

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS NATURAIS, HUMANAS E SOCIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**Queimas Controladas em Área de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) na Região de
Transição Cerrado-Amazônia de Mato Grosso**

LEANDRO JORGE DE SOUZA ALVES

Sinop, Mato Grosso
Março, 2016

LEANDRO JORGE DE SOUZA ALVES

**Queimas Controladas em Área de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) na Região de
Transição Cerrado-Amazônia de Mato Grosso**

Orientador: Prof. Dr. ADILSON PACHECO DE SOUZA
Coorientador: Prof. Dr. DIEGO MARINS STANGERLIN

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 obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, Área de concentração: Biodiversidade.

Sinop, Mato Grosso
Março, 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

A474q Alves, Leandro Jorge de Souza.
Queimas Controladas em Área de Eucalyptus urograndis (Clone H13) na Região de Transição Cerrado-Amazônia de Mato Grosso / Leandro Jorge de Souza Alves. -- 2016

101 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Adilson Pacheco de Souza.

Co-orientador: Diego Martins Stangerlin.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Sinop, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Incêndio Florestal. 2. Simulação. 3. Fogo. 4. Eucalipto. 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 : "Queimas controladas em área de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) na região de transição Cerrado-Amazônia de Mato Grosso."

AUTOR : Mestrando LEANDRO JORGE DE SOUZA ALVES

Dissertação defendida e APROVADA..... em 04/03/2016.

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Co-orientador Doutor Diego Martins Stangerlin
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT

Examinador Externo Doutor Alexandre França Tetto
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR

Examinador Externo Doutor Maurel Behling
Instituição : EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL

SINOP-MT, 23/02/2016.

Sinopse:

Estudou-se o comportamento do fogo em queimas controladas em área de Eucalipto no município de Sorriso, Mato Grosso.

Simulações com dois *softwares* para verificar as respostas foram avaliadas.

Palavras-chave:

Incêndio Florestal, Simulação, Fogo.

DEDICATÓRIA

Ao Corpo de Bombeiros Militar do Mato Grosso, para que possa ser usado em prol da nossa profissão.

Aos meus pais biológicos, Prisca e Jorge, por terem me colocado no mundo e me criado.

Em especial a minha mãe Prisca, educadora e exemplo de mãe. Obrigado por tudo. Essa vitória é para a senhora...

Ao meu Pai Biológico Jorge, pessoa magnífica, exemplo de perseverança e dedicação.

Ao meu padrasto Agostinho, que me criou com muito amor e carinho e a quem eu chamo com muito orgulho de PAI...

Aos meus irmãos Fábio e Thales, por confiarem e acreditarem nessa conquista. Como irmão mais velho, eu deixo a vocês essa conquista.

Ao meu filho Igor. Com um aninho foi meu maior incentivo. Espero que um dia você possa ler isso. Meu amado filho...essa é para você também...

E a Tamara...meu amor a você eu dedico toda a minha vida...obrigado por tudo.

AGRADECIMENTO

Ao Grande Arquiteto do Universo.

À minha esposa Tamara Karoline Lopes Secotti, pelo amor, compreensão, paciência e por estar em todos os momentos ao meu lado. E pela ajuda e incentivo em diversas fases deste trabalho. Obrigado por cuidar do nosso filho Igor enquanto eu estava longe. Sem você eu não teria conseguido.

Ao meu orientador professor Dr. Adilson Pacheco de Souza, pela confiança, apoio e amizade. Porém, acima de tudo, por ser um orientador preocupado com o aprendizado dos seus orientados, obrigado pelo tempo despendido em prol desta dissertação, inúmeras sugestões, correções e por me ensinar o verdadeiro amor pela ciência.

Ao meu coorientador Professor Dr. Diego Martins Stangerlin, pela orientação e reflexões críticas para que este trabalho pudesse se realizar.

As muitas pessoas que colaboraram para que este trabalho fosse concluído, a maioria delas de forma indireta, por meio da troca de experiência, incentivo, confiança e aprendizado tanto técnico quanto humano.

Aos que me ajudaram de forma direta na coleta do material, execução das queimas e em laboratório: Bruno, Cristiano, Brena, Charles, Luana, Edgar, Daniela, Fabio e Catia.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da UFMT, *Campus Sinop*, pela oportunidade de realizar esse sonho da minha vida.

Ao Professor Dr. Antonio Carlos Batista da UFPR, pela oportunidade de realizar duas disciplinas na área de incêndios florestais com o renomado Professor PhD Domingo Molina Terrén, um dos maiores especialistas em Física, Ecologia e Gestão do Fogo em áreas florestais. A essas disciplinas eu devo muito do que aprendi sobre a ciência do fogo. Obrigado Professor Batista.

Ao Professor Dr. Benjamin Leonardo Alves White, por disponibilizar o *software Eucalyptus Fire Safety System* de forma gratuita para ser utilizado neste estudo. Obrigado pelas sugestões a esta dissertação, treinamentos com o *software* e longas conversas sobre os incêndios florestais.

Ao Corpo de Bombeiros Militar de Mato Grosso pela oportunidade de realizar este aperfeiçoamento técnico. Farei o possível para cumprir a minha missão e levar todo o aprendizado conquistado ao longo desses dois anos aos nossos militares.

"O fogo tem uma natureza dual, sendo ao mesmo tempo perigoso e útil, belo e destruidor, mágico e intangível."
(Marcelo Gleiser – A Dança do Universo)

RESUMO

Objetivou-se analisar o comportamento do fogo em queimas controladas em plantio de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) com 4,5 anos, em Sorriso-MT, e comparar os resultados das queimas experimentais com as simulações de dois programas computacionais, o *BehavePlus* e o *Eucalyptus Fire Safety System* (EFSS). Foram avaliadas as condições de disposição no talhão: interface eucalipto-floresta (EF), interface eucalipto-lavoura (EL) e centro do talhão (EE), ao longo de 5 meses (maio a setembro). As queimas foram realizadas em parcelas de 3 x 20 m, sendo mensurados: tempo de progressão do fogo, comprimento da chama e as variáveis meteorológicas. O material combustível superficial foi amostrado antes e após a queima, em uma área de 1 m², com quatro repetições por parcela e caracterizados de acordo com Rothermel (1972). A posição EF apresentou maiores valores de material combustível (16,09 t.h⁻¹) e duração da queima (57,6 min), menores valores de velocidade de propagação do fogo (0,37 m.min⁻¹), comprimento da chama (0,67 m), intensidade da linha do fogo (200,4 kW.m⁻¹) e material combustível consumido (92,7%). As posições EL e EE apresentaram influências semelhantes nas variáveis que descrevem o comportamento do fogo. Em agosto e setembro ocorreram as maiores quantidades de material combustível, velocidade de propagação, comprimento de chama, decorrentes da menor umidade relativa do ar e tempo de duração da queima. A posição EL e os meses de julho e setembro apresentaram os valores mais significativos simulados em ambos os *softwares*. O *BehavePlus* superestimou os valores simulados, enquanto o *EFSS* apresentou o melhor desempenho nas simulações. Com base no comportamento do fogo e nas simulações realizadas conclui-se que a execução de queimas controladas deve ser realizada no mês de julho e adotar a sequência das posições EF, EE e EL.

Palavras-chave: Incêndio Florestal, Fogo, Simulação.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the behavior of the fire in controlled fires in plantations of *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) that were 4.5 years old in the city of Sorriso-MT, and to compare the results of the test with simulations of two computer programs, the BehavePlus and the Eucalyptus Fire Safety System (EFSS). It was evaluated the conditions of distribution in the plantation field: Eucalyptus-forest interface (EF), eucalyptus-crop interface (EL) and the center of the plantation field (EE) for 5 months (from May to September). The fires were carried out in areas of 3 x 20 m, they were measured: the progression time of the fire, the flame length and weather variation. The surface combustible material was sampled before and after the burning in an area of 1 m², with four replications per area and characterized according to Rothermel (1972). The position EF presented greater amounts of combustible material (16.09 t.ha⁻¹) and longer duration of fire (57.6 min), lower values of the fire propagation (0.37 m min⁻¹), flame length (0.67 m), intensity of the fire line (200.4 kW.m⁻¹) and combustible material consumed (92.7%). The EL positions and EE had similar influences in the variables that describe the fire behavior. August and September showed the largest amounts of combustible material, propagation speed, flame length, result of lower relative humidity and the fire duration. The EL position and the months of July and September showed the most significant values in both simulated software. The BehavePlus overestimated the simulated values, while the EFSS showed the best performance in the simulations. Based on the fire behavior and the simulations it was concluded that the implementation of controlled fires should be carried out in July and it is better to adopt the following sequence positions: EF, EE and EL.

Keywords: Forest Fire, Fire, Simulation

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO DA PESQUISA	1
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 Geral	4
2.2 Específicos	4
3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
CAPITULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2 REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1 Comportamento do Fogo	6
2.1.1 Condições meteorológicas	7
2.1.2 Características do material combustível	9
2.1.2.1 Quantidade de material combustível	9
2.1.2.2 Classificação	10
2.1.2.3 Umidade do material combustível	12
2.1.2.4 Localização do material combustível	13
2.1.3 Topografia	13
2.1.4 Variáveis do comportamento do fogo	14
2.1.4.1 Velocidade ou taxa de propagação	15
2.1.4.2 Intensidade do fogo	16
2.1.4.3 Dimensões da chama	17
2.1.4.4 Taxa de energia liberada.....	18
2.2 Queima controlada	19
2.3 Simulação do comportamento do fogo	21
2.3.1 BehavePlus	23
2.3.2 Eucalyptus Fire Safety System	26
REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 2	40
COMPORTAMENTO DO FOGO EM QUEIMAS CONTROLADAS EM ÁREA DE <i>Eucalyptus urograndis</i> (Clone H13).....	40
1 INTRODUÇÃO	41
2 METODOLOGIA.....	43
2.1 Área de Estudo.....	43
2.2 Estabelecimento das Parcelas para Amostragem.....	44
2.2.1 Amostragem do material combustível	46

2.3 Queimas Controladas.....	47
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.1. Variáveis ambientais monitoradas durante as queimas controladas	48
3.2. Caracterização do material combustível	50
3.2.1 Espessura do Material Combustível	55
3.2.2 Umidade do material combustível.....	56
3.3. Comportamento do fogo	58
4. CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS	64
CAPÍTULO 3	73
VALIDAÇÃO DE SIMULAÇÕES DO COMPORTAMENTO DO FOGO EM ÁREA DE <i>Eucalyptus urograndis</i> (Clone H13) COM <i>BehavePlus</i> e <i>Eucalyptus Fire Safety System</i>.....	73
1 INTRODUÇÃO	74
2 METODOLOGIA.....	76
2.1 Queimas Experimentais	76
2.2 Material Combustível.....	78
2.2.1 Amostragem	78
2.3 Variáveis ambientais monitoradas durante as queimas controladas	80
2.4 Simulando o comportamento do fogo	81
2.4.1 <i>BehavePlus</i>	82
2.4.2 <i>EFSS</i>	83
2.5 Análise Estatística.....	83
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
3.1 Comportamento do fogo (velocidade, comprimento de chama, intensidade e material consumido).....	86
4 CONCLUSÃO.....	96
REFERÊNCIAS	96
CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES.....	101

Tabela 1. Cálculos realizados pelo <i>BehavePlus</i> de acordo com o Módulo.....	23	LISTA DE TABELAS
Tabela 2. Relação das variáveis de entrada necessárias para simular o comportamento da frente do fogo em um incêndio florestal superficial utilizando o <i>BehavePlus</i> (Andrews, 2009).....	25	
Tabela 3. Relação das variáveis de entrada necessárias para simular o comportamento do fogo em plantios de eucalipto utilizando o <i>EFSS</i>	26	
Tabela 4. Valores médios da temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, durante as realizações das queimas controladas, em diferentes posições no talhão e meses do ano de 2015.....	47	
Tabela 5. Massa seca ($t\ ha^{-1}$) do material combustível de <i>Eucalyptus urograndis</i> (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.....	50	
Tabela 6. Massa seca ($t\ ha^{-1}$) do material combustível da classe MS1 de <i>Eucalyptus urograndis</i> (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.....	52	
Tabela 7. Altura e densidade da serrapilheira de <i>E. urograndis</i> (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.....	55	
Tabela 8. Percentual de umidade do material combustível de <i>Eucalyptus urograndis</i> (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.....	56	
Tabela 9. Velocidade do fogo (V), comprimento da chama e duração da queima controlada em áreas de <i>E. urograndis</i> (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.....	57	
Tabela 10. Intensidade do fogo e percentual de material consumido na queima controlada em áreas de <i>E. urograndis</i> (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em		

diferentes épocas do ano e posições no talhão.....	61
Tabela 11. Massa seca ($t\ ha^{-1}$) do material combustível de <i>Eucalyptus urograndis</i> (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.....	78
Tabela 12. Percentual de umidade do material combustível de <i>E. urograndis</i> (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.....	79
Tabela 13. Altura da serrapilheira de <i>E. urograndis</i> (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.....	79
Tabela 14. Valores médios da temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, durante as realizações das queimas controladas, em diferentes posições no talhão e meses do ano de 2015.....	80
Tabela 15 - Relação das variáveis de entrada necessárias para simular o comportamento da frente do fogo em um incêndio florestal superficial utilizando o <i>BehavePlus</i> (Andrews, 2009).....	81
Tabela 16. Valores encontrados na literatura referentes à área superficial pelo volume, umidade de extinção e poder calorífero do material combustível para plantios de eucalipto.....	82
Tabela 17 - Relação das variáveis de entrada necessárias para simular o comportamento do fogo em plantios de eucalipto utilizando o <i>EFSS</i>	82
Tabela 18 - Simulação e Validação encontrados na literatura, que utilizaram o modelo de Byram (1959) e o de Rothermel (1972) integrado ao módulo "Superfície" no <i>BehavePlus</i>	85
Tabela 19. Percentual de material consumido na queima controlada em áreas de <i>E. urograndis</i> (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.....	86
Tabela 20 – Resultado da velocidade de propagação do fogo em queimas experimentais (V) e das simulações.....	86
Tabela 21 – indicativos estatísticos para a velocidade de propagação em cada posição e época.....	87
Tabela 22 – Resultado da Intensidade do fogo (I) em queimas experimentais e das simulações.....	91
Tabela 23 – indicativos estatísticos para a Intensidade em cada posição e época..	92

Tabela 24. Comprimento da chama (L) em queimas controladas, e em simulações em programas computacionais.....	93
Tabela 25 – indicativos estatísticos para o comprimento da chama em cada posição e época.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dimesões da Chama.....	17
Figura 2. Visão geral do <i>BehavePlus</i>	24
Figura 3. Visão geral das respostas no <i>BehavePlus</i>	25
Figura 4. Visão geral de entrada no <i>Eucalyptus Fire Safety System</i>	26
Figura 5. Visão geral das repostas no <i>Eucalyptus Fire Safety System</i>	27
Figura 6. Localização da área experimental e do município de Sorriso, no estado de Mato Grosso.....	43
Figura 7. Delineamento experimental para medir as influências das interfaces floresta e lavoura.....	44
Figura 8. Croqui da área.....	44
Figura 9. Localização da área experimental e do município de Sorriso, no estado de Mato Grosso.....	76
Figura 10 Delineamento experimental para medir as influências das interfaces floresta e lavoura.....	77
Figura 11 Graficos da velocidade de propagação no <i>BehaPlus</i> e <i>EFSS</i>	90

APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

1 INTRODUÇÃO GERAL

Incêndio florestal é a denominação da ocorrência do fogo sem controle, que se propaga sobre qualquer forma de vegetação, podendo ser de origem antropogênica intencional e/ou acidental ou por causas naturais associadas principalmente às descargas atmosféricas (PYNE; ANDREWS; LAVEN, 1996).

Em geral, os incêndios florestais são eventos muito comuns e de ocorrência mundial, sendo que todos os dias, em algum ponto da superfície terrestre (com exceção das regiões polares), ocorrem a queima de áreas de florestas, cerrados, campos, tundra, pântanos e plantios agrícolas e florestais (HARDESTY; MYERS; FULKS, 2005).

Os incêndios florestais são fenômenos que causam diversos efeitos nos ecossistemas. Para alguns habitats o fogo pode ser um processo ecológico natural e necessário, que desempenha um papel importante na formação e manutenção da biodiversidade, contribuindo na germinação e floração de diversas espécies e no aumento da densidade da vegetação (MYERS, 2006). Todavia, em outros ecossistemas, o fogo pode ter efeitos drásticos, reduzindo a biodiversidade, liberando altos níveis de gases do efeito estufa, facilitando a entrada e proliferação de espécies invasoras, alterando a hidrologia da paisagem e prejudicando a qualidade do ar local e regional (SHLISKY et al., 2007).

Além dos ecossistemas e habitats naturais, os incêndios também interferem nos habitats artificiais, aqui tratados como aqueles que são produzidos pelo homem, principalmente em áreas de plantios de espécies florestais madeireiras. Nas áreas de cultivo florestal, os incêndios florestais produzem diversos efeitos negativos causando inúmeros prejuízos econômicos, como a perda total das espécies plantadas ou a redução da capacidade produtiva do plantio, perda de macro e micronutrientes do solo, aumento dos gastos com insumos e produção de mudas. Por isso, muitas empresas do setor florestal têm investido em planos eficientes de prevenção, com o objetivo de evitar a ignição do fogo ou minimizar os efeitos dos incêndios após a sua ocorrência.

O eucalipto é a espécie mais utilizada no Brasil para fins de plantio florestal com cerca de 72% da área total de cultivo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013). Isso se deve, em grande parte, à boa produtividade e

rentabilidade em médio prazo e por suas espécies se adaptarem bem às condições edafoclimáticas das regiões brasileiras (VENDRUSCOLO et al., 2015). Outro fator que contribuiu para a utilização dessa cultura em larga escala foi o fomento de políticas de incentivos que consolidaram linhas de financiamento e crédito resultando no aumento das áreas reflorestadas na última década o que levou o país a se tornar um dos maiores produtores mundiais (MOTA, 2013).

No Estado de Mato Grosso, o plantio de eucalipto vem aumentando consideravelmente. Entre os anos de 2007 a 2012, houve um aumento de 270% de área plantada, o equivalente 187 mil hectares. Em virtude disso, se tornou a espécie mais utilizada para fins de reflorestamento no Estado (FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MATO GROSSO, 2013). Diante deste fato, as empresas matogrossenses de reflorestamento de eucalipto têm investido na proteção contra os incêndios florestais para evitar perdas tanto das mudas como da capacidade produtiva dos plantios.

Segundo Santos, Soares e Batista (2006), entre 1998 e 2002 foram registrados 5832 incêndios em plantações da espécie no Brasil, o que correspondeu a 30% de todos os incêndios registrados no país.

Para o estabelecimento de medidas eficientes de redução ou prevenção de incêndios são necessárias várias informações da área plantada em que se pretende reduzir os riscos. O conhecimento das características das espécies florestais e dos plantios permite empregar diversas formas de manejo da biomassa; as informações das condições meteorológicas contribuem para o estabelecimento de períodos mais propícios para adoção de práticas de prevenção de incêndios; e as informações do relevo norteiam as condições do terreno em que o fogo irá acontecer e as influências topográficas que interferem no seu desenvolvimento.

Em suma, essas variáveis fornecem informações do local onde o incêndio poderá ocorrer, sem, no entanto, predizer qual será o comportamento do fogo ao longo do percurso na área de plantio. Para isso, podem ser empregados modelos matemáticos e/ou programas computacionais específicos, que possibilitam estimativas quantitativas sobre o provável comportamento do fogo (WHITE, 2014).

O modelo matemático mais usado na literatura como ferramenta de análise de incêndio florestal é o modelo de propagação do fogo superficial de Richard C. Rothermel, desenvolvido em 1972 (WELLS, 2008). Esse modelo serviu de base para o desenvolvimento dos programas computacionais que realizam modelagens do comportamento do fogo, com destaque inicial para os programas “*BEHAVE Fire Modeling System*” (BURGAN;

ROTHERMEL, 1984; ANDREWS, 1986) e o "*BehavePlus Fire Modeling System*" (ANDREWS; BEVINS; SELI, 2003).

O uso de *softwares* para prever o comportamento do fogo desempenha um papel importante no suporte à tomada de decisão na gestão das operações envolvendo o fogo em área florestal. Todavia, essas informações precisam ser validadas, uma vez que podem ficar restritas ao campo teórico (WHITE et al., 2013a). Essa validação pode ocorrer tanto pela correlação com os dados históricos de incêndios ocorridos, quanto pela realização de queima controlada, com posterior comparação entre resultados experimentais e previstos nos programas computacionais.

Os resultados alcançados com as validações, independentemente do programa empregado, quando utilizados por profissionais da área de prevenção e combate aos incêndios fornecem previsões que podem ser aplicadas com sucesso no gerenciamento e manejo do fogo, como a previsão do comportamento do incêndio, planejamento de queimas controladas, determinação do perigo de incêndio florestal, estabelecimento de zonas de áreas de risco, manejo da vegetação, dentre outros (ANDREWS, 2007).

Apesar de alguns estudos com simulações realizadas com o "*BehavePlus Fire Modeling System*" terem apresentado resultados positivos nas validações como os de Wagtendonk e Botti (1984), Hough e Albine (1978) e Glitzenstein (2006), outros autores não encontraram resultados satisfatórios que indicassem a utilização do "*BehavePlus Fire Modeling System*" para prever o comportamento do fogo como Fernandes (2002), Stephens et al. (2008) e Fernandes (2009).

A maioria dos estudos envolvendo o *BehavePlus* foram realizados no Estados Unidos, Canadá, Austrália e Portugal, sendo muito pequena a quantidade de trabalhos realizados no Brasil (WHITE et al., 2013a). Os principais destaques nacionais são dos trabalhos de Mistry e Berardi (2005), no Planalto Central; Hoffmann et al. (2012), em áreas de cerrado e floresta nas regiões sul e central do país; White et al. (2013b), no Estado do Sergipe; e White (2014) na Bahia. Sendo que White (2014) desenvolveu o programa computacional *Eucalyptus Fire Safty System* para simulações do comportamento do fogo em plantios de eucalipto no Brasil.

Neste sentido, objetivou-se avaliar o comportamento do fogo através da realização de queimas controladas em área de plantio de eucalipto com 4,5 anos e comparar com as simulações de dois programas computacionais (*BehavePlus* e o *Eucalyptus Fire Safty System*).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar o comportamento do fogo em queimas controladas em diferentes condições ambientais de um plantio de *Eucalyptus urograndis* Hill (ex Maiden) (Clone H13) com 4,5 anos, no município de Sorriso, transição Cerrado-Amazônia do Estado de Mato Grosso.

2.2 Específicos

- Caracterizar o combustível florestal superficial em uma área de eucalipto.
- Avaliar os parâmetros do comportamento do fogo em queimas controladas em combustíveis florestais superficiais em um plantio de eucalipto;
- Realizar simulações utilizando os sistemas computacionais de modelagem do comportamento do fogo *BehavePlus* e *Eucalyptus Fire Safty System*, para verificação da eficiência das previsões do comportamento do fogo.

3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação apresenta sua estrutura básica dividida em três capítulos. No primeiro capítulo trata de uma revisão da literatura acerca do comportamento do fogo, queima controlada e programas computacionais para simulação do comportamento do fogo. O segundo capítulo é um artigo científico sobre caracterização do material combustível e avaliação do comportamento do fogo através dos dados obtidos com as realizações das queimas experimentais. O terceiro capítulo é um artigo científico com as validações das simulações dos programas *BehavePlus* e *Eucalyptus Fire Safty System*, com base nos dados experimentais obtidos com as queimas controladas.

Sequencialmente são apresentadas as considerações finais e sugestões para novas propostas de pesquisa na área de queimas controladas e incêndios florestais na região. Os capítulos encontram-se na forma de artigos e foram formatados para submissão em revistas com Qualis igual ou superior a B1 na área de ciências ambientais, conforme resolução do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

CAPITULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Comportamento do Fogo

O fogo constitui uma importante ferramenta utilizada para moldar áreas através do manejo da vegetação natural, produzindo paisagens agrícolas e florestais e contribuindo com a manutenção da saúde ecológica de determinados ecossistemas (SHLISKY et al., 2007). Pyne (1984) menciona que a maioria das florestas mundiais tem sido submetida à ação do fogo por milhares de anos.

A despeito do reconhecimento de longa data do papel fundamental do uso fogo em muitos ecossistemas terrestres, ainda persistem diversas incertezas e divergências sobre estratégias de manejo do fogo (MORITZ et al., 2004). Um requisito cada vez mais importante no manejo da floresta em ecossistemas propensos aos incêndios florestais é a capacidade de prever o comportamento do fogo (FERNANDES, 2001), visto que este pode ser considerado o elemento central de toda a gestão dos incêndios florestais em qualquer parte do mundo (VIEGAS, 2007).

Carvalho (2005) sugere que a compreensão da dinâmica do fogo nos diferentes ecossistemas depende da análise dos fatores preponderantes que influenciam no seu comportamento, procedendo a sua identificação, descrição e quantificação. Arroyo, Pascual e Manzanera (2008) reiteram que o estudo do fogo no ambiente florestal inclui o conhecimento dos fenômenos atmosféricos, aspectos ecológicos, geográficos, silviculturais, dentre outros.

Por conseguinte, comportamento do fogo é um termo utilizado para descrever as principais características da combustão do material florestal (SEGER et al., 2013), sendo o resultado da interação das condições meteorológicas, características do material combustível e topográficos, considerados como os fatores do “triângulo do comportamento do fogo” (AGEE, 1996; MORFIN-RÍOS et al., 2012). Apesar da ampla abrangência que o termo compreende, em geral, é utilizado apenas para descrever as características perceptíveis à escala humana, como progressão e dimensão do fogo (PYNE; ANDREWS; LAVEN, 1996).

A compreensão de que os três fatores supracitados contribuem de forma diferenciada no comportamento do fogo e que as suas influencias dependem da região e da época do ano em que o incêndio ocorre, ressalta a necessidade de constantes estudos sobre a propagação de incêndios nos diversos ecossistemas (TORRES, 2006).

Segundo Stocks et al. (1989) o conhecimento do comportamento do fogo pode ser utilizado para estabelecer práticas de treinamento das forças de combate, atividades de prevenção das ignições de origem antrópica, definição dos níveis de prontidão e do posicionamento dos meios de supressão, delineamento das táticas e estratégias de supressão do fogo e no planejamento e execução de queimas controladas.

2.1.1 Condições Meteorológicas

Segundo Velez (2000), as variáveis meteorológicas podem ser classificadas em dois grupos de acordo com os fatores que influenciam na propagação do fogo:

1. Variáveis que influenciam na possibilidade de ignição do material combustível: exercem influência na umidade do combustível – precipitação, umidade relativa e temperatura.

2. Variáveis que afetam a velocidade de propagação: influenciam na quantidade de oxigênio necessário para a combustão e no processo de transferência de calor – vento.

Soares e Batista (2007) relatam que a ocorrência dos incêndios florestais está intimamente ligada às condições meteorológicas, tornando imprescindível o conhecimento das suas variações para estabelecimento ações de prevenção e combate aos incêndios.

As condições meteorológicas de uma determinada região exercem influência sobre a capacidade de ignição do material combustível e no desenvolvimento de um incêndio, pois a inflamabilidade dos combustíveis é afetada pela temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação e a taxa propagação do fogo é influenciada pela velocidade e direção do vento (SCHROEDER; BUCK, 1970; BATISTA, 1995; FERRER, 2004). Fernandes; Cruz (2012) definem inflamabilidade como a capacidade de queima do combustível florestal, compreendendo aspectos do processo da combustão na floresta, como a facilidade de ignição, tempo de residência e taxa de propagação.

Entre os fatores meteorológicos que influenciam o comportamento do fogo, o vento representa a variável mais importante (VIEGAS, 2004), pois é um fator determinante na propagação de um incêndio, na reação de combustão, no mecanismo de transferência de calor e no transporte de partículas incandescentes através da convecção, na determinação da morfologia do incêndio e da geometria das chamas e no suprimento de oxigênio durante a queima do material combustível (BROWN; DAVIS, 1973; FERRER, 2004; VIEGAS, 2007; TORRES et al., 2007). As pequenas variações da temperatura e umidade do ar podem não repercutir em alterações significativas no comportamento do fogo, mas leves variações na

direção ou velocidade do vento podem ocasionar incêndios de grandes proporções (CABALLERO, 2006).

