenhosas quanto herbáceas, especialmente as mais sensíveis a toxicidade ambiental e também as bioindicadoras, submetidas às diferentes concentrações dos produtos químicos retardantes de fogo.

Bem como a realização de pesquisas em campo, a nível de ecossistema, simulando aplicações sobrepostas dos retardantes químicos de combate a incêndios em ambientes naturais, para avaliação dos efeitos residuais a curto e longo prazos desses produtos, tanto na vegetação quanto no solo.