A umidade relativa do ar é um elemento chave na determinação das condições do potencial de um incêndio. Pode ser definida como a razão entre a quantidade atual de vapor d'água e a quantidade na condição de saturação, para um determinado volume atmosférico função da temperatura do ar e da pressão atmosférica (VAREJÃO-SILVA, 2006). A presença da água interfere na reação de combustão, fazendo com que a energia necessária para consumir determinada quantidade de combustível seja destinada primeiramente à evaporação, reduzindo assim, a concentração dos gases inflamáveis da pirólise, contribuindo para a menor intensidade de queima e dificultando a ignição dos gases (SOARES; BATISTA, 2007).

A temperatura do ar afeta direta e indiretamente a probabilidade de ocorrência e o potencial de propagação dos incêndios florestais, pois indica a quantidade de calor necessário para elevar o combustível à temperatura de ignição, que por sua vez, é dependente da temperatura inicial do combustível e da temperatura do ar (SCHROEDER; BUCK, 1970; SOARES; BATISTA, 2007). Desta forma, quanto maior a temperatura do ar, maior é a temperatura apresentada pelo combustível e menor tende a ser o conteúdo de umidade, proporcionando uma atmosfera mais favorável ao desenvolvimento do fogo e à propagação dos incêndios (BEUTLING, 2009).

A precipitação pluvial é um fator fundamental na redução do potencial de ocorrência de incêndios florestais (SCHROEDER; BUCK, 1970; NILTON et al., 2006). De acordo com Soares (1985), a ocorrência dos incêndios está associada aos períodos com baixos níveis pluviométricos, existindo uma forte correlação entre ocorrência de grandes incêndios e prolongados períodos de seca, visto que a presença da água sobre os combustíveis florestais extingue qualquer chance de combustão. No entanto, combustíveis florestais extremamente secos e submetido às condições críticas de seca podem ser umedecidos superficialmente por uma chuva e mesmo assim secarem rapidamente, tornando-se novamente inflamáveis (PYNE, 1984). É importante mencionar que uma grande quantidade de chuva, restrita a uma determinada unidade de tempo, tem menos eficácia sobre a diminuição da probabilidade de ocorrência de incêndios do que uma menor quantidade de chuva, distribuída por um período de tempo mais longo (TORRES et al., 2007).

2.1.2 Características do material combustível

O material combustível florestal compreende toda matéria orgânica presente em uma determinada área e que participa do processo de combustão, independentemente da sua condição - viva ou morta (SOARES, 1985). González (2004) define o combustível florestal como sendo os materiais presentes em um ecossistema que são consumidos pela combustão, representados em sua maioria por árvores, arbustos, capins e materiais de porte herbáceo, bem como fragmentos desses vegetais em diferentes estados de decomposição.

Segundo Contreras e Cervantes (2007), combustível florestal é um composto misto de material lenhoso (ramos, galhos e troncos de árvores e arbustos) e foliar (folhas de árvores, de ervas e húmus), vivo ou morto caído sobre a superfície do solo e que influencia na ignição e propagação do incêndio florestal. Para Soares e Batista (2007) são todos os materiais orgânicos que se encontram agregados ao solo ou depositados sobre este, e acima do solo e que são capazes de entrar em ignição e queimar.

Souza (2000) ressalta que o material combustível está presente nos triângulos do fogo, do comportamento do fogo e do regime do fogo. Desta forma, é imprescindível o conhecimento das particularidades dos combustíveis de determinada região para avaliação correta do comportamento de um incêndio (VÉLEZ, 2000). Segundo Fernandes e Cruz (2012), a ignição e a combustão são diretamente afetadas pelas propriedades intrínsecas das partículas de combustível. As características como tipo, arranjo, quantidade, condição e localização, criam uma condição especial de ameaça de ignição (BROWN; DAVIS, 1973).

A descrição da vegetação como um combustível, por meio de um conjunto de números utilizáveis como dados de entrada para modelos de predição do comportamento do fogo é fundamental no processo global da gestão do fogo (FERNANDES; LUZ; LOUREIRO, 2010), dentre os quais destacam-se a quantidade, classificação, umidade e localização.

2.1.2.1 Quantidade de material combustível

Para Souza (2000) a quantidade de combustível de uma floresta é o resultado da interação entre deposição e decomposição, sendo considerado um fator importante em planos de prevenção e controle de incêndios e programas de queima controlada (REGO; BOTELHO, 1990; RIBEIRO, 2009; SOARES; BATISTA, 2007). Segundo Brown, Oberhew e Jonhston (1982), a quantidade e distribuição do material combustível, especialmente o material lenhoso sobre o solo, apresenta variação entre e dentro dos plantios, sendo dividida em total e disponível.

Segundo Batista (1990), o combustível total compreende todo o material existente na floresta e o combustível disponível é a parte do material total que foi consumido pelo fogo, sendo que essa divisão decorre do fato de que nem todo combustível se encontra disponível para consumo pelo fogo, em função do teor de umidade, proporção entre material vivo e morto, tamanho das partículas e à continuidade do material sobre a superfície do terreno.

A estrutura do material vegetal na floresta afeta o comportamento do fogo, que por sua vez afeta a estrutura da floresta (AGEE, 1996). De acordo com Rego e Botelho (1990), a disponibilidade do material combustível para queima pode se alterar por fatores como a época do ano, o estrato florestal em que este se encontra o tipo de vegetação que o origina, a hora do dia e as condições de tempo atmosférico.

Entretanto, apenas a quantidade não é um dado suficiente para realizar estimativas sobre o comportamento do fogo (WHITE, 2014). A separação da quantidade em função das classes de diâmetro é fundamental na caracterização do material combustível de uma área, bem como é uma variável utilizada nos principais modelos matemáticos de modelagem do comportamento do fogo (ROTHERMEL, 1972; FERNANDES, 2001; FERNANDES; LOUREIRO, 2013).

2.1.2.2 Classificação

Existem diversas formas de classificar os combustíveis florestais presentes nos ecossistemas, sendo que em geral, as classificações baseiam-se no diâmetro das partículas e na condição de vivo ou morto. Para Soares (1985) os combustíveis florestais são classificados em três categorias:

a) perigosos: todos os materiais secos com diâmetro igual ou inferior a 1,0 centímetro, constituindo-se de pequenos galhos, folhas, líquens, musgos e gramíneas. Esses materiais perdem umidade de forma rápida, apresentam menor temperatura de ignição, facilitam o início do fogo e aceleram a propagação, queimando-se rapidamente com produção de calor e chamas intensas, sendo também, a principal matéria consumida pelo fogo;

b) semi-perigosos: todos os materiais secos com diâmetro acima de 1,0 centímetro, constituindo-se de galhos, troncos caídos, tocos, húmus e turfa. São materiais lenhosos ou em decomposição e compactados, que por suas características queimam lentamente e, embora possam ignição lenta e difícil, desenvolvem intenso calor e podem manter-se em combustão latente, com risco de reiniciar incêndios porventura considerados como controlados;

c) verdes: constituídos pela vegetação viva existente na floresta e que podem ser considerados como não-inflamáveis devido ao alto teor de umidade. No entanto, destaca-se que o calor liberado pela combustão de outros combustíveis pode secar estes materiais, tornando-os igualmente inflamáveis.

De acordo com Byram (1963) os combustíveis florestais podem ser classificados de acordo com o *timelag*, definido como o intervalo de tempo requerido para a umidade do material combustível sofrer uma variação aproximada de 63% do valor inicial uniforme de equilíbrio para um novo equilíbrio, depois do ambiente ter mudado instantaneamente. O autor estabeleceu a seguinte equação:

$$\frac{dM}{dt} = - \frac{M - q}{\tau}$$

em que: M = Teor de umidade da partícula no tempo t (%);

q = Umidade de Equilíbrio (%);

t = Constante definida como tempo de resposta do material combustível.

A solução da equação para uma constante q , mostra que τ é o tempo necessário para o material perder ou ganhar 63% do seu teor de umidade original para a umidade de equilíbrio.

Na análise das variáveis, τ está diretamente relacionado ao diâmetro da partícula, desta forma o material combustível florestal é classificado nas seguintes classes de diâmetro (BYRAM, 1963; ROTHERMEL, 1972; DEEMING et al., 1977): 1. (1-h) classe de 1 hora de *timelag*, correspondente aos combustíveis com diâmetro inferior a 0,7 cm; 2. (10-h) classe de 10 horas de *timelag*, correspondente aos combustíveis com diâmetro entre 0,7 e 2,4 cm; 3. (100-h) classe de 100 horas de *timelag*, correspondente aos combustíveis com diâmetro entre 2,5 e 7,6 cm; 4. (1000-h) Classe de 1000 horas de *timelag*, correspondente aos combustíveis com diâmetro superior a 7,6 cm.

A classificação padronizada e comumente usada em todo o mundo foi recomendada pelo modelo matemático de Rothermel (1972), que utiliza o *timelag* e divide em condição vivo e morto nas seguintes classes (DEEMING et al. 1977; BROWN; OBERHEW; JOHNSTON, 1982; ANDREWS, 2009): i) material combustível morto de diâmetro menor ou igual a 0,7 cm; ii) Material combustível morto de diâmetro entre 0,71 e 2,5 cm; iii) material combustível morto de diâmetro entre 2,51 e 7,6 cm; iv) material combustível vivo herbáceo (materiais vivos não lenhosos de caule macio e maleável e com aspecto de erva); v) material combustível vivo lenhoso (inclui a folhagem viva e pequenos ramos da planta com diâmetro inferior a 0,7 cm).

Neste modelo, a carga dos materiais combustíveis mortos de diâmetro superior a 7,6 cm (1000h de *timelag*) e a carga dos materiais combustíveis vivos com diâmetro superior a 0,7 cm não são considerados, pois não influenciam na intensidade da linha do fogo, visto que demoram muito tempo para entrar em ignição ou não chegam a queimar (ROTHERMEL, 1972; DEEMING et al., 1977).

2.1.2.3 Umidade do material combustível

A umidade do material combustível constitui a porcentagem de água armazenada nos tecidos vegetais (vivos e/ou mortos) em relação a massa seca (SOARES; BATISTA, 2007). De acordo com Schroeder e Buck (1970), o conteúdo de umidade é a mais importante propriedade que controla a probabilidade do material combustível entrar em ignição e permanecer queimando. De maneira simplificada, a energia necessária para vaporizar a água é extraída da energia produzida durante a queima (FREITAS et al., 2005), assim quanto maior o teor de umidade, maior será a quantidade de energia necessária para que o material entre em ignição. Para que o material combustível possa queimar, é necessário que toda a sua água seja primeiramente evaporada (REGO; BOTELHO, 1990).

De acordo com Alves et al. (2009), a umidade dos combustíveis florestais é importante para a proteção de áreas florestais, pois está relacionada às variáveis meteorológicas e à facilidade de propagação do fogo. Segundo Batista (1990), os combustíveis vivos e mortos têm diferentes mecanismos de retenção de água, o que torna imprescindível o conhecimento do teor de umidade e sua influência no comportamento do fogo.

O teor de umidade de 30% costuma ser utilizado como valor limite para o combustível entrar em ignição durante os incêndios florestais, sendo este percentual denominado de "umidade de extinção do material combustível". Apenas os materiais com teores de umidade abaixo deste valor estão disponíveis para a queima (SOARES; BATISTA, 2007; SCOTT; BURGAN, 2005).

Soares e Batista (2007) citam que o material morto é mais seco e responde mais rapidamente às variações meteorológicas, sendo, portanto, o principal responsável pela propagação dos incêndios florestais. Segundo Rego e Botelho (1990), toda a água e calor passam pela área superficial da partícula, assim os combustíveis finos têm mais área de contato com o ambiente, tornando a capacidade de absorver ou perder água mais dinâmica.

A relação área superficial pelo volume possui relação direta com o tempo de resposta dos materiais combustíveis (DEEMING et al., 1977; BEUTLING, 2005). Essa variação da

umidade do material combustível em relação às condições locais de tempo e às características diamétricas dos combustíveis, também são utilizadas para classificar o material vegetal em função do tempo de resposta (*timelag*) (WHITE, 2014).

2.1.2.4 Localização do material combustível

Os materiais combustíveis florestais podem ser encontrados em três distintos locais dentro do estrato florestal e esta localização caracteriza os tipos de incêndios florestais que podem acontecer em conjunto ou isoladamente (WHITE, 2014). De acordo com Batista (1990), os materiais combustíveis subterrâneos são compostos pela matéria orgânica abaixo da linha do solo (como raízes e húmus) e são responsáveis pelos incêndios subterrâneos. Segundo Soares (1985) os combustíveis superficiais são todos os materiais que ocorrem entre a linha do solo e 1,80 metros de altura e compreendem a serrapilheira, gramíneas e pequenos arbustos. Os combustíveis aéreos correspondem àqueles que se encontram acima de 1,80 m de altura, compreendendo principalmente as copas das árvores e arbustos altos. Essas três classes são responsáveis pelos incêndios subterrâneos, superficiais e de copa, respectivamente.

Os combustíveis subterrâneos são responsáveis por possíveis reignições de um incêndio aparentemente extinto ou podem dar origem aos incêndios superficiais (REGO; BOTELHO, 1990). Os incêndios subterrâneos e superficiais podem ocorrer isoladamente, porém os incêndios de copa, geralmente, estão associados aos incêndios superficiais (WHITE, 2014). A análise da distribuição do combustível no estrato deve ser realizada separadamente, pois as variáveis que vão interferir no comportamento do fogo serão diferentes para cada estrato (CRUZ; ALEXANDER, 2010).

A distribuição vertical do material combustível é um critério importante na transformação de incêndios superficiais em incêndios de copa (VAN WAGNER, 1977). Quando existe uma continuidade do material combustível superficial para o material combustível aéreo, ocorre alta probabilidade de ocorrência de incêndios de copa, que costumam ser os mais intensos e devastadores (BEUTLING, 2009).

2.1.3 Topografia

As condições topográficas influenciam muito no microclima e na vegetação, interferindo e proporcionando comportamentos diferenciados do fogo ao longo do local de desenvolvimento dos incêndios (PYNE; ANDREWS; LAVEN, 1996). A topografia, por ser

um elemento parcialmente estático apenas com variabilidade espacial, pode ser considerada como a variável com maior facilidade de predição de influência sobre um incêndio (FERRER, 2004).

Para Couto e Cândido (1980) a velocidade desenvolvida por um incêndio florestal morro acima é quase que diretamente proporcional à inclinação topográfica. Já Brown e Davis (1973) mencionam que a topografia implica em significativas mudanças no perigo de incêndios e seus efeitos podem ser comparados aos efeitos do vento sobre o fogo, mantidos os demais fatores constantes.

Segundo Whelan (1998), a inclinação faz com que o fogo se propague mais rapidamente nos aclives e mais lentamente nos declives. De acordo com Pyne (1984) quanto maior o grau de inclinação do aclive, maior será a velocidade de propagação do fogo. A inclinação do relevo contribui com o aumento da velocidade de propagação, na medida em que o material localizado na parte superior do aclive seca e aquece, pois os combustíveis nesta situação ficam mais suscetíveis aos mecanismos de transferência de calor transmitidos pelo transporte de gases, propiciando queimas com maior facilidade (SOARES; BATISTA, 2007).

A variação da altitude (em regiões montanhosas), também altera o comportamento do fogo de forma indireta, por interferir no sentido de propagação dos ventos, na distribuição espacial da precipitação pluvial e no tipo de vegetação (SCHROEDER; BUCK, 1970). Entre o fundo do vale e a parte alta das montanhas, ocorrem diferenças notáveis no comportamento do fogo, bem como o efeito da altitude sobre o nível do mar, que é correlacionado com a temperatura do ar, chuvas e o conteúdo de oxigênio atmosférico (VELEZ, 2000).

A exposição topográfica é uma característica que exerce influencia sobre a umidade do material combustível em função das variações na intensidade da radiação solar recebida ao longo do dia, decorrentes da velocidade de rotação terrestre e dos ângulos zenitais (RUIZ, 2004). A exposição das vertentes indica a orientação de uma encosta em relação aos pontos cardeais e influencia a temperatura de acordo com sua posição latitudinal (TORRES, 2006).

2.1.4 Variáveis do comportamento do fogo

De acordo com Scott (2008) o incêndio florestal é bastante variável, sendo essas mudanças responsáveis pela dificuldade em descrever o comportamento do fogo. Morandini et al. (2006) consideram que essa complexidade para delinear o comportamento do fogo ocorre em virtude dos níveis de descrição com detalhamento da cinética de combustão gasosa,

degradação térmica de combustíveis, caracterização físico-química de chamas e da cobertura vegetal.

No entanto a avaliação do comportamento do fogo, quando realizada por profissionais da área de incêndios, fornecem previsões que podem ser aplicadas com sucesso no gerenciamento e manejo do fogo, por meio da previsão do comportamento do incêndio, planejamento de queimas controladas, determinação do perigo de incêndio florestal, estabelecimento de zonas de risco, manejo da vegetação, dentre outros (ANDREWS BEVINS; SELI, 2003; ANDREWS BEVINS; SELI, 2005; ANDREWS, 2007; SOARES; BATISTA, 2007). A compreensão dos fatores que influenciam na dinâmica das variáveis preponderantes do comportamento do fogo contribui no uso eficiente de queimas controladas (McARTHUR, 1962; CARVALHO, 2005).

As variáveis primárias que quantificam e caracterizam o comportamento do fogo são: velocidade de propagação, intensidade da linha de fogo, comprimento da chama e taxa de energia liberada (VEGA, 1996; LENTILE, 2006; SCOTT, 2012). Segundo Brown et al. (1991), o consumo do material combustível pós-fogo, quantifica a remoção da camada orgânica e da biomassa lenhosa, sendo portanto, uma característica fundamental para o planejamento de queimas controladas.

Essas variáveis determinam os efeitos dos incêndios no ecossistema, como por exemplo, a produção de fumaça e a severidade (SCOTT, 2012), contribuem para uma avaliação quantitativa dos incêndios florestais (STOCKS, 1989), bem como controlam a dificuldade dos processos de extinção de qualquer incêndio (VEGA, 1996).

Neste sentido, diversos estudos acerca das características e comportamento do fogo foram desenvolvidos no sentido de propiciar conhecimentos científicos sobre a ocorrência e propagação de incêndios florestais e integrá-los em modelos de avaliação do perigo de incêndios florestais (PAIXÃO, 2014).

2.1.4.1 Velocidade ou taxa de propagação

A velocidade de propagação é definida como a razão entre o percurso de um espaço linear e o tempo decorrido por uma frente de incêndio de estado constante para percorrer esse trajeto (DEEMING, 1977; ALEXANDER, 1982). As unidades mais utilizadas são $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ou $\text{pés}\cdot\text{min}^{-1}$.

A velocidade de propagação determina o progresso do fogo em uma área ao longo do tempo (BATISTA, 1990). Soares e Batista (2007) mencionam que esta é uma variável

importante no comportamento do fogo, pois pode ser utilizada para prever o tempo em que a frente do fogo irá levar para chegar em um determinado local, podendo ser utilizada no planejamento do combate. A velocidade de propagação de um incêndio pode ser utilizada para prever o tempo de resposta e determinar o esforço quantitativo necessário para confinar o fogo em uma determinada área (ALEXANDER, 2000).

Autores como Marsden-Smedley e Catchpole (1995a; 1995b) e Gould et al. (2007) afirmam que a taxa de propagação do fogo é correlacionada com a estrutura, composição e densidade do combustível, e segundo Wakimoto (1984) pode ser afetada pela descontinuidade do combustível, visto que seria necessário maior intensidade do fogo para manter a propagação.

Segundo Botelho e Ventura (1990), a velocidade de propagação do fogo (V_p) pode ser classificada pela seguinte escala: $V_p \leq 0,033$; $0,033 < V_p \leq 0,166$; $0,166 < V_p < 1,166$; $V_p \geq 1,166$, para as classes muito lenta, lenta, alta e extrema, respectivamente. De acordo com Pereira (2015), a velocidade é uma das variáveis utilizadas no cálculo da intensidade do fogo, sendo importante a sua determinação.

A taxa de propagação e a intensidade do fogo são os dois fatores primários de descrição do comportamento do fogo e suas previsões são cruciais para alcançar a eficácia na aplicação de queimas controladas (FERNANDES, 2001).

2.1.4.2 Intensidade do fogo

A intensidade do fogo integra as características essenciais da frente de propagação e prediz os possíveis impactos na vegetação (ALEXANDER; 1982). De acordo com Byram (1959a), a intensidade corresponde à liberação de energia por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente do fogo (em kW m^{-1} , pelo SI), sendo um parâmetro apenas estimado e não observável ou mensurável:

$$I = hc.w.R$$

em que:

I – intensidade do fogo de Byram;

hc – calor de combustão (kJ kg^{-1});

w – quantidade de combustível consumido (kg m^{-2});

R – velocidade de progressão do fogo (m s^{-1}).

A principal determinante do intervalo de variação da intensidade frontal do fogo é a velocidade de propagação (ALEXANDER, 1982). A intensidade do fogo proporciona uma descrição útil e importante das características do incêndio florestal (CHENEY, 1981), além de servir como um índice de referência para visualização e comparação das taxas de energia liberadas em diferentes incêndios (SOARES; BATISTA, 2007). É a variável mais utilizada para indicar o uso do fogo em uma vegetação (FERNANDES, 2002), pois dita os tipos de recursos que serão ou não efetivos na supressão do fogo (ALEXANDER, 2000).

2.1.4.3 Dimensões da chama

Segundo Wotton et al. (2012), a chama é um complexo pulsante e característica observável de um incêndio florestal, sendo de difícil definição na natureza, pois os incêndios florestais emitem grandes quantidades de calor e são parcialmente encobertos pela fumaça, resultando em dificuldades para o observador.

As dimensões da chama são importantes para descrever diversas características do fogo, como a propensão de atingir os combustíveis aéreos e gerar incêndios de copa (FERNANDES; CRUZ, 2012), para estabelecer a largura de um aceiro de proteção (BYRAM, 1959; ROUSSOPOULOS; JOHNSON, 1975; LAMONT, 2007; ANDREWS, 2009; NWCG-PMS/461, 2014), na determinação da distância de segurança que os elementos operacionais devem manter em relação à frente de propagação (BUTLER; COHEN, 1998; FERNANDES; BOTELHO; LOUREIRO, 2002; MARSDEN-SMEDLEY, 2009) e na estimativa da intensidade do fogo (BYRAM, 1959; BIDWELL; ENGLE, 1991; BURROWS, 1999; FERNANDES, 2002).

Wotton et al. (2012) descrevem que o tamanho e forma da chama são úteis para descrever as características do fogo, sendo que o comprimento da chama está diretamente relacionado com a intensidade do fogo (BYRAM, 1959). De forma generalista, as características radiativas das chamas (tipo de emissão, temperatura e emissividade) e as dimensões (comprimento, altura e profundidade) são componentes-chave na transferência de calor (SULLIVAN et al., 2003; WOTTON et al., 2012).

Neste sentido, na Figura 1 estão descritas as três dimensões básicas de uma chama: a) comprimento de chamas: a distância entre a extremidade da chama ao ponto médio da zona de reação, medida no meio de sua zona ativa; b) altura da chama: a distância perpendicular entre o solo e a ponta da chama; e c) profundidade: largura horizontal da base das chamas (ALEXANDER, 1982; TOLHURST; CHENEY, 1999; SOARES; BATISTA, 2007).

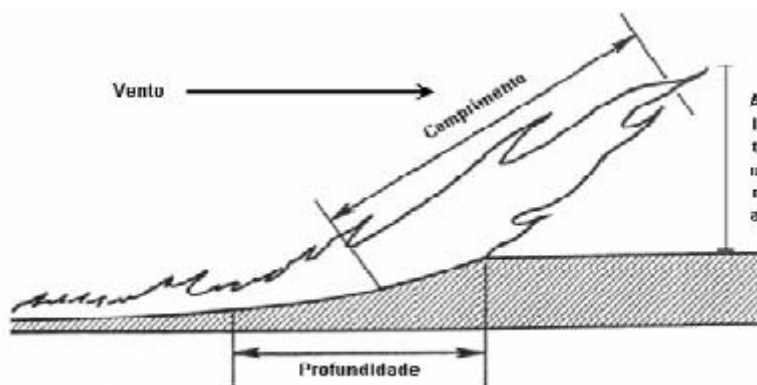


Figura 1. Dimensões da chama.
 Fonte: Soares; Batista (2007).

O comprimento das chamas é a real expressão das condições de queima do material combustível em campo, pois o teor de umidade, associado à declividade do terreno, vento e condições climáticas, condicionam o comprimento das chamas de um incêndio (BEUTLING, 2009). A estimativa do comprimento das chamas pode ser obtida durante a ocorrência do incêndio, porém por tratar-se de um fenômeno pulsante, ocasional e extremamente transitório, existem dificuldades na determinação precisa do seu valor (SOARES; BATISTA, 2007).

2.1.4.4 Taxa de energia liberada

A quantidade de energia liberada normalmente é medida em kcal.m^{-2} , sendo que a descrição da produção energética de um fogo pode ser obtida pela equação $Ha = I.w^{-1}$; esta equação recorre a duas variáveis, respectivamente: I - a intensidade de reação (ROTHERMEL, 1972), e w - a velocidade de propagação (BYRAM, 1959), que designa a liberação de energia por unidade de tempo e de área na zona de combustão com chama contínua (ROTHERMEL, 1972).

Para uma mesma intensidade, quanto mais rápida for a velocidade de propagação do fogo, menor será a quantidade de calor liberada nesta área, e quanto maior for o tempo de permanência do fogo em um mesmo local, maior será a quantidade de calor (BATISTA, 1990; SOARES, 1985).

A taxa de energia liberada também pode ser obtida pela equação: $Ha = h.mc$, em que h representa o poder calorífico do combustível e mc a quantidade de material combustível consumido. Quanto maior a quantidade de energia calorífica do material, mais intensas serão as chamas em caso de incêndio (ANDREWS, 2008). De acordo com Soares e Batista (2007) o

poder calorífico varia ligeiramente entre as espécies florestais, sendo um pouco mais alto nas coníferas do que nas folhosas.

2.2 Queima controlada

O uso do fogo só é recomendado quando se tem ciência do comportamento e efeitos que causará ao ecossistema, sem estes precedentes não é recomendado utilizá-lo, independentemente da finalidade (McARTHUR, 1962), mesmo que seja o meio mais econômico, e, em algumas situações, o mais efetivo para se conseguir a redução ou manejo do material combustível (MARTIN et al., 1977).

Queima controlada é utilizada como uma componente normal da silvicultura em muitas regiões (FERNANDES, 2002; GOULD et al., 2007), sendo considerada como uma excelente prática florestal e consagrada em diversos manuais (REGO; BOTELHO, 1990; SOARES, 1995; GOULD et al., 2007; SMITH; LAMONT, 2007; FERNANDES; LOUREIRO, 2010; MARSDEN-SMEDLEY; SHERRIFF, 2014). Muraro (1976) definiu queima controlada como a aplicação do fogo em uma área específica para alcançar os objetivos do manejo florestal e do uso da terra. Segundo Buresti e Sulli (1983) deve ser executada sob condições meteorológicas e de combustível conhecidas, enquanto que Merrill e Alexander (1987) acrescentam que devem ser realizadas por pessoas qualificadas em gestão de incêndios visando a obtenção de resultados úteis.

Por ser uma técnica potencialmente perigosa, deve ser executada com cautela e com conhecimentos do provável comportamento do fogo, para elucidar a intensidade de calor e propagação necessária para realizar o manejo silvicultural específico, visando, principalmente, a redução de risco de incêndio e de esforços desinformados e mal orientados que podem produzir resultados desastrosos (BICKFORD; NEWCOMB, 2006; SOARES; BATISTA, 2007).

A queima controlada transformou-se em uma ferramenta de gerência importante em regiões agrícolas (BERJAK; HEARNE, 2002). É a prática agropastoril de limpeza de terreno mais primitiva que existe, atuando como um fator de produção, com uso refletido pelo baixo custo laboral e financeiro, e que em muitos casos, tem como objetivos principais a limpeza de áreas e a rebrota da vegetação para consumo por rebanhos (COCHRANE, 2009; CODEVASF, 2010).

De forma generalista, podem-se citar como objetivos da queima controlada: a redução do risco de incêndio, melhoria das condições do solo para plantio ou regeneração natural,

eliminação de espécies indesejadas, controle de surtos de pragas e doenças, favorecimento de espécies piroecológicas e limpeza de terreno (WHITE, 2014).

Outro termo muito utilizado em países como EUA, Portugal, Austrália e Espanha é a “queima prescrita”. Este termo, nestes países, não é considerado sinônimo de queimas controladas, pois a prescrição, igualmente à receita médica, é um procedimento confeccionado por profissional habilitado e exige conhecimento científico sobre o comportamento do fogo, enquanto que a queima controlada é entendida como qualquer uso do fogo confinado em uma área. Logo, na queima controlada só é exigido que o fogo esteja limitado a um determinado local, não sendo necessária a presença de profissional qualificado para estabelecer seu uso, nem tampouco estudo prévio das condições meteorológicas, topográficas e de combustíveis. Vega et al. (2001) estabelecem que a diferença de conceito deve ser levada em consideração por gestores do fogo, não devendo ser utilizadas como sinônimos.

A aplicação do fogo prescrito em uma área específica para realizar o manejo florestal pré-determinado por seus objetivos de uso do solo, geralmente é realizada de acordo com a política de agências responsáveis pela gestão florestal (CANADIAN INTERAGENCY FOREST FIRE CENTRE, 2002). As ações de uso do fogo, preparados por pessoal qualificado, devem ser aprovadas pelas agências e incluir critérios para as condições em que o fogo vai ser conduzido antes da ignição (NWCG, 2008).

As queimas prescritas são muito utilizadas fora da estação seca, ou início do verão. As razões para isso incluem aspectos gerenciais: i) gestão da segurança, com uso do fogo durante períodos de tempo ao longo do dia e/ou ano e com condições de umidade do combustível mais elevadas diminuem a chance de fogo escapar do controle; ii) gestão da fumaça, na qual determinadas épocas do ano são mais indicadas para a dispersão da fumaça; iii) gestão operacional, pois pode haver falta de recursos durante a época mais propícia à ocorrência de incêndios, em virtude do pessoal estar sendo empregado no combate; e, iv) gestão biológica, visto que certas estações do ano podem reduzir a chance de lesão e morte de espécies florestais durante ou pós uso do fogo (KNAPP; ESTES; SKINNER, 2009).

Difundidas pelo mundo, as queimas prescritas são comumente utilizadas em vários países, tendo como principal objetivo reduzir a carga de combustível superficial em áreas sujeitas a longos períodos de estiagem, diminuindo o perigo de incêndios (FERNÁNDEZ; VEGA; FONTURBEL, 1997).

De acordo com Pyne et al. (1996) e Fernandes (2002), os aspectos principais das queimas prescritas são: i) especificação de uma prescrição (definição do ambiente de queima desejado) e de um plano de queima (descrição dos procedimentos a serem adotados) para uma determinada operação em função dos seus objetivos; ii) a prescrição fixa os limites de observância da operação e procura traduzir as condições de queima em propriedades físicas do fogo (comportamento do fogo) e seus efeitos; iii) a prescrição prevê as operações prévias à queima, o padrão de ignição, determina o carácter do fogo resultante e estabelece um conjunto de métodos de controle do fogo; iv) as atividades de avaliação da queima prescrita distinguem-na da queima controlada, pois é equiparada a uma experiência científica e cujos resultados permitem melhorar as práticas e prescrições futuras.

Embora existam variações sutis nas definições entre queimas controladas e prescritas, os pontos mais importantes, de acordo com Wade e Lunsford (1989), é que a queima prescrita é o uso do fogo de um modo qualificado, sob condições meteorológicas exigentes, em um lugar definido e para alcançar resultados específicos. Todavia, esse conceito é utilizado no Brasil para queimas controladas.

No Brasil, o termo mais utilizado é “queima controlada”, por ser definida em lei e ter as especificações de execução estabelecidas em normas estaduais. A Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 – Código Florestal Brasileiro (GOVERNO FEDERAL, 2012), em seu artigo 2º, permite o emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, mediante a execução de queimada controlada, desde que sejam observadas as normas de segurança e condições estabelecidas, no qual o órgão responsável pela fiscalização, controle e licenciamento das queimadas controladas deve ser estadual. No Estado de Mato Grosso, o órgão responsável pela autorização de queimas controladas é a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA).

2.4 Simulação do comportamento do fogo

O estudo do comportamento do fogo pode ser traduzido em variáveis quantitativas estabelecidas por equações matemáticas, que integradas em aplicações informáticas constituem sistemas de simulação de comportamento de fogo, propiciando assim, ferramentas de apoio no combate aos incêndios florestais (ALBRIGHT; MEISNER, 1999; PAIXÃO, 2014). A utilização de sistemas operacionais de gestão, que integrem o comportamento do fogo e modelos de risco aos módulos de planejamento de apoio à decisão dos gestores florestais, é fundamental para diminuição dos riscos associados à atividade florestal (KALABOKIDIS et al., 2014).

A tecnologia da informação fornece os meios necessários para a utilização de soluções sofisticadas em gestão do fogo. Os *softwares* usados em simulação da propagação dos incêndios têm-se tornado cada vez mais importante como ferramenta de apoio e suporte para a tomada de decisão dos gestores florestais (FINNEY, 2006; ANDREWS, 2007), pois objetivam simular o mecanismo de propagação do fogo na natureza aproximando o máximo possível do que acontece na realidade (GOULD; TOBOCHNIK; CRISTIAN 1996).

A simulação permite testar e analisar como os cenários de diferentes condições meteorológicas, topográficas e de combustível irão influenciar no comportamento do fogo, auxiliando o gestor a estabelecer tratamentos de combustível necessários para a prevenção (STRATTON, 2008). A integração de simulações e modificações de combustível em escala de paisagem, tais como o uso do fogo em queimas controladas, apresenta resultados satisfatórios na redução da possibilidade de ocorrência de incêndios (FINNEY, 2001).

Neste contexto, diversos estudos têm apontado o uso de simuladores do comportamento do fogo como uma metodologia eficiente para obtenção da probabilidade e da severidade do incêndio em função de diferentes condições ambientais e de classes de combustíveis tais como Stratton (2004), Finney (2005), Ager et al. (2007), Arca et al. (2007), Finney (2007), Carmel et al. (2009), Noonan-Wright et al. (2013), White et al. (2013a), Salis et al. (2014) e White et al. (2014).

O conhecimento adquirido com as simulações pode ser aplicado na definição de estratégias e táticas de prevenção e combate, no planejamento da paisagem, na estimativa dos efeitos ecológicos dos incêndios, na concepção do tratamento de combustível que alteram o comportamento do fogo (TAYLOR et al., 1997; KALABOKIDIS, 2004; AGER; VAILLANT; FINNEY 2011; NOONAN-WRIGHT et al., 2011; MILLER; AGER, 2013), na previsão, identificação e definição espacial de áreas de alto risco e no planejamento das ações necessárias como parte de um sistema de governança de risco de incêndio (FINNEY, 2004).

De acordo com Kalabokidis et al. (2014), o desenvolvimento de sistemas operacionais de gestão do fogo, que integrem o comportamento do fogo e modelos de risco aos módulos de planejamento de apoio à decisão, desempenha um papel importante nas operações em incêndios florestais, pois as brigadas de combate precisam de sistemas capazes de realizar em tempo hábil e sem atrasos, várias previsões de comportamento do fogo.

A utilização de *softwares* em sistemas de apoio à decisão em operações com incêndio florestal tem sido realizada em diferentes países como Espanha (ALONSO-BETANZOS et al., 2003), França (FIGUERAS JOVÉ et al., 2014), Grécia (KALABOKIDIS et al., 2013),

Itália (LOSSO et al., 2012), Turquia (GUMUSAY; SAHIN, 2009) e EUA (NOONAN-WRIGHT et al., 2011). Porém a maioria dos sistemas de simulação foi desenvolvida com o objetivo de prever o comportamento do fogo nos parques naturais dos EUA (FINNEY, 1994).

Os *softwares* de predição do comportamento do fogo mais utilizados na literatura são o *FARSITE* (FINNEY, 2004), o *FlamMap* (FINNEY, 2006) e o *BehavePlus Fire Modeling System* (ANDREWS; BEVINS; SELI, 2003), que apresentam como resultados valores da velocidade de propagação do fogo, comprimento das chamas, intensidade da linha do fogo, energia calorífica, dentre outros (WHITE et al., 2013a; KALABOKIDIS et al., 2015).

2.4.1 *BehavePlus*

O *BehavePlus Fire Modeling System* ou simplesmente *BehavePlus* (ANDREWS et al., 2003) é uma versão do *BEHAVE: fire behavior prediction system* (BURGAN; ROTHERMEL, 1984; ANDREWS, 1986) e utiliza os modelos de Rothermel (1972) e da taxa de transição para incêndio de copa de Van Wagner (1977), em conjunto com outros modelos matemáticos, para gerar uma ferramenta moderna de representação da realidade do incêndio (ANDREWS, 2008).

Velez (2000) menciona o *BEHAVE* e ressalta a importância deste em construir os modelos de comportamento do fogo mediante a caracterização dos combustíveis florestais. Finney (2004) ressalta que o programa aplica modelos de comportamento do fogo para um dado ponto no chão ou numa dimensão.

Segundo Mérida (2010), o *BehavePlus* apresenta relativa facilidade de uso, não tem referência espacial, apresenta condições homogêneas para combustível, tempo atmosférico e topografia. Desta forma, quando o fogo avança de um tipo de vegetação para outro, ocorre alteração do tipo do material combustível, da umidade, inclinação do relevo e a velocidade do vento (ANDREWS, 1986). Na base de dados do *BehavePlus* existem 56 modelos padrões de material combustível superficial descritos por Scott e Burgan (2005) e sua última versão (5.0) foi lançada em 2009 (ANDREWS, 2009).

A capacidade do *BehavePlus* em modelar o comportamento do fogo está agrupada em módulos (Tabela 1) que descrevem um aspecto específico do fogo (ANDREWS; QUEEN, 2001).

Tabela 1. Cálculos realizados pelo *BehavePlus* de acordo com o módulo.

MÓDULO	CÁLCULOS
<i>SURFACE</i> (SUPERFICIAL)	<ul style="list-style-type: none"> · Velocidade de propagação do fogo superficial. · Intensidade da linha do fogo e comprimento das chamas. · Intensidade de reação e energia calorífica por unidade de área · Valores intermediários: fonte de calor, característica da umidade do material combustível morto, taxa de compactação, etc. · Padrões, customizados e casos especiais de modelos do material combustível. · Fator de ajuste da velocidade do vento
<i>CROWN</i> (COPA)	<ul style="list-style-type: none"> · Transição de incêndio superficial para incêndio de copa. · Velocidade de propagação do incêndio de copa. · Área e perímetro. · Tipo de incêndio de copa.
<i>SAFETY</i> (SEGURANÇA)	<ul style="list-style-type: none"> · Tamanho da área segura baseada no comprimento das chamas. · Área, perímetro e distância segura.
<i>SIZE</i> (TAMANHO)	<ul style="list-style-type: none"> · Modelo elíptico. · Área, perímetro e forma do incêndio.
<i>CONTAIN</i> (CONTROLE)	<ul style="list-style-type: none"> · Sucesso do controle do fogo através de um único ou múltiplos recursos com base no tempo de resposta, tipo de ataque ao fogo e duração dos recursos. · Área e perímetro da área consumida pelo fogo e tamanho do fogo durante o ataque inicial.
<i>SPOT</i> (PONTO)	<ul style="list-style-type: none"> · Distância máxima para ocorrência de novas ignições a partir de fagulhas carregadas pelo vento (<i>spotting</i>). Focos secundários.
<i>MORTALITY</i> (MORTALIDADE)	<ul style="list-style-type: none"> · Probabilidade de mortalidade da planta com base na espessura da casca e na altura de crestamento.
<i>IGNITE</i> (IGNIÇÃO)	<ul style="list-style-type: none"> · Probabilidade de ignição através de faíscas ou raios.

Fonte: Andrews (2008).

O *BehavePlus* fornece modelagens do comportamento de fogo (como taxa de propagação e distância de segurança), efeitos de fogo (como altura de crestamento e mortalidade de árvores) e do ambiente (como fator de umidade do combustível e ajuste de vento). A entrada é realizada diretamente pelo utilizador e os resultados são expressos em valores numéricos, gráficos e diagramas. Cada rotina de cálculo baseia-se no pressuposto de que as condições são uniformes e constantes para o período de projeção (ANDREWS, 2007).

As variáveis da vegetação predominantes são definidas com base nos quatro principais grupos, com suas respectivas cargas e divididos nas classes “*timelag*” de 1-h, 10-h, 100-h, herbáceo e vegetação, subdivididos nas classes de diâmetro dos combustíveis e proporção entre combustíveis verdes (vivos) e secos (mortos), altura da serrapilheira, densidade das partículas, conteúdo mineral, relação superfície-volume e altura média da vegetação de sub-bosque (BURGAN; ROTHERMEL, 1984), além da umidade de extinção e composição química dos combustíveis florestais (ANDERSON, 1982). A Figura 2 apresenta uma visão geral do programa.

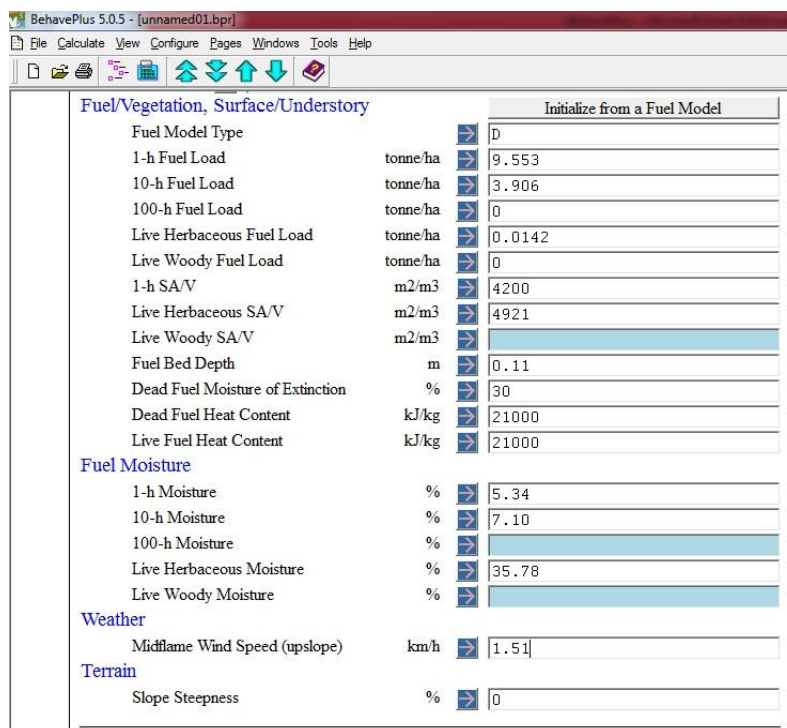


Figura 2. Visão geral do *BehavePlus*.

As variáveis de entrada (*inputs*) necessárias para simular o comportamento do fogo após opção por modelos customizados estão descritas na Tabela 2. As variáveis de saída selecionadas no *BehavePlus* são apresentadas em uma janela única (*Page 3*), enquanto que, para retornar às variáveis de entradas, clica-se no *link* com uma seta azul até retornar a “*Page 1*”. Nos resultados está presente o dia da semana, mês, data, ano e hora em que foi realizada a simulação (Figura 3).

O *BehavePlus* é um *software* muito utilizado por gestores do fogo em países como Estados Unidos, Canadá e Austrália (ANDREWS et al., 2005; ANDREWS, 2010). No Brasil foi utilizado para avaliar o potencial do dano pelo fogo em vegetação de cerrado (MISTRY; BERARDI, 2005), na definição de parâmetros do comportamento do fogo em áreas de cerrado e floresta (HOFFMANN et al., 2012), para simular o comportamento do fogo no Parque Nacional Serra de Itabaiana (WHITE et al., 2013a) e por White et al (2014) na simulação do comportamento do fogo em plantios de *Eucaliptus urograndis* em diferentes cenários de umidade do combustível. No entanto, estes autores não realizaram queimas experimentais para validarem seus resultados.

Apesar de alguns estudos com simulações realizadas com o *BehavePlus* como os de Wagtendonk e Botti (1984), Hough e Albine (1978) e Glitzenstein et al. (2006), terem apresentado resultados positivos nas validações, outros autores como Fernandes (2002),

Stephens et al. (2008) e Fernandes (2009), não encontraram resultados satisfatórios que indicassem a utilização do *BehavePlus* para prever o comportamento do fogo.

Tabela 2. Relação das variáveis de entrada necessárias para simular o comportamento da frente do fogo em um incêndio florestal superficial utilizando o *BehavePlus* (Andrews, 2009).

Variáveis de Caracterização	Variáveis de Entrada (Inputs)
material combustível superficial	Modelo do material combustível
	Tipo do modelo do material combustível
	Carga do material combustível de 1-h de <i>timelag</i> ($t \cdot ha^{-1}$) – MS1
	Carga do material combustível de 10-h de <i>timelag</i> ($t \cdot ha^{-1}$) – MS2
	Carga do material combustível de 100-h de <i>timelag</i> ($t \cdot ha^{-1}$) – MS3
	Carga do material vivo herbáceo ($t \cdot ha^{-1}$) – MH
	Carga do material vivo lenhoso ($t \cdot ha^{-1}$) – ML
	Área superficial pelo volume do material de 1-h de <i>timelag</i> ($m^2 \cdot m^{-3}$)
	Área superficial pelo volume do material vivo herbáceo ($m^2 \cdot m^{-3}$)
	Área superficial pelo volume do material vivo lenhoso ($m^2 \cdot m^{-3}$)
	Altura da serrapilheira (m)
	Umidade de extinção do material combustível morto (%)
	Energia calorífica do material combustível morto ($kJ \cdot kg^{-1}$)
	Energia calorífica do material combustível vivo ($kJ \cdot kg^{-1}$)
	Umidade do material combustível de 1-h de <i>timelag</i> (%) – MS1
	Umidade do material combustível de 10-h de <i>timelag</i> (%) – MS2
	Umidade do material combustível de 100-h de <i>timelag</i> (%) – MS3
Umidade do material vivo herbáceo (%) – MH	
Umidade do material vivo lenhoso (%) – ML	
clima	Velocidade do vento a 1,8m de altura ($Km \cdot h^{-1}$)
relevo	Declividade do terreno (%)

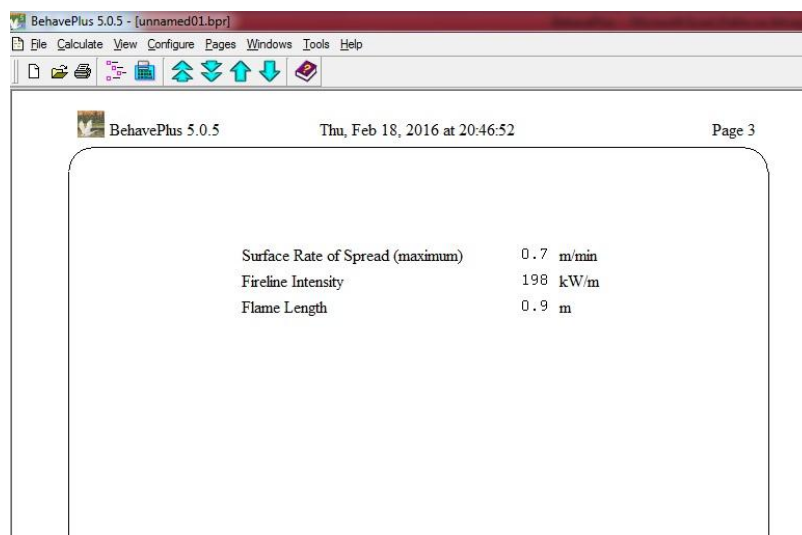


Figura 3. Visão geral das respostas no *BehavePlus*

2.4.2 *Eucalyptus Fire Safety System*

White (2014) desenvolveu o *software Eucalyptus Fire Safty System (EFSS)*, para ser utilizado em plantios de eucalipto no Brasil, sendo que a principal motivação para proposição

de um novo programa justificou-se no fato de não ter encontrado resultados satisfatórios nas validações de simulações do comportamento do fogo com o *BehavePlus*, com resultados de queimas experimentais em laboratório utilizando materiais da serrapilheira de *Eucalyptus* spp. A Figura 4 apresenta a visão geral do *software* e o procedimento necessário para iniciar as análises das variáveis do comportamento do fogo. As variáveis de entrada necessárias estão descritas na Tabela 3.

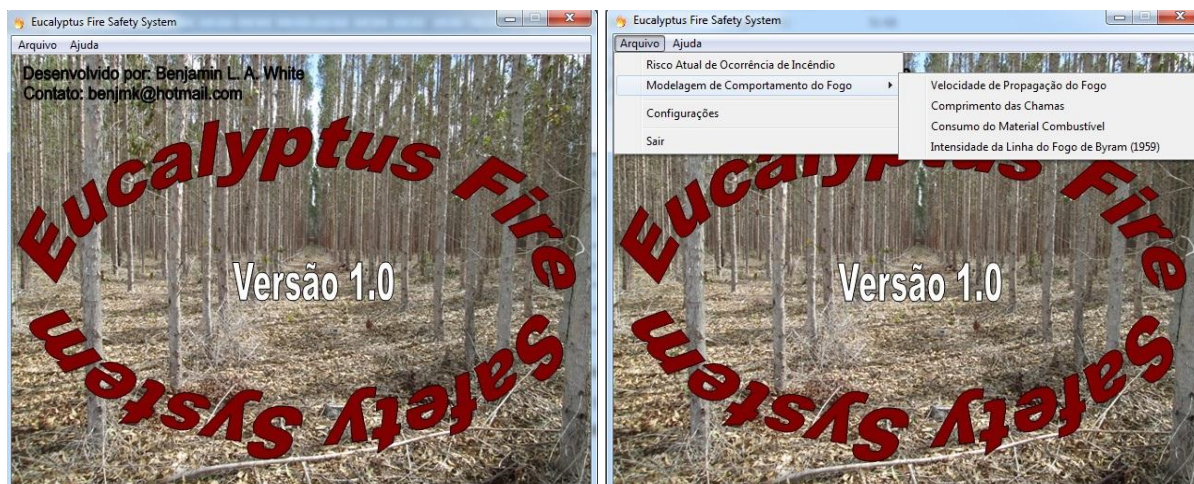


Figura 4. Visão geral de entrada no *Eucalyptus Fire Safety System*.

Tabela 3. Relação das variáveis de entrada necessárias para simular o comportamento do fogo em plantios de eucalipto utilizando o *EFSS*

Descrição	Variáveis de Entrada (Inputs)
Variáveis de caracterização do material combustível superficial	Carga do material combustível de 1-h de <i>timelag</i> ($t \cdot ha^{-1}$) – MS1 Carga total do material combustível morto ($t \cdot ha^{-1}$) Espessura do Leito (m) – Altura da Serrapilheira
Variáveis de caracterização do teor de umidade do combustível superficial	Umidade do material combustível de 1-h de <i>timelag</i> (%) – MS1
Variável de caracterização do clima	Velocidade do vento a 1,8m de altura ($Km \cdot h^{-1}$)
Variável de caracterização do relevo	Declividade do terreno (%)

Fonte: (WHITE, 2014).

As variáveis de saída de análise do comportamento do fogo são: velocidade de propagação do fogo, comprimento da chama e porcentagem de material consumido, cujas variáveis são obtidas pelas equações propostas por White (2014) e a intensidade da linha do fogo é calculada pela fórmula de Byram (1959). A Figura 5 apresenta uma visão geral das repostas obtidas no programa.

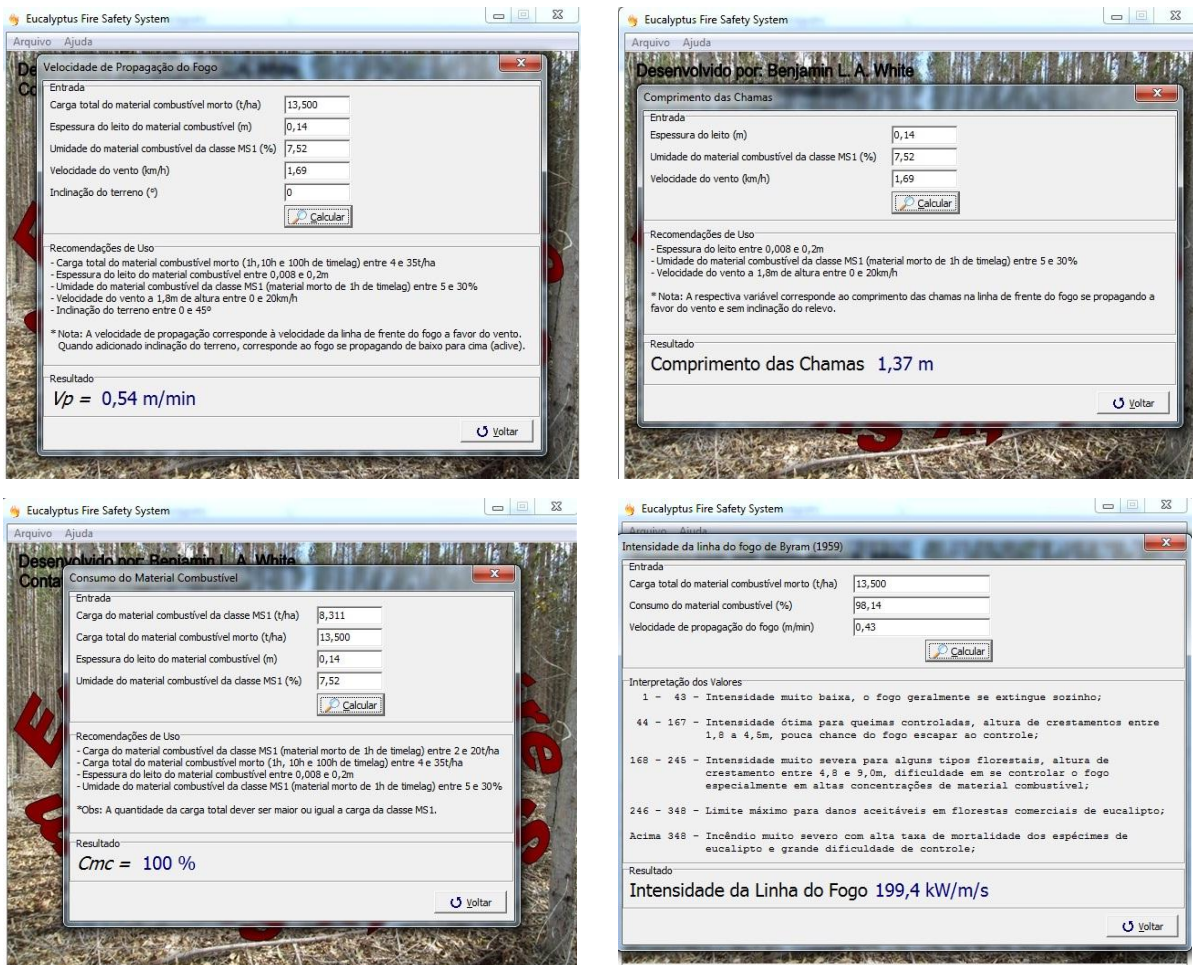


Figura 5. Visão geral das respostas no EFSS.

Além dessas variáveis o programa oferece o cálculo do perigo atual do fogo, que é um índice para prever a probabilidade de um incêndio florestal ocorrer.

REFERÊNCIAS

AGEE, J. K. The influence of forest structure on fire behavior. In: 17th Forest Vegetation Management Conference. 1996. **Anais...** College of Forest Resources, University of Washington, Seattle, Washington, p. 25 - 68

AGER A.A.; FINNEY, M.A.; KERNS, B.K.; MAFFEI H. Modeling wildfire risk to northern spotted owl (*Strix occidentalis caurina*) habitat in Central Oregon, USA. **Forest Ecology and Management** v. 2007, n. 246, p. 45–56. 2007.

AGER, A. A.; VAILLANT, N. M.; FINNEY, M. A. Integrating fire behavior models and geospatial analysis for wildland fire risk assessment and fuel management planning. **Journal of Combustion**, v. 2011. 19 p.

ALBRIGHT, D.; MEISNER, B., Classification of fire simulation systems. Fire Management Notes, v. 59, n. 2, pp. 5-12. 1999.

ALEXANDER, M.E. 1982. Calculating and interpreting forest fire intensities. **Canadian Journal of Botanic.** 60: 349-357.

ALEXANDER, M.E. 2000. **Fire behaviour as a factor in forest and rural fire suppression.** Forest Research, Rotorua, in association with the National Rural Fire Authority, Wellington. Forest Research Bulletin n° 197, Forest and Rural Fire Scientific and Technical Series, Report n° 5. 30 p.

ALONSO-BETANZOS, A.; FONTENLA-ROMERO, O.; GUIJARRO-BERDIÑAS, B.; HERNÁNDEZ-PEREIRA, E.; INMACULADA, M. A. p.; JIMÉNEZ, E., SOTO, J. L. L.; CARBALLAS, T. An intelligent system for forest fire risk prediction and fire fighting management in Galicia, **Expert System Applications**, v. 25, p. 545–554, 2003.

ALVES, M. V. G.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; KOEHLER, H. S.; PEREIRA, J. F. Modelagem de material combustível baseada em variáveis meteorológicas. FUPEF. **Floresta**, 39 (1): 167 - 174 Curitiba, 2009.

ANDREWS, P. L. **BEHAVE:** Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System. USDA Forest Service, Ogden, 1986. 110 p. (General Technical Report INT-194)

ANDREWS, P. L. **BehavePlus fire modeling system, version 4.0:** Variables. USDA Forest Service, Ogden, 2008. 108 p. (General Technical Report RMRS-GTR- 13WWW).

ANDREWS, P. L. **BehavePlus fire modeling system, version 5.0:** Variables. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, 2009. 124 p. (General Technical Report RMRS-GTR-213WWW Revised)

ANDREWS, P. L. BehavePlus fire modeling system: past, present, and future. In Symposium on Fire and Forest Meteorology, 7., 2007, Boston, **Proceedings...** Boston: American Meteorological Society. 2007.

ANDREWS, P. L. BehavePlus fire modeling system: past, present, and future. In: Symposium on Fire and Forest Meteorology, 7., 2007, **Proceedings...** 2007, Boston: American Meteorological Society.

ANDREWS, P. L. Do you Behave? - Application of the BehavePlus Fire Modeling System. In: 3rd Fire Behavior and Fuels Conference. **Proceedings...** Spokane, 2010. 17 p.

ANDREWS, P. L.; BEVINS, C. D.; SELI, R. C. **BehavePlus Fire Modeling System Version 2.0 User's Guide.** USDA Forest Service, Ogden, 2003. 133 p. (General Technical Report RMRS-GTR-106WWW).

ANDREWS, P. L.; BEVINS, C. D.; SELI, R. C. **BehavePlus Fire Modeling System Version 2.0 User's Guide.** USDA Forest Service, Ogden, 2003. 133 p. (General Technical Report RMRS-GTR-106WWW).

ANDREWS, P. L.; BEVINS, C. D.; SELI, R. C. **BehavePlus fire modeling system, version 4.0**: User's Guide. Ogden: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2005. 132 p. (General Technical Report RMRS-GTR-106WWW Revised).

ANDREWS, P. L.; QUEEN, L. P. Fire modeling and information system technology. **International Journal of Wildland Fire**, v. 10, p. 343-352, 2001.

ARCA, B.; DUCE, P.; LACONI, M.; PELLIZZARO, G.; SALIS, M.; SPANO, D.; Evaluation of FARSITE simulator in Mediterranean maquis. **International Journal of Wildland Fire** v. 16, p. 563–572, 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário estatístico da ABRAF 2013 - ano base 2012. Brasília, 2013. 148p

BATISTA, A. C. Condições climáticas e incêndios. In: BATISTA, A. C. (Org.) **Incêndios florestais**. Recife: UFRPE, 1990. p.

BATISTA, A.C. **Avaliação da queima controlada em plantios de Pinus taeda L. no norte do Paraná**. Curitiba: UFPr, 1995. 108p. (Tese Doutorado em Engenharia Florestal).

BERJAK, S. G.; HEARNE, J. W. An improved cellular automaton model for simulating fire in a spatially heterogeneous Savanna system. **Review Elsevier Ecological Modelling**, 2002. 133-151.

BEUTLING, A. **Caracterização para modelagem de material combustível superficial em reflorestamento de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze**. 2005. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BEUTLING, A. **Combustíveis Florestais**. In: SOARES, R.V; BATISTA, A.C.; NUNES, J. R. S. (Ed.) **Incêndios Florestais no Brasil: o estado da arte**. Curitiba: UFPR, 2009, 246p.

BICKFORD, C.A.; NEWCOMB, L.S. Prescribed Burning in the Florida Flatwoods. **Fire Management Today**, v.66, n. 1, p.21-25, Winter, 2006

BIDWELL, T. G.; ENGLE, D. M. Behavior of headfires and backfires on tallgrass prairie. In: International Symposium fire and environment: Ecological and cultural perspectives. **Proceedings...** Asheville: USDA Forest Service, p. 344-350, 1991.

BOTELHO, H. S.; VENTURA, J. Modelos de comportamento do fogo. In: REGO, F. C.; BOTELHO, H. S. (Eds.) **A técnica do fogo controlado**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, p. 49-55, 1990.

BROWN, A. A.; DAVIS, K. P. **Forest fire: control and use**. New York, McGraw-Hill, 2^o Ed., 1973. 686 p.

BROWN, J. K.; OBERHEW, R. D.; JOHNSTON, C. M. **Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West**. Ogden, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1982. 48p. (General Technical Report INT-129).

BURESTI, E.; SULLI, M. **Il fuoco, strumento culturale?** Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura. Arezzo XVI: 355-385. 1983.

BURGAN, R. E.; ROTHERMEL, R.C. **BEHAVE**: fire behavior prediction and fuel modeling system – fuel subsystem. Odgen, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1984. 126p. (General Technical Report INT-167).

BURROWS, N. D. Fire behaviour in jarrah forest fuels: Field experiments. **CALMScience**. 3 (1): 57-84. 1999.

BUTLER, B.W.; COHEN, J.D. 1998. Firefighter safety zones: a theoretical model based on radiative heating. **International Journal of Wildland Fire**, v. 8, n. 2, p. 73-77.

BYRAM, G. B. **An analysis of the drying process in forest fuel material**. USDA Forest Service, Southern Forest Fire Laboratory, Macon, 1963. (Unpublished report).

CABALLERO, D. Effect of random wind vectors in the final shape of fire spread simulation. In: Internacional Conference on Forest Fire Research, 5., 2006 Coimbra. **Proceedings...**Coimbra: ADAI 2006.

CANADIAN INTERAGENCY FOREST FIRE CENTRE – CIFFC. **Glossary Of Forest Fire Management Terms**. 2002. 47 pag.

CARVALHO, P. A. C. F. **Modelação do risco de incêndio florestal com redes neurais artificiais: aplicação ao Parque Natural de Montesinho**. 180p. Dissertação (Mestrado em ciências e sistemas de informações geográficas) Instituto Superior de Estatística e Gestão da informação da Universidade Nova de Lisboa , Portugal, 2005.

CHENEY, N.P., Fire behaviour, in: Gill, A.M., Groves, R.H., Noble, I.R. (Eds.), **Fire and the Australian Biota**. Australian Academy of Science, Canberra, 1981, p. 101-127.

COCHRANE, M. Fire, land use, land cover dynamics, and climate change in the Brazilian Amazon. In: Cochrane, M.A (Ed). **Tropical fire ecology: climate change, land use and ecosystem dynamics**. Springer Praxis Books, Heidelberg, Germany. 2009, p. 389-426.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAIBA. **Apostila do curso técnicas de prevenção e combate aos incêndios florestais**. Curitiba: FUPEF. 2010. 51p

CONTRERAS, I. E.; CERVANTES, E. R. A. Evaluación de combustibles forestales en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. Ecología y biodiversidad, claves de la prevención. Evaluación de combustibles forestales. **Wildfire**, Sevilha, p. 1 - 17, 2007.

COUTO, E.A.; CANDIDO, J.F. **Incêndios Florestais**. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 1980. 101p.

CRUZ, M. G.; ALEXANDER, M. E. Assessing crown fire potential in coniferous forest of western North America: a critique of current approaches and recent simulation studies. **International Journal of Wildland Fire**, v. 19, n. 3 p. 377-398, 2010.

DEEMING, J. E.; BURGAN, R. E.; COHEN, J. D. **The National Fire-Danger Rating System--1978**. Washington: USDA Forest Service, 1977. (General Technical Report INT-39).

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MATO GROSSO. Diagnóstico de Florestas Plantadas do Estado de Mato. Cuiabá: 2013. 106p.

FERNANDES, P. A. M. **Desenvolvimento de relações preditivas para uso no planeamento de fogo controlado em plantios de *Pinus pinaster* Ait.** 2002. 285 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Ciências Florestais) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2002.

FERNANDES, P. A. M. Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 144, p. 67-74, 2001.

FERNANDES, P. A. M.; LOUREIRO, C. Fine fuels consumption and CO2 emissions from surface fire experiments in maritime pine stands in northern Portugal. **Forest Ecology and Management**, v. 291, p. 344-356, 2013.

FERNANDES, P. M; CRUZ, M. G. **Plant flammability experiments offer limited insight into vegetation–fire dynamics interactions.** Centro de Investigação e Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas (CITAB), Departamento de Ciências Florestais e Arquitetura Paisagista, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, v. 194 p. 606 – 609. Portugal, 2012.

FERNANDES, P., 2009. Combining forest structure data and fuel modelling to classify fire hazard in Portugal. **Annals of Forest Science** v 66, n. 1, p. 1-9.

FERNANDES, P.; BOTELHO, H.; LOUREIRO, C. **Manual de formação para a técnica do fogo controlado.** Vila Real: UTAD, 2002. 144 p

FERNANDES, P.; LOUREIRO, C. **Handbook to plan and use prescribed burning in Europe.** Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real-Portugal, 2010. 37 p. (Project Fire Paradox).

FERNANDES, P.; LUZ, A.; LOUREIRO, C. Changes in wildfire severity from maritime pine woodland to contiguous forest types in the mountains of northwestern Portugal. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n.3 883-892. 2010.

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J. A.; FONTURBEL, T. Shrub resprouting response after fuel reduction treatments: comparison of prescribed burning, clearing and mastication. **Journal of Environmental Management**, v. 117, p. 235 - 241, 2013.

FERRER, E. P. **Contribució a L'estudi dels Efectes dels Retardants em L'extinció D'incêndis Forestals.** Memoria de Tesi Doctoral. Univertitat Politècnica de Catalunya. 2004. 304p.

FIGUERAS J. J.; FONSECA, P. C.; GUASCH, A. P.; CASANOVAS, J.: **FIREFIGHT: A Decision Support System for Forest Fire Containment**, in: Improving Disaster Resilience and Mitigation – IT Means and Tools, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, edited by: Teodorescu, H.-N., Kirschenbaum, A., Cojocaru, S., and Bruderlein, C., Springer Netherlands, 293–305, 2014

FINNEY, M. A. Design of regular landscape fuel treatment patterns for modifying fire growth and behavior. **Forest Science**, v. 47, p. 219–228. 2001.

FINNEY, M. A. A computational method for optimising fuel treatment locations. **International Journal of Wildland Fire**, v.16, p. 702–711, 2007

FINNEY, M. A. The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. **Forest Ecology and Management**, v. 211, p. 97-108, 2005.

FINNEY, M.A. ‘An overview of FlamMap fire modeling capabilities.’ In ‘Fuels management—how to measure success.’ USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station Proceedings RMRS-P-41, (Eds Andrews PL, Butler BW comps. 2006) pp. 213-220. (Fort Collins, CO) 2006

FREITAS, S. R. F.; LONGO, K.M.; SILVA-DIAS M. A. F.; SILVA-DIAS, P. L. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**. 19 (53), 2005 167-185

GLITZENSTEIN, J. S. Fuels and fire behavior in chipped and unchipped plots: Implications for land management near the wildland/urban interface. **Forest Ecology and Management**, v. 236, n.1, p. 18-29, 2006.

GONZÁLEZ, A. D. R. **La Predicción de La Humedad en Los Restos Forestales Combustibles; Aplicación a Masas Arboladas en Galicia**. 370 f. Tese (Doutorado) - Universidad Politécnica de Madrid - Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, 2004.

GOULD, H; TOBOCHNIK, J; CHRISTIAN, W. **An introduction to computer simulating methods: applications to physical systems**. 3ª Ed. EUA: Addison-Wesley Publishing, 2007.

GOULD, J. S.; MCCAWE, W. L.; CHENEY, N. P.; ELLIS, P. F.; KNIGHT, I. K.; SULLIVAN, A. L. **Project Vesta-Fire in Dry Eucalypt Forest: Fuel Structure, Fuel Dynamics and Fire Behaviour**. Ensis-CSIRO, Canberra ACT, and Department of Environment and Conservation. Perth, WA, 2007, 218 p.

GOVERNO FEDERAL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 – Código Florestal Brasileiro.

GUMUSAY, M. U.; SAHIN, K. Visualization of forest fires interactively on the internet, **Scient. Res. Essay**, v. 4, 1163–1174, 2009.

HARDESTY, J.; MYERS, R.; FULKS, W. Fire, ecosystems and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. In: The George Wright Forum, 22, 78-87, 2005.

HOFFMANN, W. A.; JACONIS, S. Y.; MCKINLEY, K. L.; GEIGER, E. L.; GOTSCH, S. G.; FRANCO, A. C. Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna–forest boundaries. **Austral Ecology**, v. 37, n. 6, p. 634-643, 2012.

HOUGH, W. A.; ALBINI, F. A. **Predicting Fire Behavior in Palmetto-Gallberry Fuel Complexes**. USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, North Carolina, 1978. 44 p.

KALABOKIDIS, K. Automated forest fire and flood hazard protection system. Disaster management: linking people and the environment, **Geoinformatics**, v.7, p.14–17, 2004.

KALABOKIDIS, K., N. ATHANASIS, C. VASILAKOS, P. PALAIOLOGOU. 2014. Porting of a wildfire risk and fire spread application into a cloud computing environment. **International Journal of Geographical Information Science**, v.28, n. 3, 541-552.

KALABOKIDIS, K., PALAIOLOGOU, P., GERASOPOULOS, E., GIANNAKOPOULOS, C., KOSTOPOULOU, E., AND ZEREFOS, C.: Effect of Climate Change Projections on Forest Fire Behavior and Values-at-Risk 15 in Southwestern Greece, **Forests**, v.6, 2214–2240, 2015.

KALABOKIDIS, K.; PALAIOLOGOU, P.; FINNEY, M. 2013. Fire Behavior Simulation in Mediterranean Forests Using the Minimum Travel Time Algorithm. Proceedings of 4th Fire Behavior and Fuels Conference, July 1 – 4, 2013, St. Petersburg, Russia Published by the International Association of Wildland Fire, Missoula, Montana, USA. P. 468-492.

KNAPP, E. E.; ESTES, B. L.; SKINNER, C. N. 2009. **Ecological effects of prescribed fire season: a literature review and synthesis for managers**. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-224. Albany, CA: USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 80 p.

LENTILE, L. B.; HOLDEN, Z.A.; SMITH, A. M. S. FALKOWSKI, M. J.; HUDAK, A. T.; MORGAN, P.; LEWIS, S.; GESSLER, P. E. BENSON, N. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**, v.15, p.319-345, 2006.

LOSSO, A.; CORGNATI, L.; BERTOLDO, S.; ALLEGRETTI, M.; NOTARPIETRO, R.; PERONA, G. SIRIO: an integrated forest fire monitoring, detection and decision support system—performance and results of the installation in Sanremo (Italy), in: **Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires III**, edited by: Perona, G. and Brebbia, C. A., WIT Transactions on Ecology and The Environment, Southampton, UK, 79–90, 2012.

MARSDEN-SMEDLEY J.B; L. J. SHERRIFF. 2014. Planned burning manual - guidelines to enable safe and effective planned burning on private land. NRM North, Launceston TAS 40p.

MARSDEN-SMEDLEY, J.B. (2009). **Planned burning in Tasmania: operational guidelines and review of current knowledge**. Fire Management Section, Parks and Wildlife Service, Department of Primary Industries, Parks, Water and the Environment, Hobart, Tasmania. 100p.

MARSDEN-SMEDLEY, J.B.; CATCHPOLE, W.R. (1995a). Fire modelling in Tasmanian buttongrass moorlands I. Fuel characteristics. **International Journal of Wildland Fire**. v. 5, p. 203-214.

MARSDEN-SMEDLEY, J.B.; CATCHPOLE, W.R. (1995b). Fire modelling in Tasmanian buttongrass moorlands II. Fire behaviour. **International Journal of Wildland Fire** v. 5, p. 215-228.

MARTIN, R. E.; COOPER, R. W.; CROW, A. B.; CUMING, J. A.; PHILLIPS, C. B. Report of task force on prescribed burning. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 75, n. 5, p. 297-301, 1977.

McARTHUR, A. G. **Control burning in eucalypt forest**. Canberra: Commonwealth of Australia Forestry and Timber Bureau, 1962. 31 p.

- MERRILL, D.F.; ALEXANDER, M.E., eds. **Glossary of forest fire management terms**. Fourth edition. Pub. NRCC No. 26516. Ottawa, Ontario: National Research Council Canada, Canadian Committee on Forest Fire Management. 1987. 47 pag.
- MILLER, C.; AGER, A. A. A review of recent advances in risk analysis for wildfire management, **International Journal of Wildland Fire**, v.22, p. 1–14, 2013.
- MISTRY, J.; BERARDI, A. Assessing fire potential in a Brazilian Savanna Nature Reserve1. **Biotropica**, v. 37, n. 3, p. 439-451, 2005.
- MORANDINI, F; SILVANI, N. V; ROSSI, L; SANTONI, P. A; SIMEONI, A; BALBI, J. H; ROSSI, J. L; MARCELLI, T. Fire spread experiment across Mediterranean shrub: Influence of wind on flame front properties. In: **Fire Safety Journal**. v. 41, p. 229 – 235, 2006
- MORFIN-RÍOS, J. E; JARDEL, P. E. J; ALVARADO, C; MICHEL-FUENTES, J. M. **Caracterización y cuantificación de combustibles forestales**. Comisión Nacional Forestal-Universidad de Guadalajara, Primera edición, Guadalajara, Jalisco, México.112p, 2012.
- MORITZ, M.A., KEELEY, J.E., Johnson, E.A., SCHAFFNER, A.A., 2004. Testing a basic assumption of shrubland fire management: how important is fuel age? **Frontiers in Ecology and the Environment** v. 2, p. 67–72.
- MOTA, F. C. M. **Análise da cadeia produtiva do carvão vegetal oriundo de *Eucalyptus sp.* no Brasil**. 2013. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- MURARO, S. J. **The Prescribed Fire Predictor**. Victoria: British Columbia. Canadian Forestry Service, Pacific Forest Research Centre. 1975, 45 pag.
- Myers, R. L. 2006. Living with fire: sustaining ecosystems and livelihoods through integrated fire management. The Nature Conservancy, Arlington, VA, USA
- NILTON, C. F.; MERLO, D. A.; MEDEIROS, M. B. de. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 153-161, 2006.
- NOONAN-WRIGHT, E.K., N.M. VAILLANT, AND A.L. REINER. The effectiveness and limitations of fuel modeling using the Fire and Fuels Extension to the Forest Vegetation Simulator. **Forest Science**. v.60, n. 2, p.231–240. 2013
- NWCG. **Glossary of Wildland Fire Terminology**. PMS-27. National Wildfire Coordinating Group 2008. 186 pag
- NWCG. **Incidente Response Pocket Guide**. PMS-461. National Wildfire Coordinating Group 2014. 110 pag
- PAIXÃO, L. G. M. A. 2014. 87 f. **Simulação de Comportamento de Fogo Em Zonas Florestais No Alentejo Central: comparação de modelos de combustível**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistema de Informação Geográfica) – Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.
- PYNE, S. J. **Wildland fire – Fire management in the united states**. New York: Wiley &

Sons, 769 p, 1984.

PYNE, S.J.; ANDREWS, P.L.; LAVEN, R.D. 1996. **Introduction to wildland fire**. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, Inc. 769 p.

REGO, F. C.; BOTELHO, H. S. **A técnica do fogo controlado**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 1990. 124 p.

RIBEIRO, G. A. A queima controlada no manejo da terra. In: SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. (Eds.) **Incêndios florestais no Brasil: o estado da arte**. Curitiba, p. 1-20, 2009.

ROTHERMEL, R. C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels**. Ogden: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1972. 40 p.

ROUSSOPOULOS, P. J.; JOHNSON, V. J. **Help in making fuel management decisions**. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Minnesota, 1975. 16 p.

RUIZ A.D. **La predicción de la humedad en los restos forestales combustibles; aplicación a masas arboladas en Galicia**. 2004, 440f. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Madrid. 2004

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 93 - 100, 2006.

SCHROEDER, M. J.; BUCK, C. C. **Fire weather**. USDA Forest Service, Agriculture Handbook 360. 229 p. 1970.

SCOTT, J. H. **Introduction to Wildfire Behavior Modeling**. USDA Forest Service, National Interagency Fuels, Fire, & Vegetation Technology Transfer, 2012. 149 p.

SCOTT, J. H.; BURGAN, R. E. **Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model**. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, 2005. 72 p. (General Technical Report RMRS-GTR-153).

SCOTT, J. Review and assessment of LANDFIRE canopy fuel mapping procedures. p.1-21. 2008.

SEGER, C. D. BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; SOARES, R. V. Comportamento do Fogo em Queimas Controladas de vegetação de Estepe no Município de Palmeira, Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 4, p. 547 - 558, out. / dez. 2013.

SHLISKY, A. J. WAUGH, P. GONZALEZ, M. MANTA, H. SANTOSO, E. ALVARADO, A. AINUDDIN NURUDDIN, D. A. RODRÍGUEZ-TREJO, R. SWATY, D. SCHMIDT, M. KAUFMANN, R. MYERS, A. ALENCAR, F. KEARNS, D. JOHNSON, J. SMITH, D. ZOLLNER & W. FULKS. 2007. Fire, Ecosystems and People: Threats and Strategies for Global Biodiversity Conservation. **Wildfire-2007**, Sevilla, Espanha. GFI Technical Report 2007. 17 pag

SMITH, R.; LAMONT, D. **Kimberley Bush Fire Burning Guidelines and Firebreak Location, Construction and Maintenance Guidelines**. Fire & Emergency Services Authority of Western Australia, Perth, 2007. 56 p.

SOARES, R. V. **Incêndios Florestais: controle e uso do fogo**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1985. 213 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: FUPEF, 2007. 264 p.

SOUZA, L. J. B. **Secagem de material combustível em plantações de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden**. Curitiba, 2000. 127 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

STEPHENS, S. L.; WEISE, D. R.; FRY, D. L.; KEIFFER, R. J.; DAWSON, J.; KOO, E.; POTTS, J.; PAGNI, P. J. Measuring the Rate of Spread of Chaparral Prescribed Fires in Northern California. **Fire Ecology**, v. 4, n. 1, p. 74-86, 2008.

STOCKS, B.J., LAWSON, B.D. ALEXANDER, M.E. VAN WAGNER, C.E. MCALPINE, R.S. LYNHAM, T.J. e DUBÉ, D.E. The Canadian Forest Fire Danger Rating System: an overview. **Forest. Chron.** v. 65, n.6 p.258-265. 1989.

STRATTON R.D., 2004. “Assessing the effectiveness of landscape fuel treatments on fire growth and behavior”. **Journal of Forestry**, v. 102, p.32- 40

SULLIVAN, A; KNIGHT, I; WEBER, R; FINNIGAN, J. Application of complex systems science to the analysis of bushfires: A scoping study. **CSIRO Forestry and Forest Products Client Report**, n.1393, 50p. 2003.

TAYLOR, S. W.; PIKE, R.; ALEXANDER, M. E. (Eds.): **Field guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System**, Edmonton: Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, 1997.

TOLHURST, K.G.; CHENEY, N.P. **Synopsis of the knowledge used in prescribed burning in Victoria**. Victoria: Fire Management, Melbourne. 1999, 97p.

TORRES, F. T. P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7 n. 18, p. 162 - 171, 2006.

TORRES, F. T. P.; PIERRE, J. U.; RIBEIRO, G. A. Clima e incêndios na cidade de Juiz de Fora (MG). In: IV SIMPOSIO SULAMERICANO SOBRE PREVENÇÃO E COMBATE A INCENDIOS FLORESTAIS E 8º REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF SOBRE CONTROLE DE INCENDIOS FLORESTAIS, 2007, Viçosa, **Anais...** Viçosa: 2007, p.357-371.

VAN WAGNER, C. E. Conditions for the start and spread of crown fires. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 7, p. 23-34, 1977.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: 2006. Versão Digital, 443p.

VEGA, J. A. Investigación sobre control de incendios en España. In: REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF, 4 - CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 2, 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1996, p. 40 - 56.

VEGA, J.A., PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; CUIÑAS, P.; FONTÚRBEL, M.T.; Fernández M.C. 2001. **Manual de queimas prescritas para matogueiras de Galicia**. Galicia: Xunta de Galicia, Centro de Información e Tecnoloxía Ambiental. 230p. 2001

VÉLEZ, Ricardo (Coord.). **La Defensa contra Incêndios Forestales: Fundamentos y Experiencias**. 2ª Ed. McGraw-Hill Interamericana: España. 2009. 864p.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; DRESCHER, R.; SOUZA, H. S.; SILVA, R. S. estratificação hipsométrica em plantios de eucaliptos na região sudeste de mato grosso. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.2, n.03; p. 2015.

VIEGAS, D. X. Modelos do comportamento do fogo. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO SOBRE PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS, 4.; REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA SIF/FUPEF/IPEF SOBRE CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 8., 2007, Viçosa. **Anais...** Viçosa, 2007, p 96-132.

VIEGAS, D. X. Slope and wind effects on fire propagation. **Internacional journal of wildland fire**. v.13, p.143-156. 2004.

WADE, D.D.; LUNSFORD, J.D. **A guide to prescribed fire in Southern forests**. Tech. Pub. R8- TP 11. , 1989.63 pag

WAGTENDONK, J. W. V.; BOTTI, S. J. Modeling Behavior of Prescribed Fires in Yosemite National Park. **Journal of Forestry**, v. 82, n.6, p. 479-484, 1984.

WAKIMOTO, R.H. (1984) Current fire management research in Glacier National Park. **Western Wildlands** v. 10, n.3, p. 20-25.

WELLS, C. G. The Rothermel Fire-Spread Model: Still Running Like a Champ. **Fire Science Digest**, v. 2, p. 1-12, 2008.

WHELAN, R. J. **The Ecology of Fire**. Cambridge University Press, 1998. 346 p.

WHITE, B. L. A. **Modelagem Matemática e Avaliação do Comportamento do fogo em Liteira de Eucalipto**. 2014. 190 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe. 2014.

WHITE, B. L. A. **Modelagem Matemática e Avaliação do Comportamento do fogo em Liteira de Eucalipto**. 2014. 190 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe. 2014.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. O uso do BehavePlus como ferramenta para modelagem do comportamento e efeito do fogo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 73, p. 73-83, 2013a.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. O uso do BehavePlus como ferramenta para modelagem do comportamento e efeito do fogo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 73 - 83, 2013b.

WOTTON, B. M; GOULD, J. S; MCCAWE, W. L; CHENEY, N. P; TAYLOR, S. W. Flame temperature and residence time of fires in dry eucalypt forest. Canadian Forest Service Publications. **International Journal of Wildland Fire**. v. 21 p 270 – 281, 2012.

CAPÍTULO 2 – Artigo 1

COMPORTAMENTO DO FOGO EM QUEIMAS CONTROLADAS EM ÁREA DE *Eucalyptus urograndis* (Clone H13)

RESUMO: Objetivou-se analisar o comportamento do fogo em queimas controladas em plantio de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) com 4,5 anos, em Sorriso-MT. Foram avaliadas as condições de disposição no talhão: interface eucalipto-floresta (EF), interface eucalipto-lavoura (EL) e centro do talhão (EE), ao longo de 5 meses (maio a setembro). As queimas foram realizadas em parcelas de 3 x 20 m, sendo mensurados: tempo de progressão do fogo, comprimento da chama e as variáveis meteorológicas. O material combustível superficial foi amostrado antes e após a queima, em uma área de 1m², com quatro repetições por parcela. A posição EM apresentou maiores valores de material combustível (16,09 t.h⁻¹) e duração da queima (57,6 min), menores valores de velocidade de propagação do fogo (0,37 m.min⁻¹), comprimento da chama (0,67 m), intensidade da linha do fogo (200,4 kW.m⁻¹) e material combustível consumido (92,7%). As posições EL e EE apresentam influências semelhantes nas variáveis que descrevem o comportamento do fogo. Em agosto e setembro ocorreram as maiores quantidades de material combustível, velocidade de propagação, comprimento de chama, decorrentes da menor umidade relativa do ar e tempo de duração da queima. Deste modo, conclui-se que a execução de queimas controladas deve ser preferencialmente entre junho e julho e adotar a sequência das posições EF, EE e EL.
Palavras-chave: plantios florestais, condições ambientais, incêndios florestais.

FIRE BEHAVIOR IN PRESCRIBED BURNING IN *Eucalyptus urograndis* STANDS

ABSTRACT: This study aimed to analyze the behavior of the fire in controlled fires in plantations of *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) that were 4.5 years old in the city of Sorriso-MT. The disposal conditions in the plantation were **evaluated: Eucalyptus-forest interface (EF)**, eucalyptus-crop interface (EL) and the center of the field (EE). During 5 months (from May to September), the fires were carried out in areas of 3 x 20 m. They are measured: the fire time to progression, flame length and weather variables. The surface combustible material was sampled before and after the fires in an area of 1m² with four replications per area. The position EM presented greater amounts of combustible material (16.09 t.ha⁻¹) and duration of fire (57.6 min), lower values of the fire propagation speed (0.37 m min⁻¹), flame length (0.67 m), the intensity of the fire line (200.4 kW.m⁻¹) and combustible material consumed (92.7%). The EL positions and EE have similar influences on the variables that describe the fire behavior. August and September showed the largest amounts of combustible material, propagation speed, flame length, result of the lower relative humidity and the burning duration. Thus, it is concluded that the implementation of controlled fires should preferably be between June and July and it is better to adopt the following sequence: EF, EE and EL.

Keywords: forest plantations, environmental conditions, wildfires.

1 INTRODUÇÃO

Eucalyptus spp é a espécie mais utilizada no Brasil para fins de reflorestamento, com aproximadamente 72% da área total de florestas plantadas no país (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013). No Estado de Mato Grosso, está ocorrendo um crescimento significativo do plantio de Eucalipto, de acordo com a Associação de Reflorestadores do Estado de Mato Grosso (AreflorestaMT) e o Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária (Imea), de 2007 a 2012, houve um crescimento de 271% da área plantada com eucalipto no Estado, saindo de 50.442 para 187.090 ha, respectivamente (FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MATO GROSSO, 2013). Em geral, o aumento da área vinculada a essa cultura decorre da necessidade de biomassa sustentável e de menor custo para a geração de calor/vapor na secagem de grãos e indústrias alimentícias, além de usos como carvão, madeira serrada e com potencial para abastecimento de indústrias de painéis.

No Estado de Mato Grosso, a utilização do eucalipto decorre de vários fatores como a redução dos remanescentes naturais, as restrições ambientais para a exploração de espécies nativas e os avanços tecnológicos nos aspectos silviculturais e industriais. Nesse cenário, ainda existem vários desafios vinculados ao mercado, logística e legislação pertinente à atividade, contudo, os principais problemas e/ou dificuldades encontradas nesse setor produtivo, estão tanto na fase de implantação (viveiros) quanto no estabelecimento e/ou condução silvicultural dos plantios comerciais, e sempre vinculados aos efeitos negativos das deficiências hídricas, deficiências nutricionais, excesso de radiação solar, fogo (incêndios florestais), pragas e doenças, dentre outros.

Diante do potencial econômico e ambiental dos plantios de eucalipto no Mato Grosso, as empresas do setor florestal têm investido em estratégias de proteção florestal para evitar as perdas tanto das mudas como da capacidade produtiva dos plantios. Por conseguinte, um dos maiores problemas vinculados aos plantios de eucalipto no Brasil, é a ocorrência do fogo de maneira descontrolada, que geraram prejuízos econômicos de aproximadamente R\$12.000,00 por hectare (BARTH et al., 2012). Apesar da importância, ainda é pequena a base de conhecimento exigido para a proteção eficaz contra os incêndios em áreas de florestas plantadas (FERNANDES et al., 2011).

A suscetibilidade dos plantios de eucalipto aos incêndios florestais decorre principalmente da grande capacidade de formação de serrapilheira, que apresenta alta deposição e lenta decomposição, formando camadas contínuas e espessas (BURROWS, 1994;

FERNANDES, 2006) e do tipo de gestão, no qual a estrutura do plantio e a curta duração do período de rotação contribuem para aumentar o perigo de incêndio (MOREIRA et al., 2009).

Dentre as técnicas utilizadas para diminuir a possibilidade de ocorrência de incêndios em plantios florestais, destaca-se o uso da queima controlada (SOARES, 1995), que pode ser definida como o uso do fogo de maneira criteriosa em uma área pré-determinada, executada dentro de um intervalo pré-estabelecido de condições meteorológicas e de características do material combustível, para favorecer os objetivos do manejo e manter a segurança do local dentro de limites aceitáveis (WADE; LUNDSFORD, 1990; RIBEIRO; BONFIM, 2000; CIFFC, 2002; SOARES; BATISTA, 2007; NWCG, 2008).

Contudo, para utilizar a queima controlada como ferramenta de manejo da vegetação em áreas propensas ao fogo, deve-se compreender os fatores que influenciam na dinâmica das variáveis preponderantes do comportamento do fogo (McARTHUR, 1962; FERNANDES, 2001; CARVALHO, 2005).

De maneira genérica, comportamento do fogo é um termo utilizado para descrever as principais características da combustão do material florestal, sendo o resultado da interação entre as condições meteorológicas, o material combustível e topografia (AGEE, 1996; SEGER et al., 2013). Por este motivo é o elemento central de toda a gestão dos incêndios florestais em qualquer parte do mundo (VIEGAS, 2007). Por conseguinte, as variáveis primárias que quantificam e caracterizam o comportamento do fogo são: velocidade de propagação, intensidade da linha de fogo, comprimento da chama e taxa de energia liberada (VEGA, 1996; LENTILE, 2006; SCOTT, 2012). Segundo Brown et al. (1991), o consumo do material combustível pós-fogo, quantifica a remoção da camada orgânica e da biomassa lenhosa, sendo portanto, uma característica fundamental para o planejamento de queimas controladas. Essas informações contribuem para uma avaliação quantitativa dos incêndios florestais (STOCKS, 1989).

Alguns estudos têm sido desenvolvidos para a caracterização de combustíveis e do comportamento do fogo em plantios de eucalipto pelo mundo tais como McCaw e Smith (2005), Hollis et al., 2011; CHENEY et al., 2012; FERNANDES et al., 2011). Todavia, persistem preocupações com a subestimação da velocidade de propagação e do comprimento de chama para diferentes condições climáticas e/ou ambientes (McCAW et al., 2008; GOULD et al., 2007). No Brasil, Ribeiro (1997) analisou os efeitos de queimas controladas e dos parâmetros do comportamento do fogo sob a redução da biomassa superficial em um plantio

de *Eucalyptus viminalis*, enquanto que, White (2014) utilizando a biomassa da serrapilheira de um plantio de *Eucalyptus* spp realizou queimas experimentais em condições de laboratório.

As pesquisas com queimas experimentais em condições de campo, por analisarem as interrelações reais entre as variáveis que influenciam no comportamento do fogo, fornecem subsídios técnico-científicos confiáveis para a adequação e melhoria das técnicas, táticas e intensidade do combate, definição dos níveis de prontidão de combatentes, posicionamento estratégico dos meios logísticos de supressão na área, dentre outros (DRYSDALE, 1985; STOCKS, 1989; BATISTA, 1995; SOUZA et al., 2003; BEUTLING, 2009; PEREIRA, 2015).

Diante dessa premissa, o objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento do fogo em queimas controladas do combustível superficial em um plantio de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) com 4,5 anos de idade, na estação seca (maio a setembro), em diferentes posições da área de plantio, para contribuir no direcionamento do manejo eficiente da serrapilheira e/ou vegetação no intuito de diminuir o perigo de incêndio.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área experimental está localizada no município de Sorriso, mesorregião geográfica norte do estado de Mato Grosso. As parcelas foram inseridas entre as latitudes 12°32'43"S" e as longitudes 55°42'41"W, com altitude média de 365 metros (Figura 6) e topografia plana. A pesquisa foi realizada em uma área de plantio de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) de 4,5 anos de idade, com árvores plantadas no espaçamento de 3 x 3 metros, na Fazenda Santo Antonio, propriedade da Empresa BRF S.A., localizada aproximadamente a 45 km ao sul da sede do município.

Pela classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw (tropical quente e úmido), caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: chuvosa (outubro e abril) e seca (maio a setembro); com baixa amplitude térmica anual (médias mensais variando entre 24 e 27 °C) e precipitação média anual em torno de 1974 mm (SOUZA et al., 2013).

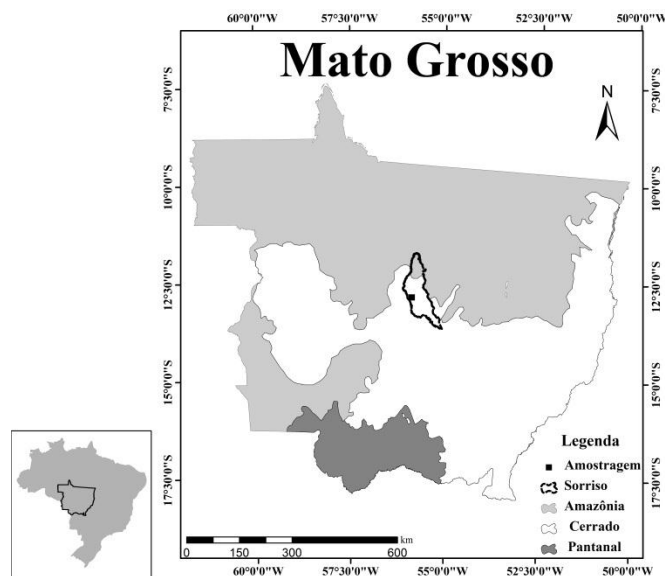


Figura 6 –Localização da área experimental e do município de Sorriso, no estado de Mato Grosso.

2.2 Estabelecimento das parcelas para amostragem

A área experimental é margeada em seu lado sul por uma lavoura de algodão e no lado norte por um remanescente de floresta com altura média de 15 m. O estabelecimento das parcelas objetivou avaliar a influência dessas interações (bordaduras) sobre o comportamento do fogo.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados, com arranjo fatorial de 5 x 3 (meses x posições no talhão), com três repetições (Figura 7). Os meses variaram de maio a setembro (estação seca da região) e as posições no talhão foram definidas como EL (parcelas à 30 m de distância de bordaduras com lavoura – soja/algodão), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas a 30m de distância da floresta).

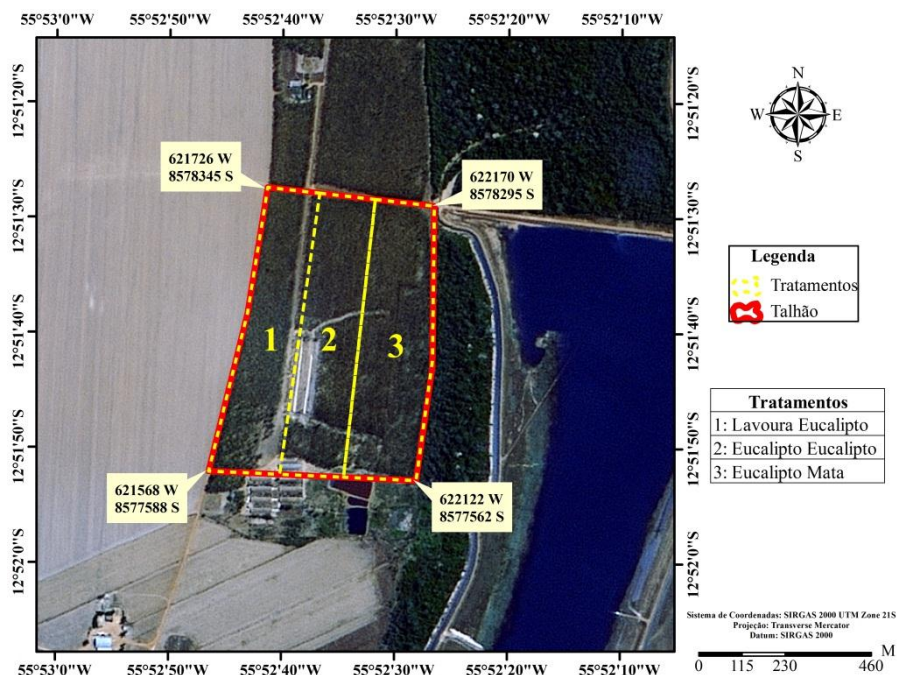


Figura 7 – Delineamento experimental para medir as influências das interfaces floresta e lavoura.

As parcelas possuíam dimensões de 3 x 20 m (largura e comprimento) e foram instaladas acompanhando o alinhamento de plantio e em nível, com aceiros de 1 m em todas as interfaces (Figura 8). O número de parcelas foi obtido de acordo com a metodologia de amostragem sequencial, com um limite de erro de 10% a um nível de probabilidade de 95%, sendo estabelecido como 45 parcelas (3 posições x 3 repetições x 5 meses). O teste Kolmogorov-Smirnov foi aplicado para definir se a quantidade de material combustível apresentou distribuição normal.

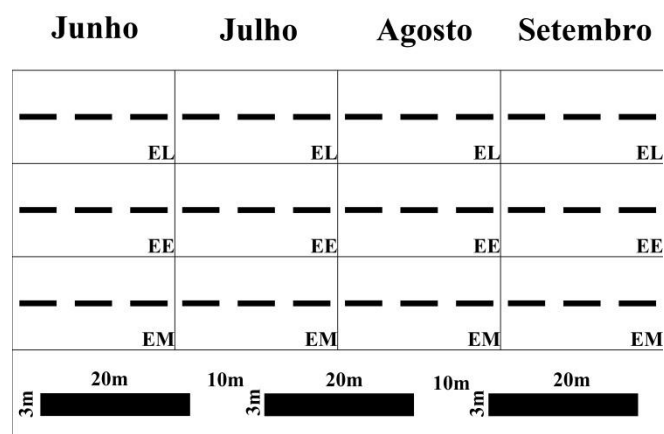


Figura 8 - Croqui da área

2.2.1 Amostragem do material combustível

Em cada parcela, no sentido longitudinal, foram estabelecidos pontos de observações distantes 2 m entre si, para avaliação das variáveis do comportamento do fogo e da serrapilheira. Posteriormente, nas proximidades de cada parcela (distância máxima de 6 m) e com mesmas condições de serrapilheira, foram demarcadas quatro subparcelas aleatórias de 1 x 1 m para quantificação do material combustível total (totalizando 12 repetições por tratamento). O combustível consumido foi obtido pela diferença entre a biomassa anterior à queimada (serrapilheira) e o combustível residual pós-queima (mensurado em áreas de 1 m² em cada posto de observação).

A quantificação do material combustível foi realizada por amostragem destrutiva, na qual toda a biomassa vegetal até 1,8 m de altura (limite do material combustível superficial) foi coletada, com posterior separação por classes diamétricas e quantificação da massa úmida. As metodologias utilizadas para coletar, categorizar e determinar a massa foram baseadas em trabalhos de Rothermel (1972) e Brown et al. (1982). Todo o material combustível morto foi classificado nas classes de diâmetro com auxílio de um paquímetro digital. Os combustíveis mortos maiores que 7,60 cm e verdes lenhosos maiores que 0,70 cm de diâmetro não foram coletados, por não contribuírem com a propagação do fogo superficial (ROTHERMEL, 1972).

Por conseguinte, adotou-se a seguinte classificação do material combustível: A) material combustível vivo: i) material herbáceo (MVH) - plantas espontâneas que possuem a consistência e porte de vegetação rasteira (gramíneas, leguminosas, musgos e samambaias, dentre outras); ii) material lenhoso (MVL): inclui a folhagem, casca e os pequenos ramos dos arbustos vivos (materiais vegetais cujo diâmetro é menor ou igual a 0,7 cm); B) material combustível morto (seco): i) MS1: material seco com diâmetro menor ou igual a 0,70 cm; ii) MS2: material seco com diâmetro maior que 0,71 e menor ou igual a 2,50 cm; iii) MS3: material seco com diâmetro maior que 2,50 e menor ou igual 7,60 cm.

A classe MS1 foi subdividida em duas subclasses: “Folhas” e “Galhos”, para permitir a análise da contribuição específica de componente vegetal no material combustível total e no comportamento do fogo. Após a coleta, classificação e determinação da massa úmida, foram retiradas subamostras representativas de cada classe de material combustível (100 g) para determinação da massa seca e do teor de umidade, que por sua vez, foram obtidos pela secagem em estufa de circulação forçada de ar, na temperatura de ± 65 °C até atingir massa constante.

2.3 Queimas controladas

As parcelas em que foram realizadas as queimas controladas possuíam dimensões de 3 x 20 m (largura e comprimento). Em todos os meses de estudo empregou-se a técnica de queima a favor do vento, sendo estabelecidos sempre os mesmos horários de queima por parcela, para reduzir o erro obtido em cada tratamento em virtude do horário de amostragem. As queimas foram realizadas no último final de semana de cada mês, com exceção de setembro, que foi realizada no dia 19, pois havia um forte indicativo de chuva para o final do mês, fato que iria influenciar significativamente nos resultados.

Durante as queimas foram registradas as variáveis e os procedimentos de coleta em conformidade com os padrões adotados internacionalmente e recomendados por diversos autores (BURROWS, 1999; GILROY; TRAN, 2006; KUÇUK et al., 2008; FERNANDES et al., 2011; GOULD et al., 2011; HOLLIS et al., 2011). Nesse sentido, foram monitoradas e obtidas:

a) velocidade de propagação – obtida visualmente, determinando-se o tempo necessário para a linha de fogo percorrer distâncias de 2 m, previamente demarcadas em cada parcela, no sentido do seu comprimento;

b) comprimento das chamas – estimativa visual da altura média alcançada pelas chamas, a cada 2 m de avanço da linha de fogo, com o auxílio de baliza graduada em centímetros.

c) variáveis meteorológicas – temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, com medidas instantâneas e armazenamento em intervalos de cinco minutos por uma estação meteorológica automática do modelo *Instrutemp Weather Station*.

d) Intensidade da linha do fogo de Byram (1959), obtida por meio da equação 1.

$$I = H \cdot w \cdot r \quad (\text{Equação 1})$$

em que: I – intensidade do fogo ($\text{kW}\cdot\text{s}^{-1}$); H – poder calorífico ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) = 21.000 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (massa seca, de acordo com FERNANDES et al., 2011); w – massa do combustível consumido ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$); r – velocidade de propagação do fogo em ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Variáveis ambientais monitoradas durante as queimas controladas

Na Tabela 4 estão os valores médios das variáveis meteorológicas monitoradas durante a realização das queimas controladas, com exceção do mês de maio.

Tabela 4. Valores médios da temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, durante as realizações das queimas controladas, em diferentes posições no talhão e meses do ano de 2015.

Posição no talhão	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
Velocidade média do vento ($m s^{-1}$)					
EL	0,50 Ac	0,48 Ac	0,76 Ab	1,26 Aa	0,74
EE	0,41 Ac	0,49 Abc	0,64 ABa	1,07 Ba	0,64
EF	0,24 Bb	0,16 Bb	0,56 Ba	0,46 Ca	0,36
Media	0,38	0,37	0,66	0,91	
Rajadas de vento ($m s^{-1}$)					
EL	0,94 Ac	0,91 Ac	1,33 Ab	1,86 Aa	1,25
EE	0,93 Ac	0,99 Abc	1,22 Ab	1,61 Ba	1,19
EF	0,63 Bb	0,55 Bb	1,14 Aa	0,94 Ca	0,81
Media	0,83	0,81	1,23	1,47	
Temperatura do ar ($^{\circ}C$)					
EL	29,62 Cd	32,99 Ac	36,13 Ab	40,01 Aa	34,61
EE	32,29 Ad	32,97 Ac	36,77 Ab	39,69 Aa	35,43
EF	30,39 Bc	27,94 Bd	32,67 Cb	37,68 Ba	32,17
Media	30,77	31,30	35,19	39,13	
Umidade relativa do ar (%)					
EL	48,60 Aa	21,70 Cb	17,47 Bc	10,10 Bd	24,62
EE	38,07 Ca	25,17 Bb	17,90 Bc	10,70 Bd	22,96
EF	44,00 Bb	53,57Aa	30,83 Ac	15,40 Ad	35,95
Media	43,56	33,48	22,07	12,27	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. EL (parcelas na interface eucalipto/lavoura), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas na interface eucalipto/floresta).

As rajadas de vento média observadas em agosto e EL e EE estão de acordo com White et al. (2013), que determinaram a velocidade média do vento para os plantios de eucalipto do litoral norte da Bahia como sendo de $1,24 m s^{-1}$, com máximos e mínimos de $4,0$ e $0,01 m s^{-1}$, respectivamente. White (2014) encontrou em um plantio de *Eucalipto* spp., com 6 anos de idade ventos médios de $1,02 m.s^{-1}$, enquanto que Burrows (1999) obteve médias de $1,08 m.s^{-1}$ em florestas esclerófilas de *Eucalyptus marginata*. O tratamento EF foi influenciado pela condição ambiental da floresta e apresentou as menores velocidades médias e rajadas do vento, independentemente da época de queima controlada.

Esse comportamento decorre principalmente das diferenças existentes entre a altura e interações com a radiação solar das vegetações de bordadura (lavoura e floresta). A intensidade e a direção dos ventos são determinadas pela variação espacial e temporal do balanço de energia na superfície terrestre, que causa variações na pressão atmosférica. A

massa de ar se desloca por gradientes de pressão (vento), sendo que, quanto maior a diferença entre as pressões, maior será a velocidade de deslocamento.

Os maiores valores das rajadas do vento foram observados nos meses de agosto e setembro, e são importantes por causarem um aumento repentino nos comprimentos de chama e velocidade de propagação, podendo ocasionar a perda do controle do fogo. Em geral, a velocidade do vento pode ser afetada pela rugosidade da superfície (vegetação, construções, relevo montanhoso, etc.) e pela distância vertical acima da superfície em que ela é medida. Quanto mais próximo da superfície, maior o efeito do atrito com o terreno, desacelerando o movimento e diminuindo a velocidade de deslocamento do ar. Esse bloqueio imposto pela superfície faz com que bolhas de ar de maior velocidade se desloquem para baixo, gerando um impulso repentino no ar próximo ao chão. A esse aumento brusco na velocidade do vento denomina-se de rajada. A direção dos ventos é resultante da composição das forças atuantes (sobretudo gradiente de pressão, atrito e força de Coriolis), mas o relevo predominante na região também afeta a direção próximo à superfície (PEREIRA et al., 2002; VAREJÃO-SILVA, 2006).

Flutuações na velocidade e direção do vento fazem com que o fogo se comporte de forma irregular na área, enquanto que valores elevados de velocidade do vento sugerem que a necessidade de maior área de segurança (FERNANDES, 2002). O aumento da velocidade do vento ocasiona aumento na velocidade de propagação do fogo, comprimento das chamas, intensidade do fogo e, conseqüentemente, incêndios mais perigosos (BROWN; DAVIS, 1973; FERNANDES, 2009). Gould et al. (2007) citam que para determinar valores confiáveis de velocidade do vento é necessário que seja conhecida a variação do vento dentro e fora da floresta.

A execução de queimas controladas em área de eucalipto deve ser realizada em condições seguras para que a intensidade do fogo e o comprimento de chama sejam baixos (FERNANDES et al., 2002) sendo que os intervalos ideais para a sua execução compreendem de 3 a 10 km.h⁻¹, 20 a 50% e 10 a 25 °C, para velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura do ar, respectivamente (MARSDEN-SMEDLEY, 2009; FERNANDES; LOUREIRO, 2010).

Com base nessa pressuposição, evidencia que as realizações das queimas ocorreram em condições meteorológicas não recomendadas, todavia, ressalta-se o uso da velocidade do vento como critério de referência. No mês de setembro, os valores de umidade do ar estiveram

abaixo do limite inferior e os valores de temperatura estiveram acima do limite superior, indicando uma situação de perigo extremo (MARSDEN-SMEDLEY, 2009).

O tratamento EF apresentou a maior média para a umidade relativa do ar e menores temperaturas, quando comparados ao EL e EE, decorrentes da influência da floresta na concentração de vapor d'água e/ou balanço de energia local. A temperatura do ar exerce pouca influência sobre o incêndio, porém, quando ocorre redução significativa da temperatura do ar até o ponto de orvalho (proximidade das pressões atual e de saturação de vapor d'água), têm-se o aumento do teor de umidade do combustível e diminuição do nível de comportamento do fogo. Todavia no combate ao incêndio, essas condições propiciam maior influência sobre a fadiga, risco de desidratação e na capacidade dos bombeiros para gerenciar o combate (MARSDEN-SMEDLEY; SHERRIFF, 2014).

A umidade relativa do ar interfere indiretamente no comportamento do fogo devido ao seu efeito no teor de umidade de equilíbrio dos materiais combustíveis (SCHROEDER; BULK, 1970; BROWN; DAVIS, 1973), especialmente quando esta está abaixo de 30%, pois as brasas tendem a permanecer acesas durante longos períodos, resultando em maior potencial local do incêndio (MARSDEN-SMEDLEY; SHERRIFF, 2014).

3.2 Caracterização do material combustível

Independentemente da parcela, não houve ocorrência de materiais nas classes MS3 e MVL. Ribeiro e Soares (1998), em estudo em plantio de *Eucalyptus viminalis*, com 10 anos de idade, afirmaram que a classe MS3 apresentou $0,03 \text{ t.ha}^{-1}$, muito dispersa na área e com ausência em algumas parcelas e que não contribuiu para a propagação do fogo. Souza et al. (2003), estudando plantios de *Eucalyptus dunnii* com idades variando de 2 a 10 anos, encontraram para a classe MS3 o valor de $0,06 \text{ t.ha}^{-1}$ em plantio de 4,5 anos, não apresentando participação significativa na carga de combustível total. Os autores ainda afirmam que os valores diminuem com o tempo, não sendo mais encontrado materiais para plantios a partir dos 5 anos no local.

As menores médias de carga total de material combustível seco (Tabela 5) ocorreram em julho e em EL, enquanto que as maiores foram observadas em setembro e em EF. Marsden-Smedley (2009) ressalta que o perigo de incêndios florestais é extremamente alto para plantios de eucalipto com material combustível total entre $12 \text{ e } 20 \text{ t.ha}^{-1}$, sendo necessária a gestão estratégica de redução do material com meios mecânicos ou queima controlada.

Tabela 5. Massa seca ($t \cdot ha^{-1}$) do material combustível de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.

Posição	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
Classe MS1 (diâmetro $\leq 0,7cm$)						
EL	8,16 Bc	8,28 Bc	8,01 Bc	10,34 Bb	14,35 Aa	9,83
EE	8,58 Bc	9,18 Bc	8,03 Bc	10,79 ABb	12,70 Ba	9,857
EF	10,36 Abc	11,42 Aab	9,34 Ac	11,61 Aa	11,54 Cab	10,85
Media	9,03	9,62	8,46	10,91	12,86	
Classe MS2 ($0,7cm < \text{diâmetro} \leq 2,5cm$)						
EL	3,94 Aa	4,01Ba	3,83 Aa	2,77 Ba	3,56 Ba	3,62
EE	3,88 Aa	3,87 Ba	3,87 Aa	3,57 ABa	3,89 Ba	3,82
EF	4,88 Aa	5,30 Aa	4,45 Aa	4,55 Aa	5,49 Aa	4,93
Media	4,23	4,39	4,05	3,63	4,31	
Material Herbáceo						
EL	0,004 Ba	0,003 Ba	0,005 Ba	0,002 Ba	0,021 Ba	0,007
EE	0,006 Ba	0,0099 Ba	0,008 Ba	0,005 Ba	0,044 Ba	0,015
EF	0,29 Ab	0,283 Ab	0,23 Ab	0,20 Ab	0,55 Aa	0,31
Media	0,098	0,098	0,082	0,0695	0,21	
Material Seco Total						
EL	12,11 Bb	12,29 Bb	11,84 Bb	13,11 Bb	17,93 Aa	13,46
EE	12,46 Bbc	13,05 Bbc	11,92 Bc	14,36 Bb	16,63 Aa	13,69
EF	15,51 Aab	16,99 Aa	14,02 Ab	16,36 Aa	17,57 Aa	16,09
Media	13,36	14,11	12,59	14,61	17,38	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. EL (parcelas na interface eucalipto/lavoura), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas na interface eucalipto/floresta).

Considerando a carga total média de material combustível superficial, White et al. (2014) observaram médias de $11,31 t \cdot ha^{-1}$ para um plantio de *Eucalyptus* spp., de 6 anos de idade, na Bahia; Souza et al. (2003) obtiveram variações de $10,77$ a $17,22 t \cdot ha^{-1}$, para *Eucalyptus dunnii* com 4,5 anos e 6,5 anos idade, respectivamente, em Três Barras (SC); Ribeiro e Soares (1998) encontraram em um plantio de *Eucalyptus viminalis* em Três Barras (SC), com 10 anos de idade médias de $24,25$ e $29,96 t \cdot h^{-1}$, para a primavera e outono; Gilroy e Tran (2006) encontraram médias de $12,44$ e $11,84 t \cdot ha^{-1}$ para florestas de *Eucalyptus major* e *Eucalyptus racemosa* na Austrália, respectivamente. Bridges (2004) em florestas esclerófilas de eucalipto na Austrália obteve médias de $10,42 t \cdot ha^{-1}$. Smith et al. (2004) observaram carga total de $15,8 t \cdot h^{-1}$ para um plantio de *Eucalyptus marginata* de 5 anos na Austrália.

Normalmente a quantidade e a distribuição do material combustível da serrapilheira apresenta alta variação entre e dentro dos plantios (BROWN et al., 1981; WALKER, 1981), corroborando com os resultados encontrados em relação à posição no talhão. O combustível total em EF (parcelas próximas à floresta) diferiu estatisticamente de EE e EL, que por sua vez, apresentaram médias iguais. Hutson e Veitch (1985) encontraram valores do combustível total variando no intervalo de $7,2$ a $37,2 t \cdot ha^{-1}$ para um plantio de eucalipto (*Eucalyptus obliqua* x *Eucalyptus baxteri*).

Os meses mais secos (agosto e setembro) apresentaram as maiores quantidades de material combustível, $14,61$ e $17,38 t \cdot ha^{-1}$, respectivamente. Em plantios naturais de

Eucalyptus diversicolor e *Eucalyptus marginata*, na Austrália, a maior quantidade de combustível na serrapilheira ocorreu durante os meses secos, sendo que a taxa e a quantidade de serrapilheira em florestas de eucalipto foi afetada pela sazonalidade das condições de precipitação e temperatura do ar (BURROWS, 1994). Em contrapartida, Ribeiro e Soares (1998) não observaram diferenças significativas entre o material combustível da liteira de *Eucalyptus viminalis*, com 10 anos, para o outono e primavera, com 24,25 e 29,96 t.ha⁻¹, respectivamente.

O combustível da classe MS2 apresentou uma média de aproximadamente 27% da massa seca total, não havendo diferença significativa entre os meses. Em relação à posição, EF diferiu dos demais tratamentos (4,93 t.ha⁻¹). Diversos autores encontraram para esta classe, valores diferentes em relação à idade do plantio, sendo obtidos 24% em plantios de 6 anos (WHITE et al., 2014), 13 e 20% para plantios de 4,5 e 6,5 anos (SOUZA et al., 2003), 6% em plantios com 24 anos (VAN LOON, 1969), 16% para floresta esclerófila de eucalipto (BRIDGES, 2004). Stangerlin et al. (2007) afirmaram que para um plantio de *Eucalyptus grandis* com 12 anos de idade, a quantidade de material combustível presente na classe MS2 foi de 18%. E ainda, Fernandes et al. (2011) encontraram médias de 27,9% para plantios de *Eucalyptus globulus* em Portugal.

Na classe MVH (Material Vivo Herbáceo), a posição EF apresentou 0,31 t ha⁻¹ (3%) do total de material combustível, diferindo significativamente de EE e EL. Em setembro, as médias foram de 0,21 t.ha⁻¹ (1,3% do material combustível). White et al. (2014) encontraram médias de 0,29 t.ha⁻¹ correspondendo a 3% do combustível total e Bridges (2004) verificou 5% de material herbáceo. Já Stangerlin et al. (2007) observaram 1% de raízes, sementes e material verde, equivalente a aproximadamente 0,31 t.ha⁻¹.

O tratamento EF apresentou em torno de 95% de material combustível MVH, decorrente da regeneração natural da floresta (vegetação espontânea), distante em torno de 30 metros das parcelas. Por conseguinte, em EL observou-se os menores valores para esta classe de combustível e esse fato pode estar associado ao uso de defensivos agrícolas (herbicidas) na lavoura de soja/algodão (mesma distância das parcelas), que podem ter sido transportadas para o plantio de eucalipto por deriva.

Dentre todas as classes de combustível constituintes do material total, a classe MS1 é a mais importante, pelo seu papel determinante na propagação do incêndio (FERNANDES et al., 2002). Burrows (1999), Gill e Zylstra (2005) e McCaw et al. (2008) afirmam que dentre o material combustível, a classe MS1 pode ser utilizada para quantificar a contribuição da

estrutura da vegetação ao comportamento de incêndios de média e alta intensidade. Nesse sentido, na Tabela 6 são apresentadas a distribuição de subclasses dentro da classe MS1, sendo que as folhas contribuíram com a maiores percentuais de matéria seca.

Tabela 6. Massa seca ($t\ ha^{-1}$) do material combustível da classe MS1 de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão

Posição	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
Folhas						
EL	4,64 Bc	4,89 Bc	4,36 Bc	6,27 Ab	8,68 Aa	5,77
EE	5,05 Bc	5,42 Bc	4,74 ABc	6,27 Ab	7,83 Ba	5,86
EF	6,04 Ab	7,02 Aa	5,12 Ac	6,71 Aab	7,05 Ca	6,39
Media	5,24	5,78	4,74	6,41	7,85	
Galhos < 0,7 cm						
EL	3,52 Bb	3,38 Bb	3,65 ABb	4,07 Bb	5,67 Aa	4,06
EE	3,53 Bb	3,76 Bb	3,29 Bb	4,51 ABa	4,87 Ba	3,99
EF	4,31 Aa	4,40 Aa	4,23 Aa	4,90Aa	4,49 Ba	4,47
Media	3,79	3,85	3,72	4,49	5,01	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. EL (parcelas na interface eucalipto/lavoura), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas na interface eucalipto/floresta)

Na classe MS1, o tratamento EF apresentou as maiores médias de massa seca de folhas e galhos finos. Em agosto e setembro foram observados os maiores valores para MS1 com 10,91 e 12,86 $t\ ha^{-1}$, respectivamente. Esses valores podem ser considerados como carga de combustível moderada, sendo necessária a redução do material por meio da gestão do combustível para evitar incêndios de grandes proporções (FERNANDES et al., 2002).

Stangerlin et al. (2007) encontraram para as subclasses “Folhas” e “Galhos”, em plantio de eucalipto com 12 anos, 14,32 e 5,65 $t\ ha^{-1}$ (58,23 e 22,98%) respectivamente. Souza et al. (2003) encontraram para a subclasse “Folhas” em plantios de eucalipto com 4,5 e 8,5 anos, os valores de 6,48 e 11,66 $t\ ha^{-1}$ (média de 60,17%), respectivamente. Gould et al. (2007) afirmaram que a carga de material combustível fino necessária para que o fogo consiga se propagar dentro de plantios de eucalipto deve ser superior a 4 $t\ ha^{-1}$. White (2014) observou que nas queimas com carga da classe MS1 inferior a 4 $t\ ha^{-1}$, o fogo se propagou de forma irregular com baixo consumo do material combustível.

Na composição do material combustível, em termos percentuais, dentro da classe MS1, a subclasse “folhas” contribuiu em média com 60% do combustível. Esses valores devem ser levados em consideração no planejamento do uso do fogo em plantios florestais, pois a subclasse “Folhas” está enquadrada na classificação de Soares e Batista (2007) como “combustíveis perigosos”, sendo materiais que apresentam menor temperatura de ignição, aceleram a taxa de propagação e queimam rapidamente.

Nesse sentido, comparando as contribuições da classe MS1 em relação ao combustível total, observa-se que em agosto e setembro e nos tratamentos EE e EL, têm-se percentuais de folhas e galhos finos superiores a 70%. A classe MS1 é a responsável pela maior parte da contribuição da intensidade do calor na zona de combustão (BURROWS, 1994) e tem um efeito localizado importante no aquecimento do solo, causando prejuízo para árvores e microbiota do solo, especialmente sob condições de seca (BURROWS, 1987).

Os valores encontrados corroboram com White et al. (2014), que obtiveram 70% para um plantio de *Eucalyptus spp* e Souza et al. (2003) que determinaram em plantio de *E. dunnii*, de 4,5 anos e 6,5 anos de idade o valor médio de 72 e 71%, respectivamente. Esses resultados também são semelhantes aos verificados por Soares e Batista (2007), que observam que a classe MS1 varia de 70 a 80% de todo material combustível disponível.

Burrows (1994) encontrou 85% para um plantio de *Eucalyptus marginata*, na Austrália. Ribeiro e Soares (1998), em plantios de 10 anos de *Eucalyptus viminalis* em Três Barras (SC), determinaram para a classe MS1, 85,8% na primavera e 85,21% no outono. Stangerlin et al. (2007) afirmaram que 81,21% do material classificado como MS1 contribuiu com o material combustível total presente em um plantio de *Eucalyptus grandis* de 12 anos de idade na cidade de Santa Maria (RS) e Fernandes et al. (2011) encontraram médias de 63,8% de contribuição de MS1 para plantios de *Eucalyptus globulus* em Portugal.

A tendência de aumento da quantidade de material combustível com o incremento da idade em plantios de eucalipto resulta em contínuos incrementos da carga total de combustível superficial, potencializando o perigo de incêndios de maior porte em plantios mais antigos (SOUZA et al., 2003). Porém, estudos em florestas esclerófilas de eucalipto, sugerem que o acúmulo de material combustível é crescente até os 10 primeiros anos, atingindo equilíbrio com uma carga média variando entre 10,4 a 15 t.ha⁻¹ (BRIDGES, 2004; BROOKS et al., 2004). Em estudos com plantios de *Eucalyptus globulus*, em Portugal, o material combustível na liteira atingiu até 95% da carga total após os oito primeiros anos (FERNANDES et al., 2011).

Em contrapartida, alguns fatores climáticos podem influenciar na carga de material combustível. Turner e Lambert (2002) questionaram se o conceito de "estado estacionário" é aplicável aos plantios de eucalipto e sugeriram que a massa de combustível oscila devido a variação contínua dos fatores ambientais. Por conseguinte, Gill (1997) argumenta que a acumulação de combustível em plantios de eucaliptos é um sistema complexo influenciado por muitos fatores separados e afins. A carga total de combustível depende das taxas de

deposição e decomposição da serrapilheira (CONROY, 1993; CHATTO, 1996), que por sua vez, são dependentes do tipo de vegetação, da produtividade, da densidade da vegetação e das condições ambientais da área (MILLAR; URBAN, 2000).

A ocorrência de um incêndio florestal em plantios de eucalipto é outro fator que contribui para a variação da quantidade de material combustível (RAISON et al., 1983; BROOKES et al., 2004). Birk; Simpson (1980) relataram que após 10 anos da ocorrência de fogo, o combustível continuava se acumulando na liteira com variação anual de 25%. Birk e Bridges (1989) relataram que a acumulação de combustível continuou por 25 a 30 anos após o incêndio em plantio de *Eucalyptus pilularis*.

3.2.1 Espessura do material combustível

A altura da serrapilheira entre as posições no plantio diferiu significativamente, com maiores valores em EL (Tabela 7), isso pode ter ocorrido em virtude da quantidade de material combustível da classe MS1 combinado com a menor densidade de material combustível.

Já entre os meses, os maiores valores ocorreram no mês de setembro e não houve variações na posição EF ao longo do período estudado. White et al. (2014) encontraram médias de espessura do leito de 5,67 cm. Ribeiro; Soares (1998) obtiveram médias entre 11,48 e 36,05 cm para distintos plantios de 10 anos de *Eucalyptus viminalis* em Três Barras (SC). Já Gilroy; Tran (2006) encontraram médias de 1,7 cm para plantios de *Eucalyptus racemosa* e 2,5 cm para plantios de *Eucalyptus major* no sudeste do estado de Queensland, Austrália.

A altura da serrapilheira do material combustível é utilizada para definir a densidade do material combustível (*fuel bed bulk density*), que consiste na carga total do material combustível seco por volume do leito do material combustível. O conhecimento da densidade do material combustível contribui para avaliação da compactação da biomassa e sua influência no comportamento do fogo (ANDREWS, 2009).

Tabela 7. Altura e densidade da serrapilheira de *E. urograndis* (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.

Posição no talhão	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
Altura (cm)						
EL	13,00 Ab	13,58 Aa	12,25A b	13,42 Aa	13,08 Aab	13,07
EE	11,17 Bb	11,33 Bab	11,50 Bab	10,50 Bb	12,33 Aa	11,37
EF	10,25 Ba	10,50 Ba	10,18 Ba	10,08 Ba	11,00 Ba	10,40
Media	11,47	11,81	11,31	11,33	12,14	
Densidade (kg.m ⁻³)						
EL	9,41 Bb	9,25 Cb	9,82 Bb	10,03 Cb	13,84 Ba	10,47
EE	11,32 Bb	11,81 Bab	10,49 Bb	13,96 Ba	13,73 Ba	12,26
EF	15,53 Aab	16,66 Aa	14,17 Ab	16,80 Aa	16,30 Aab	15,89
Media	12,09	12,57	11,50	13,60	14,62	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. EL (parcelas na interface eucalipto/lavoura), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas na interface eucalipto/floresta).

O menor valor de densidade foi encontrado em EL (10,47 kg.m⁻³) e o maior valor na posição EF (15,89 kg.m⁻³). Em setembro ocorreram as maiores densidades com média de (14,62 kg.m⁻³). White et al. (2014) encontraram médias de 19,95 kg.m⁻³ e consideraram o material combustível como pouco compacto. Fernandes et al. (2011) determinaram 23,6 kg.m⁻³ como a densidade do material combustível em plantios de *E. globulus*, em Portugal, e em áreas pós-desbaste, houve aumento da densidade para 34,4 kg.m⁻³.

A densidade do material combustível irá influenciar no comportamento do fogo, na medida em que a serrapilheira mais compacta possui menos poros preenchidos com oxigênio o que irá dificultar a propagação do fogo (FERNANDES, 2002).

3.2.2 Umidade do material combustível

A umidade média para todos os meses foi superior no tratamento EF para todas as classes de material combustível, enquanto que, as médias de EE e EL diferiram na classe MS2 (Tabela 8). A classe MVH apresentou umidade variando entre 30 e 70,06%, em geral, estes combustíveis tem um efeito amortecedor sobre o comportamento fogo, diminuindo a velocidade de propagação e o comprimento de chama (AGEE, 1996), corroborando com as observações deste estudo, pois o conteúdo de umidade é a mais importante propriedade que controla a probabilidade do material combustível entrar em ignição (REGO; BOTELHO, 1990; BLAW et al., 2015).

A umidade dos combustíveis de todas as classes e posições foi inferior a 12,5%. Fenner e Lima (1992) afirmam que são considerados combustíveis perigosos os materiais florestais com umidade na faixa abaixo de 25%, pois há uma alta probabilidade de ignição. Marsden-Smedley (2009) sugeriu que a execução de queimas controladas em condições seguras devem ser realizadas em um intervalo de umidade de combustível de 10 a 15%. Os

incêndios em plantios de eucalipto, normalmente só são mantidos com queima ativa quando a umidade de combustível for abaixo de 20%, todavia, podem ser incontroláveis em níveis de umidade abaixo de 10% (MARSDEN-SMEDLEY; SHERRIFF, 2014).

Tabela 8. Percentual de umidade do material combustível de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.

Posição no talhão	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
Folhas						
EL	8,40 Aa	9,53 Aa	7,48 Ba	7,36 Aa	5,05 Bb	7,56
EE	8,42 Aab	6,50 Bbc	9,33 Ba	8,38 Abc	5,30 Bc	7,59
EF	10,06 Aab	8,51 Abc	11,34 Aa	8,77 Abc	7,56 Ac	9,25
Media	8,96	8,18	9,38	8,17	5,97	
Galhos < 0,7 cm						
EL	8,62 Ba	8,96 ABA	8,71 Ba	7,94 Aa	5,49 Bb	7,94
EE	9,13 Bab	8,62 Bab	10,03 Ba	8,26 Ab	5,76 Bc	8,36
EF	11,08 Aab	10,06 Abc	12,08 Aa	8,67 Acd	7,77 Ad	9,93
Media	9,61	9,21	10,27	8,29	6,34	
Classe MS1 (diâmetro < 0,7cm)						
EL	8,51 Ba	9,25 Aa	8,09 Ca	7,65 Aa	5,27 Bb	7,75
EE	8,77 Bab	7,56 Bb	9,68 Ba	8,32 Aab	5,53 Bc	7,97
EF	10,57 Aab	9,29 Abc	11,71 Aa	8,72 Acd	7,66 Ad	9,59
Media	9,29	8,70	9,83	8,23	6,15	
Classe MS2 (0,7cm < diâmetro < 2,5cm)						
EL	8,67 Ca	9,89 Ba	9,33 Ba	8,24 Aa	5,95 Bb	8,42
EE	10,31 Bab	9,59 Bab	11,07 Aa	8,74 Ab	6,20 Bc	9,18
EF	12,01 Aa	11,67 Aa	12,40 Aa	8,68 Ab	8,56 Ab	10,66
Media	10,33	10,38	10,93	8,56	6,90	
Material Herbáceo						
EL	83,48 Aa	46,19 Bb	77,10 Aa	11,23 Bd	8,56 Bd	30,43
EE	53,00 Ba	47,85 Ba	40,55 Ba	9,87 Bb	0,85 Cc	45,31
EF	86,43 Aab	95,13 Aa	78,47 Aab	69,30 Ab	20,95 Ac	70,06
Media	74,30	63,06	65,38	30,14	10,12	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. EL (parcelas na interface eucalipto/lavoura), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas na interface eucalipto/floresta).

De maneira generalizada, a umidade dos combustíveis é fundamentalmente controlada pelas condições meteorológicas do local (FERNANDES et al., 2002). Os menores valores de umidade foram encontrados nos meses mais secos e nas posições EE e EL, que por sua vez, apresentaram valores inferiores de temperatura e umidade relativa do ar quando comparados com EF.

Vários estudos demonstram que a umidade do material vegetal exerce influência sobre sua inflamabilidade (BURROWS, 2001; ALESSIO et al., 2008; ZHAO et al., 2014), pois a energia necessária para vaporizar a água líquida é extraída da energia produzida durante a queima (FREITAS et al., 2005).

3.3. Comportamento do fogo

O estabelecimento das variáveis do comportamento do fogo por meio de queimas experimentais fornecem os subsídios necessários para o estabelecimento de planos de prevenção de incêndios florestais em plantios florestais. Na Tabela 9 estão descritos os valores médios encontrados das variáveis do comportamento do fogo do local de estudo.

Tabela 9. Velocidade do fogo (V), comprimento da chama e duração da queima controlada em áreas de *E. urograndis* (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.

Posição	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
V (m min ⁻¹)						
EL	0,60 Ac	0,40 Be	0,71 Ab	0,52 Bd	0,87 Aa	0,62
EE	0,44 Bc	0,47 Ac	0,61 Bb	0,74 Aa	0,77 Ba	0,61
EF	0,29 Ccd	0,41 ABb	0,26 Cd	0,36 Cbc	0,52 Ca	0,37
Media	0,45	0,43	0,53	0,54	0,72	
L (m)						
EL	1,09 Ab	0,69 Bc	0,99 Ab	1,12 Ab	1,33 Aa	1,04
EE	0,76 Bc	0,93 Ab	1,03 Ab	1,02 Ab	1,28 Aa	1,00
EF	0,60 Cb	0,74 Ba	0,62 Bab	0,70 Bab	0,72 Bab	0,67
Media	0,81	0,78	0,88	0,95	1,11	
T (min)						
EL	34,5 Cb	48,5 Aa	31,9 Bbc	37,8 Bb	23,7 Bc	35,3
EE	51,7 Ba	39,5 Bb	36,3 Bbc	32,6 Bbc	27,2 Bc	37,5
EF	66,8 Aab	50,9 Ac	73,5 Aa	57,2 Abc	39,8 Ad	57,6
Media	51,0	46,3	47,2	42,5	30,2	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. EL (parcelas na interface eucalipto/lavoura), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas na interface eucalipto/floresta).

Em setembro ocorreram os maiores valores velocidade de propagação do fogo, em cada posição no talhão, com médias de 0,72 m.min⁻¹. As médias de maio e junho não diferiram entre si e foram as mais baixas encontradas. Em relação à posição no plantio, os maiores valores de velocidade de propagação foram em EL e EE, com 0,62 e 0,61 m.min⁻¹, respectivamente. Smith et al. (2004) relataram velocidade de propagação de 1m.min⁻¹ para um plantio de *Eucalyptus marginata*; Van Loon (1969) encontrou a velocidade de 0,54 m.min⁻¹ em plantio de *Eucalyptus pilulares* na Austrália; Burrows (1999) encontrou valores médios de 1,22 m.min⁻¹ em plantio de *Eucalyptus marginata*;

No Brasil, Ribeiro (1997) descreve a velocidade de propagação do fogo para queimas controladas a favor do vento em reflorestamentos de *Eucalyptus viminalis* em Santa Catarina, para o outono e primavera, como 2,63 e 2,20 m min⁻¹, respectivamente. White (2014) encontrou em queimas experimentais em laboratório com *Eucalyptus* ssp., médias de 0,46 m.min⁻¹ e propagações máximas 3,13 m.min⁻¹. Jordaim (2015) em queimas em laboratório utilizando o combustível de um plantio de *Eucalyptus grandis* com idade de 9 anos, encontrou o valor médio de 0,22 m.min⁻¹.

Segundo Brown et al. (1982), a quantidade e distribuição dos combustíveis superficiais influenciam em comportamentos diferenciados do fogo ao longo do plantio. De acordo com o modelo de propagação do fogo superficial de Rothermel (1972), quanto menor a densidade, mais rápida a velocidade de propagação do fogo. Os resultados obtidos para EF corroboram com essa relação inversa entre velocidade e densidade, visto que, essa posição apresentou os maiores valores para a densidade do combustível e menores valores de velocidade de propagação quando comparados com EE e EL.

Em setembro ocorreram as maiores densidade de material combustível, velocidade de propagação e comprimento da chama para cada posição no talhão. Esse comportamento vinculou-se a umidade do material combustível e a velocidade do vento na altura das chamas, principalmente para EE e EL. Alguns autores afirmam que a taxa de propagação do fogo é correlacionada com a estrutura, composição e densidade do combustível (MARSDEN-SMEDLEY; CATCHPOLE, 1995; GOULD et al., 2007).

A direção do vento também pode influenciar na velocidade de propagação do fogo. Segundo Ribeiro (1997), a velocidade da queima em plantios de eucalipto em faixas a favor do vento pode ser superior à velocidade da queima contra o vento, em média 3,6 e 3,7 vezes maior na primavera e outono. Brown e Davis (1973) afirmam que a maioria das queimadas controladas a favor do vento se propagam entre 3,3 a 6,6 m.min⁻¹. A velocidade de propagação é, na prática, a única dentre as três variáveis empregadas no cálculo da intensidade da linha de fogo que pode ser manejada, seja por meio da técnica da queima ou pelo monitoramento da umidade do material combustível (RIBEIRO, 1997).

As médias das velocidades de propagação do fogo encontradas neste estudo podem ser classificadas pela escala de Botelho e Ventura (1990) como “lentas”. De acordo com a classificação adotada por *The Scottish Government* (2011) são classificadas como muito lentas por estarem no intervalo de entre 0,3 e 1 m.min⁻¹, sendo o valor médio de 3m.min⁻¹ considerado como ideal para utilização na prescrição do uso do fogo, com tolerância de até 5 m.min⁻¹. Gould et al. (2007) encontraram valores máximos de velocidade de propagação de 16 m.min⁻¹ em florestas de eucalipto na Austrália, através de queimas experimentais a favor do vento.

O comprimento das chamas é outra variável comumente analisada nos estudos de comportamento do fogo, pois indica a possibilidade de atingir a copa das árvores e originar incêndios de copa. Na análise dos resultados para o comprimento de chama, em EE e EL não foram observadas diferenças significativas, e ainda, em setembro foram observados os

maiores valores de comprimento de chama (média de 1,11 m), com menores valores em maio e junho.

White (2014) determinou em um plantio de eucalipto como valor médio e máximo de comprimento de chama os níveis de 0,45 e 1,2 m. Smith et al. (2004) relataram que em queimas em um plantio de *Eucalyptus marginata* com 5 anos de idade, as chamas ficaram abaixo de 1 m. Fernandes e Loureiro (2010) especificaram comprimento de chama em torno 1,5 m para plantio de *Eucalyptus globulus*, enquanto que, Burrow (1999) encontrou o valor de 1,8 m em um plantio de *Eucalyptus marginata*. Diversos estudos apontam uma relação direta do comprimento de chama com a velocidade do vento e velocidade de propagação do fogo (GOULD et al., 2007; FERNANDES, 2009). Esta relação foi observada neste estudo, uma vez que os maiores valores de comprimento de chama ocorreram nos tratamentos de maiores velocidades de propagação.

O intervalo de comprimento de chama recomendado para condução do fogo com segurança está entre 1 e 4 metros, sendo que abaixo de 1 m existe a possibilidade do fogo se extinguir caso a umidade do combustível seja alta (FERNANDES et al., 2002). Os valores encontrados para EF ficaram abaixo do limite inferior, independentemente da época de queima. Gould et al. (2007) descreveram chamas com até 14 metros de altura para queimas em áreas de eucalipto na Austrália.

Notadamente, existe uma forte associação entre as dimensões da chama e a intensidade do fogo, sendo que muitos modelos foram desenvolvidos para estimar a intensidade do fogo mediante essa correlação (BYRAM, 1959; BIDWELL; ENGLE, 1991; BATISTA; SOARES, 1995; BEUTLING et al., 2012). Em plantio de eucalipto, com elevadas carga de combustível na classe MS1, deve-se executar as queimas controladas com baixa intensidade do fogo e comprimento de chama entre 1 e 2 m (MARSDEN-SMEDLEY, 2009), para que as condições de segurança sejam mantidas.

Além de sua importância para determinar a área de segurança, o comprimento das chamas também pode ser utilizado para determinar a largura de aceiros, visto que recomenda-se que o tamanho do aceiro e a distância de segurança devem ser 4 vezes o comprimento das chamas (SMITH; LAMONT, 2007; ANDREWS, 2009; NWCG-PMS/461, 2014). Portanto, de acordo com os dados obtidos neste estudo, os aceiros devem ser de 2,5 m para EF e 4 para EL e EE. Na prática, ao considerar as técnicas de combate aos incêndios, o comprimento limite das chamas que permitem o combate direto é de aproximadamente 1,2 metros

(ROUSSOPOULOS; JOHNSON, 1975; NWCG, 1996), portanto, todos os valores médios encontrados nos tratamentos permitiriam a aproximação para o combate.

O tempo de queima é a duração total em que o fogo leva para consumir uma área estabelecida durante as queimas controladas. As médias da posição EL e EE foram estatisticamente iguais e menores do que EF. Os valores encontrados na análise dos meses mostram que o maior valor foi em maio (51 min) e o menor valor foi em setembro (30,2 min). White (2014) realizando queimas experimentais em parcelas de 1,5 x 1,5m, encontrou os valores médio de 10,29 min e Jordaim (2015) em queimas controladas em parcelas de 0,86 x 1,85m encontrou a média de 8,45 min.

Apesar de White (2014) afirmar que o tempo de duração da queima total não costuma ser uma variável utilizada na avaliação do comportamento do fogo, pois varia conforme o tamanho da área queimada, do ponto de vista da gestão florestal, a duração da queima vai influenciar em maiores gastos com pessoal (alimentação e hora-trabalhada), com meios logísticos (uso e manutenção de equipamentos e ferramentas) e no planejamento da prevenção e combate (zoneamento de áreas prioritárias de proteção, aceiros, manejo do combustível, dentre outras).

Tolhurst e Cheney (1999) e Marsden-Smedley (2009) e Marsden-Smedley (2011) ressaltam que os combustíveis superficiais influenciam fortemente na intensidade do fogo devido à quantidade, distribuição e umidade. Os maiores valores de intensidade foram encontrados em setembro e agosto para as posições EL e EE. Estes tratamentos também apresentaram as maiores proporções da classe MS1, e segundo Gould et al. (2011) essa classe é a variável mais significativa que influencia no comportamento dos incêndios em florestas de eucalipto, sendo diretamente proporcional a intensidade do fogo.

A intensidade do fogo também pode estar relacionada com a classe MVH, pois os menores valores de intensidade foram obtidos na posição EM (220,41 kW.m⁻¹) que apresentou a maior quantidade de material herbáceo. Na Tabela 10 estão descritos os valores de Intensidade do fogo (I) e material consumido pós-fogo, sendo que os valores médios de EL e EE foram estatisticamente iguais.

Tabela 10. Intensidade do fogo e percentual de material consumido na queima controlada em áreas de *E. urograndis* (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.

Posição	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
I (KW.m ⁻¹)						
EL	273,26 Abc	161,58 Ac	313,24 Ab	257,41 Bbc	578,19 Aa	316,74
EE	187,87 ABb	198,84 Ab	272,64 Ab	410,63 Aa	444,04 Ba	302,20
EF	143,72 Bb	238,74 Aab	114,54 Bb	200,73 Bab	304,32 Ca	200,41
Media	201,62	199,72	233,47	289,59	441,18	
Material Combustível Consumida (%)						
EL	97,97 Aa	97,89 Aa	97,83Aa	98,15 Aa	98,18 Aa	98,01
EE	94,68 Ba	94,69 Ba	94,60 Ba	95,62 Ba	95,44 Ba	95,01
EF	92,77 Cab	93,21 Ca	92,01 Cb	93,21 Ca	92,30 Cab	92,70
Media	95,14	95,26	94,81	95,66	95,31	

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. EL (parcelas próximas a lavoura de algodão/milho), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas próximas a uma floresta).

De acordo com Cheney (1981) a intensidade do fogo pode ser um indicador de produção de energia e pode ser classificado como baixa (<500 kW.m⁻¹), moderada (501 - 3000 kW.m⁻¹), Elevada (3001-7000 kW.m⁻¹) muito elevado (> 7000 kW.m⁻¹). O valor de 441,18 KW.m⁻¹ encontrado em setembro está acima do limite sugerido para plantios de eucalipto (McARTHUR, 1967), enquanto que os demais valores médios dos tratamentos estiveram no intervalo de 173 e 243 KW.m⁻¹. Esses resultados indicam a possibilidade do ataque direto na frente de chama ou nos flancos do fogo com ferramentas manuais (ALEXANDER; LANOVILLE, 1989).

Burrows (1999) encontrou intensidade média do fogo de 355 KW m⁻¹ para um plantio de *Eucalyptus marginata*, Smith et al. (2004) relatam a intensidade para um plantio de *Eucalyptus marginata* de 232 kW.m⁻¹. Trollope et al. (2002) afirmam que quanto maior a umidade do material combustível, menor a intensidade do fogo, visto que afeta a facilidade de ignição, o consumo do material combustível e a taxa de combustão. Os resultados encontrados neste trabalho corroboram com essa afirmativa, pois as menores intensidades foram encontradas nos tratamentos com maiores umidades de combustível.

Em plantios de eucalipto, o controle do incêndio florestal é muito difícil ou quase impossível quando a intensidade do fogo excede 4000 kW.m⁻¹, além de impedir a aproximação da linha para executar o combate, há a grande possibilidade de incêndios secundários (FERNANDES et al., 2011). White (2014) encontrou o valor médio de 146,07 kW.m⁻¹, com valor máximo de 1385,2 kW.m⁻¹. Ribeiro (1997), em queimas controladas a favor do vento em plantios de eucalipto, encontrou os valores de intensidade de 211,13 e 229,50 kW.m⁻¹ para primavera e outono, respectivamente. Segundo Soares e Batista (2007)

em um incêndio florestal, a intensidade pode variar de 1700 a 3400 kW.m⁻¹ e acima destes valores, geralmente, o fogo se torna incontrolável.

Botelho et al. (1994) calcularam a intensidade da linha do fogo por meio da equação de Byram (1959), para queimas prescritas em *Pinus pinaster*, em Portugal, e obtiveram valores entre 39 a 812 kW.m⁻¹, apresentando o valor médio de 148 kW.m⁻¹. Batista e Soares (1995), para queimas em plantios de *Pinus taeda*, no norte do estado do Paraná, utilizando a equação de Byram (1959), encontraram valores entre 10,33 e 162,42 kW.m⁻¹, com valor médio de 40,2 kW.m⁻¹. Burrows et al. (1989), para queimas controladas em *Pinus radiata*, na Austrália, obtiveram valores para a intensidade da linha do fogo entre 12,05 e 602,5 kW.m⁻¹.

Brown et al. (1985) citam que determinar o consumo do material combustível é uma tarefa essencial para prever os efeitos do fogo durante a realização de queimadas controladas. O combustível disponível é definido como a quantidade de combustível consumida após a passagem do fogo (Byram, 1959; BATISTA; SOARES, 2007). A quantidade de combustível disponível para a combustão não pode ser conhecida com certeza antes do fogo, pois o consumo depende das condições ambientais e da intensidade do fogo (GOULD et al., 2011).

As maiores porcentagens de consumo de material combustível foram encontradas nas posições EL e EE (98,01 e 95,01%), que corresponderam às posições com maiores intensidade do fogo e espessura da serrapilheira e menores cargas de material combustível. McArthur e Cheney (1966) destacam que a queima com alta intensidade consome maior quantidade de material combustível e Harrington (1987) afirma que quanto maior a espessura do material combustível, maior o consumo do mesmo pós-fogo.

A posição EF apresentou as menores porcentagens de redução de biomassa (92%), podendo estar relacionadas à maior umidade de combustível e densidade encontrados neste tratamento, pois umidades elevadas diminuem o consumo do material combustível (BROWN et al., 1985; BROWN et al., 1991; HARRINGTON, 1987; GOULD et al., 2011; FERNANDES; LOUREIRO, 2013; WHITE, 2014) e sendo a espessura da serrapilheira inversamente proporcional à densidade do leito, quanto maior a densidade menor o consumo (HARRINGTON, 1987; WHITE, 2014).

White (2014) encontrou uma redução de média de 68% para plantios de eucalipto. Botelho et al. (1994), ao avaliar o consumo do material combustível através de queimas prescritas em plantios de *Pinus pinaster* em Portugal e na Espanha, encontraram valores máximos de 95%. Fernandes e Loureiro (2013), baseados em 90 queimas prescritas em *Pinus pinaster*, em Portugal, encontraram o consumo do material combustível total de até 94,8%.

4 CONCLUSÃO

- As posições estabelecidas e os meses do ano apresentam diferença significativa entre as variáveis do comportamento do fogo estudadas. Logo, ao executar queimas controladas em plantios de eucalipto com condições semelhantes à deste estudo, deve-se observar estas variáveis;
- A posição EM apresentou os maiores valores de material combustível e menores valores de velocidade de propagação do fogo, comprimento da chama e intensidade da linha do fogo;
- As posições EL e EE apresentam influências semelhantes nas variáveis que descrevem o comportamento do fogo;
- A posição EL apresentou os maiores valores para altura da serapilheira ao longo dos meses;
- A densidade do material combustível foi maior na posição EF, fator que contribuiu para os menores valores das variáveis do comportamento do fogo;
- Nos meses de agosto e setembro foram registrados os maiores valores para velocidade do vento e temperatura e menor valor para umidade relativa do ar. Em relação ao comportamento do fogo, podem ser caracterizados como “meses críticos” uma vez que apresentaram os maiores valores de velocidade de propagação, comprimento de chama e intensidade do fogo.
- A execução da queima controlada deve ser executada preferencialmente no mês de julho e iniciar com queimas de áreas da posição EF, seguido por queimas na EE e por fim na EL, assim serão garantidos maiores níveis de segurança na área plantada e menores custos.

5 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2013 - ano base 2012**. Brasília, 2013. 148p
- AGEE, J. K. The Influence of Forest Structure on Fire Behavior. In: Forest Vegetation Management Conference, 17th, 1996, Seattle. **Proceedings...** Seattle: University of Washington, 1996, pag 25-68.
- ALESSIO, G. A.; PENUELAS, J.; LLUSIA, J.; OGAYA, R.; ESTIARTE, M.; DE LILLIS, M. Influence of water and terpenes on flammability in some dominant Mediterranean species. **International Journal of Wildland Fire**, v. 17, n. 4, p. 274-286, 2008.
- ALEXANDER, M.E.; LANOVILLE, R.A. **Predicting Fire Behavior in the Black Spruce-Lichen Woodland Fuel Type of Western and Northern Canada**. Alberta: Forestry Canada, 1989. 16pag.

ANDREWS, P. L. **BehavePlus fire modeling system, version 5.0: Variables**. Ogden: USDA, Forest Service, 2009. 124 p. (General Technical Report RMRS-GTR-213WWW Revised)

BARTH, A.; OLIVEIRA, E. P.; GUSE, J. C; FREITAS, L. A. R. Custos na produção de eucalipto em um propriedade rural no município de Boa Vista do Buricá - RS. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 8 **Anais...** Rio de Janeiro, 2012. 21 p.

BATISTA, A. C. **Avaliação da queima controlada em plantios de *Pinus taeda* L. no norte do Paraná**. 1995, 180f Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Avaliação do comportamento do fogo em queimas controladas sob plantio de *Pinus taeda* no norte do Paraná. **Revista Floresta**, v. 25, n. 12, p. 31-42, 1995.

BEUTLING, A. **Modelagem do Comportamento do Fogo com Base em Experimentos Laboratoriais e de Campo**. 2009, 121 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2009.

BEUTLING, A.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Fire behavior modeling based on simulated field plots. **Forest Fire**, London, v. 158, p. 27 - 37, 2012.

BIDWELL, T. G.; ENGLE, D. M. Behavior of headfires and backfires on tallgrass prairie. In: International Symposium fire and environment: Ecological and cultural perspectives. **Proceedings...** Asheville: USDA Forest Service, p. 344-350, 1991.

BIRK, E.M.; BRIDGES, R.G. Recurrent fires and fuel accumulation in even-aged blackbutt (*Eucalyptus pilularis*) forests. **Forest Ecology and Management**. v. 29, n. 4, p.59–79, 1989.

BIRK, E.M.; SIMPSON, R.W. Steady state and the continuous input model of litter accumulation and decomposition in Australian eucalypt forests. **Ecology** v.61, n. 6, 481–485, 1980.

BLAUW, L. G. WENSINK, N., BAKKER, L.; VAN LOGTESTIJN, R. S. P.; AERTS, R.; SOUDZILOVSKAIA, N. A.; CORNELISSEN, J. H. C. Fuel moisture content enhances nonadditive effects of plant mixtures on flammability and fire behavior. **Ecology and Evolution**. v.5, n.17, p.3830–3841, 2015.

BOTELHO, H.; VENTURA, J. Modelos de comportamento do fogo. In: REGO, F.C.; BOTELHO, H. **A técnica do fogo controlado**. Apartado: Universidade de Trás-Os- Montes e Alto Douro, 1990. p. 49-55.

BRAUN, K. Fire behaviour and impact in blue gum plantations. In Viegas, D.X. (Ed.), International Conference on Forest Fire Research, 5., 2006, Coimbra. **Proceedings...**, Coimbra: ADAI, 2006, CD-Rom

BRIDGES, R. G. Fine fuel in the dry sclerophyll forests of south-eastern New South Wales. **Australian Forestry**. v. 67, n.2, p.88–100, 2004.

- BROOKS, M.L., D'ANTONIO, C.M., RICHARDSON, D.M., GRACE, J.B., KEELEY, J.E., DITOMASO, J.M., HOBBS, R.J., PELLANT, M. & PYKE, D. 2004. Effects of Invasive Alien Plants on Fire Regimes. **BioScience**. V.54, n.7, p.677-688, 2004
- BROWER, J.E.; ZAR, J.H.; ENDE VON, C.N. **Field and laboratory methods for general ecology**. MacGraw-Hill: New York. 1998. 273p.
- BROWN, A. A.; DAVIS, K. P. **Forest fire: control and use**. McGraw-Hill: New York, 2^o Ed., 1973. 686 p.
- BROWN, J. K.; OBERHEU, R. D.; JOHNSTON, C. M. **Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West**. Ogden: USDA Forest Service, 1982. 48 p. (General Technical Report INT-129).
- BROWN, J. K.; MARSDEN, M. A.; RYAN, K. C.; REINHARDT, E. D. **Micting Duff and Woody Fuel Consumed by Prescribed Fire in the Northern Rocky Mountains**. Ogden: USDA Forest Service, 1985. (Research Paper INT-337).
- BROWN, J. K.; REINHARDT, E. D.; FISCHER, W. C. Predicting duff and woody fuel consumption in northern Idaho prescribed fires. **Forest Science**, v. 37, n. 6, p. 1550-1566, 1991.
- BURROWS, N. D. Fire behaviour in jarrah forest fuels: Field experiments. **CALMScience**. v.3, n.1, p.57-84, 1999.
- BURROWS, N. D. Flame residence times and rates of weight loss of eucalypt forest fuel particles. **International Journal of Wildland Fire** v.10, p.137–143, 2001.
- BURROWS, N. D. **Experimental development of a fire management model for jarrah (*Eucalyptus marginata* Donn ex Sm.) forest**. 1994. 293f. PhD thesis, Australian National University, Canberra. 1994.
- BURROWS, N.D. Fire caused bole damage to jarrah (*Eucalyptus marginata*) and marri (*Eucalyptus calophylla*). Dept. Cons. Land Manage. **Western Australian Research**. Note n.3, 1987.
- BYRAM, G. M. Combustion of Forest Fuels. In: Davis, K. P. (ed.) **Forest Fire: Control and Use**, New York: McGraw-Hill., p. 61-89, 1959.
- CARVALHO, P. A. C. F. **Modelação do risco de incêndio florestal com redes neurais artificiais: aplicação ao Parque Natural de Montesinho**. 2005, 180f. Dissertação (Mestrado em ciências e sistemas de informações geográficas) Instituto Superior de Estatística e Gestão da informação da Universidade Nova de Lisboa , Portugal, 2005.
- CHATTO, K. Fuel hazard levels in relation to site characteristics and fire history – Chiltern Regional Park case study. **Fire Management Research Report**, n.43. East Melbourne: Fire Management Branch, Department of Natural Resources and Environment. 1996. 34p.
- CHENEY, N.P., Fire behaviour. In: Gill, A.M., Groves, R.H., Noble, I.R. (Eds.), **Fire and the Australian Biota**. Sydney: Australian Academy of Science, pp. 151–176.

CHENEY, N., GOULD, J., MCCAWE, W., ANDERSON, W., 2012. Predicting fire behaviour in dry eucalypt forest in southern Australia. **Forest Ecology and Management** v. 280, n. 1, p.120-131, 1981.

CIFFC. **Glossary Of Forest Fire Management Terms**. CANADIAN INTERAGENCY FOREST FIRE CENTRE. 2002. 47 p.

CONROY, B. 1993. "The Changing Fire Environment in Australia"; The Burning Question: Fire Management in NSW; A conference presented by the Department of Continuing Education at the University of New England-Armidale for the Department of NSW Bush Fire Services; **Proceedings...**5th to 7th August 1993; pp. 25-31

DRYSDALE, D. **An introduction to fire dynamics**. 3ª Ed. Wiley: New York, 2011, 512p.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MATO GROSSO. **Diagnóstico de Florestas Plantadas do Estado de Mato**. Cuiabá: FAMATO, 2013. 106p.

FENNER, P. T.; LIMA, G. S. Características e modelagem de materiais combustíveis florestais. In: Encontro sobre incêndios florestais, 1., 1992, Botucatu, **Anais...**, Botucatu: UNESP, 1992, p. 87 - 96.

FERNANDES, P. A. M. Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 144, p. 67-74, 2001.

FERNANDES, P. A. M. **Desenvolvimento de relações preditivas para uso no planeamento de fogo controlado em plantios de *Pinus pinaster* Ait.** 2002. 285 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Ciências Florestais) Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2002.

FERNANDES, P. A. M. **"Eucaliptização" e vulnerabilidade aos incêndios**. 2006. Disponível em: <http://ambio.blogspot.com.br/2006/01/eucaliptizacao-e-ulnerabilidadeaos.html>. Acesso em 07 Out. 2015.

FERNANDES, P. A. M. Examining fuel treatment longevity through experimental and simulated surface fire behaviour: a maritime pine case study. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 39, p. 2529-2535, 2009.

FERNANDES, P. A. M.; LOUREIRO, C. Fine fuels consumption and CO2 emissions from surface fire experiments in maritime pine stands in northern Portugal. **Forest Ecology and Management**, v. 291, p. 344-356, 2013.

FERNANDES P. A. M.; LOUREIRO, C.; PALHEIRO, P.; VALE-GONÇALVES, H.; FERNANDES, M. M.; CRUZ, M. G. Fuels and fire hazard in blue gum (*Eucalyptus globulus*) stands in Portugal. **Boletín del CIDEU**, v. 10, p. 53-61, 2011.

FERNANDES, P.; BOTELHO, H.; LOUREIRO, C. **Manual de formação para a técnica do fogo controlado**. Vila Real: UTAD, 2002. 144 p.

FERNANDES, P.; LOUREIRO, C. **Handbook to plan and use prescribed burning in Europe**. Universidade de Trás-os-Montes e Auto Douro, Vila Real-Portugal, 2010. 37 p

- GILL, A.M. Eucalypts and fires: interdependent or independent? In: WILLIAMS, J.E.; WOJNARSKI J.C.Z. **Eucalypt Ecology** (Eds.). Cambridge University Press, UK. pp. 151-167. 1997
- GILL, A.M., ZYLSTRA, P. Flammability of Australian forests. **Australian Forest Research**. V.68, p.87–94. 2005
- GILROY, J.; TRAN, C. A new fuel load model for eucalypt forest in southeast Queensland. In: Bush Fire Conference, 9., 2006, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane, 2006. Paper n° 8.
- GOULD, J. S.; MCCAWE, W. L.; CHENEY, N. P. Quantifying fine fuel dynamics and structure in dry eucalypt forest (*Eucalyptus marginata*) in Western Australia for fire management. **Forest Ecology and Management**. V.262, p.531–546, 2011.
- GOULD, J. S.; MCCAWE, W. L.; CHENEY, N. P.; ELLIS, P. F.; KNIGHT, I. K.; SULLIVAN, A. L. **Project Vesta-Fire in Dry Eucalypt Forest: Fuel Structure, Fuel Dynamics and Fire Behaviour**. Ensis-CSIRO, Canberra ACT, and Department of Environment and Conservation. Perth, WA, 2007, 218 p.
- HARRINGTON, M. **Predicting Reduction of Natural Fuels by Prescribed Burning Under Ponderosa Pine in Southeastern Arizona**. USDA Forest Service, 1987. (Res. Note RM-472).
- HOLLIS, J., ANDERSON, W., MCCAWE, W., CRUZ, M., BURROWS, N., WARD, B., TOLHURS, K., GOULD, J. The effect of fireline intensity on woody fuel consumption in southern Australian eucalypt forest fires. **Australian Forestry** v.74, n.2, p.81–96. 2011.
- HUTSON, B.R.; VEITCH, L.G. Relationships between litterfall rate, litter mass and decomposition rate in Eucalyptus forests in southeastern Australia. **Australian Journal of Ecology**. v.10, p.443–450. 1985.
- KLOSTER, S., N. M. MAHOWALD, J. T. RANDERSON, P. E. THORNTON, F. M. HOFFMAN, S. LEVIS. Fire dynamics during the 20th century simulated by the Community Land Model. **Biogeosciences**. v.7, p.1877–1902. 2010.
- KUÇUK, O.; BILGILI, E.; SAGLAM, B.; BASKAYA, S.; DINÇ DURMAZ, B. Some parameters affecting fire behavior in anatolian black pine slash **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.32, n.1, 121-129, 2008.
- LENTILE, L. B. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**, v.15, p.319-345, 2006.
- MARSDEN-SMEDLEY, J.B. (2009). **Planned burning in Tasmania: operational guidelines and review of current knowledge**. Fire Management Section, Parks and Wildlife Service, Department of Primary Industries, Parks, Water and the Environment, Hobart, Tasmania. 100p.
- MARSDEN-SMEDLEY, J.B. (2011). Planned burning in Tasmania. III. Revised guidelines for conducting planned burning. **Tasforests** 19: 122-134.

- MARSDEN-SMEDLEY, J.B.; CATCHPOLE W.R. Fire modelling in Tasmanian buttongrass moorlands II. Fire behaviour. **International Journal of Wildland Fire** v.5, p.215-228. 1995
- MARSDEN-SMEDLEY J.B; L. J. SHERRIFF. **Planned burning manual - guidelines to enable safe and effective planned burning on private land**. Tasmania, NRM North, Launceston. 2014. 40p.
- McARTHUR, A. G. **Control burning in eucalypt forest**. Canberra: Australia Forestry and Timber Bureau, v. 80, 1962. 31 p.
- McARTHUR, A. G. **Fire behaviour in eucalypt forests**. Canberra: Australia Forestry and Timber Bureau, v. 107, 1967.
- McCAW, L., SMITH, B. **Fire behaviour in a 6 year old Eucalyptus globulus plantation during conditions of extreme fire danger – a case study from south-western Australia**. Science Division, Department of Conservation and Land Management, 2005. 16p.
- McCAW, L.; GOULD, J.S.; CHENEY, N.P. Existing fire behaviour models under-predict the rate of spread of summer fires in open jarrah (*Eucalyptus marginata*) forest. **Australian Forestry** v.71, p.16-26, 2008.
- MILLAR, C; URBAN, D.L. Connectivity of forest fuels and surface fire regimes. **Landscape Ecology**. v.15, p.145-154. 2000.
- MOREIRA, F., VA Z, P., CATRY, F., SILVA, J. S. Regional variations in wildfire preference for land cover types in Portugal: implications for landscape management to minimise fire hazard. **International Journal of Wildland Fire**. v.18, p.563-574, 2009.
- NWCG. **Wildland Fire Suppression Tactics Reference Guide**. PMS-465. National Wildfire Coordinating Group. 1996. 346 pag
- NWCG. **Glossary of Wildland Fire Terminology**. PMS-27. National Wildfire Coordinating Group 2008. 186 pag
- NWCG. **Incidente Response Pocket Guide**. PMS-461. National Wildfire Coordinating Group 2014. 110 pag
- PAUSAS, J. G.; RIBEIRO, E. The global fireproductivity relationship. **Global Ecology and Biogeography**. v.22, p.728–736. 2013
- PEREIRA, J. F. **Comportamento do fogo em função da FMA+ em queimas prescritas sob plantios de Pinus taeda no município de Irati - PR**. 2015, 161f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 2015.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. São Paulo: Agropecuária Ltda., 2002.
- RAISON, R.J.; WOODS, P.V.; KHANNA, P.K. Dynamics of fine fuels in recurrently burnt eucalypt forests. **Australian Forest Research Journal**. v.6, n.4, p.294-302, 1983.

REGO, F. C.; BOTELHO, H. S. **A técnica do fogo controlado**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real: UTAD, 1990. 124 p.

RIBEIRO, G. A. **Estudo do comportamento do fogo e de alguns efeitos da queima controlada em plantios de *Eucalyptus viminalis* Labill em três Barras, Santa Catarina**. 145p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1997.

RIBEIRO, G. A.; SOARES, R. V. Caracterização do material combustível superficial e efeitos da queima controlada sobre sua redução em um plantio de *Eucalyptus viminalis*. **Revista Cerne**, Lavras, v.4, n.1, p. 58-72, 1998.

RIBEIRO, G.A.; BONFIM, V.R. Incêndio Florestal versus queima controlada. **Ação Ambiental**, Viçosa, v. 2, n. 12, p. 8-11, 2000.

ROTHERMEL, R. C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fires**. Ogden: USDA Forest Service, 1972. 41p. (Research Paper INT-115).

ROUSSOPOULOS, P.J; JOHNSON,J. **Help in making fuel management decisions**. Washington, DC: U.S. Forest Service, 1975. 16 p. (Research Paper INT – 112).

FREITAS, S.; LONGO, K. M.; SILVA-DIAS, M. A. F.; SILVA-DIAS, P. L. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **ESTUDOS AVANÇADOS** v.19, n.53, p.2005 167-185, 2005.

SCHROEDER, M. J.; BUCK, C. C. **Fire weather: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations**. USDA Forest Service, Agriculture Handbook N° 360, 1970. 229 p.

SCOTT, J. H. **Introduction to Wildfire Behavior Modeling**. USDA Forest Service, National Interagency Fuels, Fire, & Vegetation Technology Transfer. 2012. 149 p.

SEGER, C. D.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; SOARES, R. V. Comportamento do Fogo em Queimas Controladas de vegetação de Estepe no Município de Palmeira, Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 4, p. 547 - 558, out./dez. 2013.

SMITH, R.; LAMONT, D. **Kimberley Bush Fire Burning Guidelines and Firebreak Location, Construction and Maintenance Guidelines**. Perth: Fire & Emergency Services Authority of Western Australia, 2007, 56 p.

SMITH, M.A.; GRANT, C. D. LONERAGAN, W. A. KOCH, J.M . Fire management implications of fuel loads and vegetation structure in jarrah forest restoration on bauxite mines in Western Australia. **Forest Ecology and Management**. v.187, p.247–266, 2004.

SOARES, R. V. Queimas Controladas: prós e contra. In: Forum Nacional Sobre Incendios Florestais, 1., Curitiba, 1995 **Anais...**Curitiba: IPEF: 6-10, 1995

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: FUPEF, 2007. 264 p.

SOUZA, L. J. B.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Modelagem do material combustível superficial em plantios de *Eucalyptus dunnii*, em Três Barras, SC. **Cerne**, Lavras, v. 9, p. 231-245, 2003.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Revista Nativa**. v.1, n.1, p.34-43, out./dez, 2013

STANGERLIN, D. M.; HENNERICH, M.; GOMES, F. A.; CALEGARI, L.; MELO, R. R.; GATTO, D. A. Quantificação do material combustível acumulado na serapilheira de uma floresta de *Eucalyptus grandis*. In: Congresso de Iniciação Científica da UFPEL, 16., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas, 2007.

STOCKS, B. J. Fire behavior in mature jack pine. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 19, p. 783-790, 1989.

TOLHURST K. G.; Cheney, N. P. 1999. **Synopsis of the knowledge used in prescribed burning in Victoria**. Fire Management Branch, Department of Natural Resources and Environment, Melbourne, Victoria.

TROLLOPE, W. S. W.; TROLLOPE L. A.; HARTNETT, D. C. Fire behaviour a key factor in the fire ecology of African grasslands and savannas. In: VIEGAS, D. X. (Ed.). **Forest Fire Research & Wildland Fire Safety**. Millpress, Rotterdam. 2002. 15 p.

THE SCOTTISH GOVERNMENT. Prescribed Burning on Moorland, Supplement to the Muirburn Code: A Guide to Best Practice. Edinburgh: APS Group Scotland. 2011. 47 pag.

TURNER, J.; LAMBERT, M. J. (2002) Litterfall and forest floor dynamics in *Eucalyptus pilularis* forests. **Austral Ecology** v, 27, 192–199

VAN LOON, A.P. **Investigations into the effects of prescribed burning on young even-aged blackbutt**. New South Wales: Forestry Commission of New South Wales, 1969. 49 p. (Research Note, n. 23).

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: 2006. Versão Digital, 443p.

VEGA, J. A. Investigación sobre control de incendios en España. In: REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF, 4., 1996, Curitiba; CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 2., 1996, Curitiba. **Anais**, Curitiba: FUPEF, 1996. p. 40 - 56.

VIEGAS, D. X. Modelos do comportamento do fogo. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO SOBRE PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS, 4.; REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA SIF/FUPEF/IPEF SOBRE CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 8., 2007, Viçosa. **Anais...** Viçosa, 2007, p 96-132.

WADE, D.D.; LUNDSFORD, J. Fire as a management tool: prescribed burning in the Southern United States. **Unasylva**, Rome, v. 41, n. 162, p. 28-38, 1990.

WALKER, J. Fuel dynamics in Australian vegetation. In: Gill, A.M., Groves, R.H. and Noble, I.R. (eds) **Fire and the Australian Biota**. Australian Academy of Science, Canberra, pp. 101–128. 1981.

WESTERLING, A. L.; HIDALGO, H. G.; CAYAN, D. R.; SWETNAM, T. W. Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. **Science** v.313, p.940–943. 2006.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. Caracterização do material combustível e simulação do comportamento do fogo em eucaliptais no litoral norte da Bahia, Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, V. 44, N. 1, P. 33 - 42, JAN. / MAR. 2014.

WHITE, B. L. A. **Modelagem Matemática e Avaliação do Comportamento do fogo em Liteira de Eucalipto**. 2014. 190 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe. 2014.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T.; FERNANDES, P. A. M. Development of a fire danger index for eucalypt plantations on the northern coast of Bahia, Brazil. **Revista Floresta**, v. 43, n. 4, p. 601-610, 2013.

ZHAO, W. W.; BLAUW, L. G.; VAN LOGTESTIJN, R. S. P.; CORNWELL, W. K.; CORNELISSEN, J. H. C. Interactions between fine wood decomposition and flammability. **Forests** v.5, p.827–846. 2014.

CAPÍTULO 3 – Artigo 2

VALIDAÇÃO DE SIMULAÇÕES DO COMPORTAMENTO DO FOGO EM ÁREA DE *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) COM *BehavePlus* e *Eucalyptus Fire Safety System*

RESUMO: O objetivo deste estudo foi comparar os resultados de queimas experimentais realizadas em um plantio de *Eucalyptus urograndis* (clone H13) com as simulações de dois programas computacionais, o *BehavePlus* e o *Eucalyptus Fire Safety System (EFSS)*. As queimas experimentais foram realizadas em um plantio que foi dividido em três tratamentos: EM (interface eucalipto-mata), EL (interface eucalipto-lavoura) e EE (centro do talhão), ao longo de 5 meses (estação seca). As queimas foram realizadas em parcelas de 3 x 20 m. A topografia é plana e a velocidade do vento foi medida a cada 5 min com estação meteorológica. Para realizar as simulações foram utilizados dados de material combustível superficial coletado em uma área de 1 m², com quatro repetições por parcela e caracterizado de acordo com Rothermel (1972). A posição EL e os meses de julho e setembro apresentaram os valores mais significativos simulados em ambos os *softwares*. O *BehavePlus* superestimou os valores simulados. O *EFSS* apresentou o melhor desempenho nas simulações. Com base nas simulações do comportamento do fogo, o mês de julho é o mais indicado para a realização de queimas controladas.

Palavras-chave: plantios florestais, incêndios florestais, queimas controladas, simulação.

VALIDATION OF FIRE BEHAVIOR SIMULATIONS IN *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) STANDS WITH *BehavePlus* AND *Eucalyptus Fire Safety System*.

ABSTRACT: The objective of this study was to compare the results of experimental burns carried out in a plantation of *Eucalyptus urograndis* (H13 clone) with simulations of two computational programs, *BehavePlus* and *Eucalyptus Fire Safety System (EFSS)*. The experimental fires were conducted on a plantation that was divided into three treatments: EF (eucalyptus-forest interface) EL (eucalyptus-crop interface) and EE (center of the field) during 5 months (dry season). The fires were carried out in areas of 3 x 20 m. The topography is flat and the wind speed was measured every 5 min with weather station. To perform the simulations were used data from surface combustible material collected in an area of 1 m², with four replications per portion and characterized according to Rothermel (1972). The EL position and the months of July and September showed the most significant values in both simulated software. The *BehavePlus* overestimated the simulated values. The *EFSS* showed the best performance in the simulations. Based on the fire behavior of the simulations, the month of July is the most indicated for conducting controlled fires.

Keywords: forest plantations, software, prescribed burning, simulation fire behavior.

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais ocorrem anualmente em períodos secos causando diversos problemas para as agências de combate e ocasionando a destruição de propriedades rurais e prejuízos econômicos nas áreas de reflorestamentos (KOUBARAKIS et al., 2013), o que torna importante a utilização de sistemas operacionais de gestão, que integrem o comportamento do fogo e modelos de perigo aos módulos de planejamento de apoio à decisão dos gestores florestais (KALABOKIDIS et al., 2014a).

A tecnologia da informação fornece os meios necessários para a utilização de soluções sofisticadas em gestão do fogo. Os *softwares* usados em simulação da propagação dos incêndios têm se tornado cada vez mais importante como ferramenta de apoio e suporte para a tomada de decisão dos gestores florestais (FINNEY, 2003; RODRÍGUEZ; SILVA, 2003; ANDREWS, 2007), pois seu objetivo é simular o mecanismo de propagação do fogo na natureza aproximando o máximo possível do que acontece na realidade (GOULD; TOBOCHNIK, 1996).

Neste contexto, o uso de simuladores do comportamento do fogo tem se mostrado como uma ferramenta eficiente para obter a probabilidade e a severidade do incêndio, em função de diferentes condições ambientais e de classes de combustíveis (STRATTON, 2004; FINNEY, 2005; AGER et al., 2007; ARCA et al., 2007; FINNEY, 2007; NOONAN et al., 2009; WHITE et al., 2013a; SALIS et al., 2014; WHITE et al., 2014).

O conhecimento adquirido com as simulações podem ser aplicados na definição de estratégias e táticas de prevenção e combate, no planejamento da paisagem, na estimativa dos efeitos ecológicos dos incêndios, na concepção do tratamento de combustível que alteram o comportamento do fogo, (TAYLOR et al., 1997; KALABOKIDIS, 2004; AGER et al., 2011; NOONAN-WRIGHT et al., 2011; MILLER; AGER, 2013) na previsão, identificação e definição espacial de áreas de risco e no planejamento das ações necessárias como parte de um sistema de governança de risco de incêndio (FINNEY, 2004).

A utilização de *softwares* em sistemas de apoio à decisão em operações com incêndio florestal tem sido realizada em diferentes países como Espanha (ALONSO-BETANZOS et al., 2003), França (FIGUERAS JOVÉ et al., 2014), Grécia (KALABOKIDIS et al., 2013), Itália (LOSSO et al., 2012), Turquia (GUMUSAY; SAHIN, 2009) e EUA (NOONAN-WRIGHT et al., 2011).

Os softwares de predição do comportamento do fogo mais utilizados na literatura são o *FARSITE* (FINNEY, 2004), o *FlamMap* (FINNEY, 2006) e o *BehavePlus Fire Modeling*

System - BehavePlus (ANDREWS; BEVINS; SELI, 2003), que apresentam como resultados valores da velocidade de propagação do fogo, comprimento das chamas, intensidade da linha do fogo, energia calorífica, dentre outros (WHITE et al., 2013a).

O *BehavePlus* é um *software* muito utilizado por gestores do fogo em países como Estados Unidos, Canadá e Austrália (ANDREWS et al., 2005; ANDREWS, 2010). No Brasil foi utilizado por Mistry e Berardi (2005) para avaliar o potencial do dano pelo fogo em vegetação de cerrado; por Hoffmann et al., (2012) na definição de parâmetros do comportamento do fogo em áreas de cerrado e floresta, por White et al., (2013a) para simular o comportamento do fogo no Parque Nacional Serra de Itabaiana; e por White et al (2014) na simulação do comportamento do fogo em plantios de *Eucalyptus urograndis* em diferentes cenários de umidade do combustível. No entanto, estes autores não realizaram queimas experimentais para validarem seus resultados.

Apesar de Wagtendonk e Botti (1984), Hough e Albine (1978) e Glitzenstein et al. (2006) em seus estudos com simulações realizadas com o *BehavePlus* terem apresentado resultados positivos nas validações, autores como Fernandes (2002), Fernandes (2009) e Stephens et al. (2008) não encontraram resultados satisfatórios que indicassem a utilização do *BehavePlus* para prever o comportamento do fogo.

White (2014) realizou simulações do comportamento do fogo com o *BehavePlus* e comparou com resultados de queimas experimentais em laboratório utilizando materiais da serrapilheira de *Eucalyptus* spp. O autor não encontrou resultados satisfatórios nas validações, em virtude disso, desenvolveu o *software Eucalyptus Fire Safty System (EFSS)* para ser utilizado em plantios de eucalipto no Brasil.

Portanto, o uso de *softwares* para prever o comportamento do fogo desempenha um papel importante no suporte à tomada de decisão na gestão das operações envolvendo o fogo em área florestal, porém, essas informações precisam ser validadas, uma vez que podem ficar restritas ao campo teórico (WHITE et al., 2013b). Essa validação pode ocorrer tanto pela correlação com os dados históricos dos incêndios como através da comparação dos resultados obtidos nas queimas experimentais com as informações previstas nos programas computacionais existentes.

O objetivo deste estudo foi comparar os resultados de queimas experimentais realizadas em um plantio de *Eucalyptus urograndis* (clone H13) com as simulações de dois programas computacionais, o *BehavePlus* e o *EFSS*, para identificar qual ferramenta computacional pode ser utilizada pelo gestor florestal para manejar a área.

2 METODOLOGIA

2.1 Queimas experimentais

As queimas controladas foram realizadas no município de Sorriso, região centro oeste, mesorregião geográfica norte do estado de Mato Grosso. As parcelas foram inseridas entre as latitudes 12° 32' 43" S e as longitudes 55° 42' 41" W, com altitude média de 365 metros (Figura 10) e topografia plana. A pesquisa realizou-se em área de plantio de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13) de 4,5 anos de idade, com árvores plantadas no espaçamento de 3,0 x 3,0 metros (linha x entrelinha), na Fazenda Santo Antonio, localizada aproximadamente a 45 km ao sul da cidade de Sorriso.

Pela classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw (tropical quente e úmido), caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: chuvosa (outubro e abril) e seca (maio a setembro); com baixa amplitude térmica anual (médias mensais variando entre 24 e 27 °C) e precipitação média anual em torno de 1974 mm (SOUZA et al., 2013).

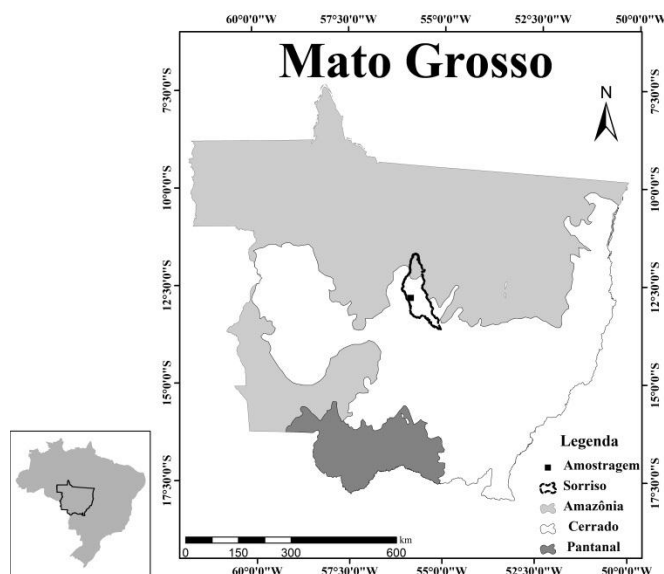


Figura 9 –Localização da área experimental e do município de Sorriso, no estado de Mato Grosso.

A área experimental é margeada em seu lado sul por uma lavoura de algodão e no lado norte por um remanescente de floresta com altura média de 15 m. O estabelecimento das parcelas objetivou avaliar a influência dessas interações (bordaduras) sobre o comportamento do fogo.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados, com arranjo fatorial de 4 x 3 (meses x posições no talhão), com três repetições (Figura 10). Os meses variaram de junho a setembro e as posições no talhão foram definidas como EL (parcelas à 30 m de distância de bordaduras com lavoura – soja/algodão), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas à 30m de distância de uma floresta). As parcelas possuíam dimensões de 3 x 20 m e foram instaladas acompanhando o alinhamento de plantio e em nível, com aceiros de 1m em todas as interfaces. O número de parcelas foi obtido de acordo com a metodologia de amostragem sequencial, com um limite de erro de 10% a um nível de probabilidade de 95%, sendo estabelecido como 36 parcelas (3 posições x 3 repetições x 4 meses). O teste Kolmogorov-Smirnov foi aplicado para definir se a quantidade de material combustível apresentou distribuição normal.

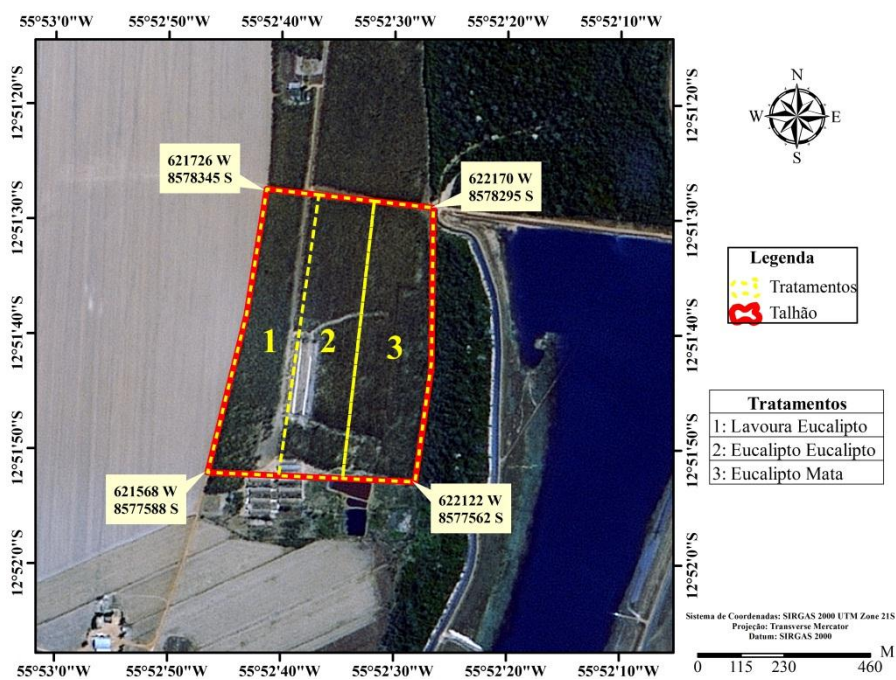


Figura 10 – Delineamento experimental para medir as influências das interfaces floresta e lavoura.

Em todos os meses foi empregada a técnica de queima a favor do vento, sendo estabelecidos sempre os mesmos horários de queima por parcela, para reduzir o erro obtido em cada tratamento em virtude do horário de amostragem.

Durante as queimas foram registradas variáveis e/ou procedimentos de coleta em conformidade com os padrões adotados internacionalmente e recomendados por diversos autores como Burrows (1999), Gilroy e Tran (2006), Kuçuk et al. (2008), Fernandes et al. (2011), Gould et al. (2011) e Hollis et al. (2011).

2.2 Material combustível

2.2.1 Amostragem

O material combustível foi coletado ao lado de cada parcela (distância máxima de 6,0 m) e com mesmas condições de serrapilheira. Foram demarcadas 04 (quatro) subparcelas aleatórias de 1,0 x 1,0 m para quantificação do material combustível total (totalizando 12 repetições por tratamento). O combustível consumido foi obtido pela diferença entre a biomassa anterior à queimada (serrapilheira) e o combustível residual pós-queima (mensurado em áreas de 1,0 m² em cada posto de observação).

As metodologias utilizadas para coletar, categorizar e determinar a massa foram baseadas em trabalhos de Rothermel (1972) e Brown et al. (1982): A) material combustível vivo: i) material herbáceo (MVH) - plantas espontâneas que possuem a consistência e porte de vegetação rasteira (gramíneas, leguminosas, musgos e samambaias, dentre outras); ii) material lenhoso (MVL): inclui a folhagem, casca e os pequenos ramos dos arbustos vivos (materiais vegetais cujo diâmetro é menor ou igual a 0,70 cm); B) material combustível morto (seco): i) folhas; ii) MS1: material seco com diâmetro menor ou igual a 0,70 cm; iii) MS2: material seco com diâmetro maior que 0,70 e menor ou igual a 2,50 cm; iv) MS3: material seco com diâmetro maior que 2,50 e menor ou igual a 7,60 cm.

Após a coleta, classificação e determinação da massa úmida, foram retiradas subamostras representativas de cada classe de material combustível (100 g) para determinação da massa seca e do teor de umidade, que por sua vez, foram obtidos pela secagem em estufa de circulação forçada de ar, na temperatura de $\pm 65^{\circ}\text{C}$ até atingir peso constante.

2.2.2 Caracterização (Massa seca, umidade do material e altura da serrapilheira)

O material combustível utilizado nas simulações está caracterizado de acordo com levantamentos feitos na área e descritos na Tabela 11. Independentemente da parcela, não houve ocorrência de materiais nas classes MS3 e MVL.

Tabela 11. Massa seca ($t\ ha^{-1}$) do material combustível de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.

Posição	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
Classe MS1 (diâmetro $\leq 0,7$ cm)					
EL	8,28	8,01	10,34	14,35	9,83
EE	9,18	8,03	10,79	12,70	9,857
EM	11,42	9,34	11,61	11,54	10,85
Media	9,62	8,46	10,91	12,86	
Classe MS2 (0,7cm < diâmetro $\leq 2,5$)					
EL	4,01	3,83	2,77	3,56	3,62
EE	3,87	3,87	3,57	3,89	3,82
EM	5,30	4,45	4,55	5,49	4,93
Media	4,39	4,05	3,63	4,31	
Material Herbáceo					
EL	0,003	0,005	0,002	0,021	0,007
EE	0,0099	0,008	0,005	0,044	0,015
EM	0,283	0,23	0,20	0,55	0,31
Media	0,098	0,082	0,0695	0,21	
MS Total					
EL	12,29	11,84	13,11	17,93	13,46
EE	13,05	11,92	14,36	16,63	13,69
EM	16,99	14,02	16,36	17,57	16,09
Media	14,11	12,59	14,61	17,38	

Na Tabela 12 estão descritos os percentuais de umidade do material combustível da área, utilizados nas simulações.

Tabela 12. Percentual de umidade do material combustível de *E. urograndis* (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.

Posição no talhão	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
Classe MS1 (diâmetro < 0,7cm)					
EL	9,25	8,09	7,65	5,27	7,75
EE	7,56	9,68	8,32	5,53	7,97
EF	9,29	11,71	8,72	7,66	9,59
Media	8,70	9,83	8,23	6,15	
Classe MS2 (0,7cm < diâmetro $\leq 2,5$)					
EL	9,89	9,33	8,24	5,95	8,42
EE	9,59	11,07	8,74	6,20	9,18
EF	11,67	12,40	8,68	8,56	10,66
Media	10,38	10,93	8,56	6,90	
Material Herbáceo					
EL	46,19	77,10	11,23	8,56	30,43
EE	47,85	40,55	9,87	0,85	45,31
EF	95,13	78,47	69,30	20,95	70,06
Media	63,06	65,38	30,14	10,12	

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. EL (parcelas na interface eucalipto/lavoura), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas na interface eucalipto/floresta).

As simulações realizadas pelo *BehavePlus* e *EFSS* são bastantes sensíveis à altura da serrapilheira, que é utilizada para definir a densidade do material combustível (*fuel bed bulk*

density), que consiste na carga total do material combustível seco por volume do leito do material combustível (ANDREWS, 2009; WHITE et al., 2014).

Na Tabela 13 estão descritos os valores de altura da serrapilheira e densidade do material combustível, utilizados nas simulações.

Tabela 13. Altura da serrapilheira de *E. urograndis* (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.

Posição no talhão	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
Altura (cm)					
EL	13,58	12,25	13,42	13,08	13,07
EE	11,33	11,50	10,50	12,33	11,37
EF	10,50	10,18	10,08	11,00	10,40
Media	11,81	11,31	11,33	12,14	
Densidade (kg m ⁻³)					
EL	9,25	9,82	10,03	13,84	10,47
EE	11,81	10,49	13,96	13,73	12,26
EF	16,66	14,17	16,80	16,30	15,89
Media	12,57	11,50	13,60	14,62	

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. EL (parcelas na interface eucalipto/lavoura), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas na interface eucalipto/floresta).

2.3 Variáveis ambientais monitoradas durante as queimas controladas

Os fatores abióticos como temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação, em conjunto com as propriedades do combustível determinam o comportamento do fogo (WESTERLING et al., 2006; KLOSTER et al., 2010; PAUSAS; RIBEIRO, 2013).

Na Tabela 14 estão os valores médios das variáveis meteorológicas monitoradas durante a realização das queimas controladas e utilizadas para realizar as simulações.

Tabela 14. Valores médios da temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, durante as realizações das queimas controladas, em diferentes posições no talhão e meses do ano de 2015.

Trat.	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
V (km h⁻¹)					
EL	1,79	1,73	2,74	4,54	2,70
EE	1,60	1,75	2,38	3,62	2,34
EF	0,88	0,59	2,02	1,67	1,29
Media	1,42	1,37	2,38	3,28	
T (°C)					
EL	29,62	32,99	36,13	40,01	34,61
EE	32,29	32,97	36,77	39,69	35,43
EF	30,39	27,94	32,67	37,68	32,17
Media	30,77	31,30	35,19	39,13	
UR (%)					
EL	48,60	21,70	17,47	10,10	24,62
EE	38,07	25,17	17,90	10,70	22,96
EF	44,00	53,57	30,83	15,40	35,95
Media	43,56	33,48	22,01	12,07	

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. EL (parcelas na interface eucalipto/lavoura), EE (parcelas no centro do talhão) e EF (parcelas na interface eucalipto/floresta).

A execução de queimas controladas em área de eucalipto deve ser realizada em condições seguras para que a intensidade do fogo e o comprimento de chama sejam baixos (FERNANDES et al., 2002) e os intervalos ideais para a sua execução são de 3 a 10 km h⁻¹, 20 a 50% e 10 a 25 °C, para velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura do ar, respectivamente (MARSDEN-SMEDLEY, 2009; FERNANDES; LOUREIRO, 2010).

2.4 Simulando o comportamento do fogo

Foram utilizados dois programas computacionais: 1) *BehavePlus Fire Modeling System* (5.0.5), é um *software* livre e pode ser obtido através do *download* no link <https://www.frames.gov/partner-sites/behaveplus/software-manuals/>. 2) *Eucalyptus Fire Safety System* – EFSS (1.0), não é um *software* livre, sendo que o uso neste estudo foi autorizado por seu programador Benjamin Leonardo Alves White, para solicitar uma versão, basta entrar em contato através do e-mail: benjmk@hotmail.com.

Para realizar as simulações foram utilizados os dados de entrada referente as 36 queimas experimentais. Foi realizado o mesmo número de simulações utilizando os *softwares* *BehavePlus Fire Modeling System* 5.0.5 e *Eucalyptus Fire Safety System* 1.0 a fim de verificar a eficiência dos modelos matemáticos utilizados pelo programa.

Para a realização das simulações em cada parcela de queima foi utilizado o valor médio da velocidade do vento, pois em cada parcela foram obtidos 10 valores de velocidade

de propagação e comprimento de chama, porém a velocidade do vento foi medida a cada 5 minutos, gerando um valor correspondente ao tempo de duração da queima. Desta forma, optou-se em utilizar o valor médio. Para a topografia foi utilizado 0°.

2.6.1 *BehavePlus*

As variáveis de entrada (*inputs*) necessárias para simular o comportamento do fogo ao se optar por modelos customizados estão descritas na tabela 15.

Tabela 15 - **Relação das variáveis de entrada necessárias para simular o comportamento da frente do fogo em um incêndio florestal superficial utilizando o *BehavePlus* (Andrews, 2009).**

Variáveis	Variáveis de Entrada (Inputs)
Material combustível superficial	Modelo do material combustível
	Tipo do modelo do material combustível
	Carga do material combustível de 1-h de <i>timelag</i> (t.ha ⁻¹) – MS1
	Carga do material combustível de 10-h de <i>timelag</i> (t.ha ⁻¹) – MS2
	Carga do material combustível de 100-h de <i>timelag</i> (t.ha ⁻¹) – MS3
	Carga do material vivo herbáceo (t.ha ⁻¹) - MH
	Carga do material vivo lenhoso (t.ha ⁻¹) – ML
	Área superficial pelo volume do material de 1-h de <i>timelag</i> (m ² .m ⁻³)
	Área superficial pelo volume do material vivo herbáceo (m ² .m ⁻³)
	Área superficial pelo volume do material vivo lenhoso (m ² .m ⁻³)
	Espessura do Leito (m) – Altura da Liteira
Umidade de extinção do material combustível morto (%)	
Energia calorífera do material combustível morto (kJ.kg ⁻¹)	
Energia calorífera do material combustível vivo (kJ.kg ⁻¹)	
Umidade	Umidade do material combustível de 1-h de <i>timelag</i> (%) – MS1
	Umidade do material combustível de 10-h de <i>timelag</i> (%) – MS2
	Umidade do material combustível de 100-h de <i>timelag</i> (%) – MS3
	Umidade do material vivo herbáceo (%) – MH
	Umidade do material vivo lenhoso (%) – ML
Clima	Velocidade do vento a 1,8m de altura (Km.h ⁻¹)
Relevo	Declividade do terreno (%)

Para calcular as características de um incêndio florestal superficial devem ser utilizados os valores estatísticos médios das variáveis do material combustível, relevo e clima da área de estudo (WHITE et al., 2014).

A tabela 16 apresenta os valores estáticos obtidos na literatura para a realização das simulações no *BehavePlus*.

Tabela 16. Valores encontrados na literatura referentes à área superficial pelo volume, umidade de extinção e poder calorífero do material combustível para plantios de eucalipto

Parâmetro	Valor	Referência
Área superficial pelo volume do material de 1 h (m ² /m ³)	4200	Fernandes <i>et al.</i> (2011)
Área superficial pelo volume do material vivo herbáceo (m ² /m ³)	4921	Scott e Burgan (2005)
Área superficial pelo volume do material vivo lenhoso (m ² /m ³)	4921	Scott e Burgan (2005)
Umidade de extinção do material combustível morto (%)	30	Scott e Burgan (2005) Soares e Batista (2007)
Energia calorífera do material combustível morto (kJ/kg)	21000	Fernandes <i>et al.</i> (2011)
Energia calorífera do material combustível vivo (kJ/kg)	21000	Fernandes <i>et al.</i> (2011)

As variáveis de saída comparadas aos resultados das queimas experimentais foram: velocidade de propagação do fogo, intensidade da linha do fogo e comprimento da chama, que são obtidas através dos modelos propostos por Rothermel (1972). O BehavePlus não calcula a quantidade de material combustível consumido.

2.6.2 EFSS

As variáveis de entrada necessárias para a realização das simulações estão descritas na Tabela 17.

Tabela 17 - Relação das variáveis de entrada necessárias para simular o comportamento do fogo em plantios de eucalipto utilizando o EFSS (WHITE, 2014).

Variáveis	Variáveis de Entrada (Inputs)
Material combustível superficial	Carga do material combustível de 1-h de <i>timelag</i> (t/ha) – MS1 Carga total do material combustível morto (t/ha) Espessura do Leito (m) – Altura da Serrapilheira
Umidade	Umidade do material combustível de 1-h de <i>timelag</i> (%) – MS1
Clima	Velocidade do vento a 1,8m de altura (Km/h)
Relevo	Declividade do terreno (%)

As variáveis de saída comparadas aos resultados das queimas experimentais foram a velocidade de propagação do fogo, o comprimento da chama e a porcentagem de material consumido, estas variáveis são calculadas pelas equações propostas por White (2014) e a intensidade da linha do fogo é calculada pela fórmula de Byram (1959).

2.5 Análise estatística

A validação de simulações pode ocorrer de forma subjetiva, por meio de análises superficiais dos dados por especialistas da área; e estatística, através da comparação de parâmetros estatísticos (MENNER, 1995).

Para cada conjunto de valores simulados e observados de velocidade de propagação, comprimento de chama, intensidade e material consumido, as seguintes estatísticas foram utilizadas para validação e avaliação do desempenho das simulações: regressão simples R^2 e dos indicadores estatísticos MBE (*Mean Bias Error*), RMSE (*Root Mean Square Error*), e “d” de Willmott (1981), utilizados em comparações de resultados por diversos autores (SOUZA et al., 2011; BADESCU, 2013) dados por:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P'_i| + |O'_i|)^2}$$

em que:

P_i - valores estimados;

O_i - valores medidos;

N - número de observações;

$|P'_i|$ - valor absoluto da diferença $P_i - \overline{O_i}$;

$|O'_i|$ - valor absoluto da diferença $O_i - \overline{O_i}$.

O indicativo MBE representa o desvio das médias e provê informações quanto à performance do modelo. Apresenta valores negativos ou positivos indicando subestimativa ou superestimativa, respectivamente. Quanto menor o valor absoluto de MBE melhor é a performance do modelo testado (STONE, 1993). O RMSE é a raiz quadrada do erro quadrático médio, calcula a diferença entre os valores reais, obtidos experimentalmente, e os valores previstos pelo *software*, sendo assim, quanto menores os valores obtidos para RMSE melhor a performance do programa. Embora o RMSE seja uma boa medida de precisão, o seu valor deve ser comparado apenas entre modelos de uma variável em particular, já que o seu valor irá depender da escala. Todavia, alguns erros de grande proporção na soma podem causar acréscimos significativos nos valores de RMSE, além de não diferenciar superestimativa de subestimativa. O índice de ajustamento “d”, variando de 0 a 1, representa o quanto os valores estimados se ajustam com os valores medidos (WILLMOTT, 1981). A utilização destes três indicadores em conjunto permite uma alternativa adequada para a

validação estatística, com análises simultâneas dos desvios da média, identificando a ocorrência de sub ou superestimativa, espalhamento e ajustamento do modelo em relação aos valores medidos (SOUZA et al., 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido às dificuldades e problemas envolvendo a obtenção das variáveis de entrada do *BehavePlus* e do fato de ser um programa recente (primeira versão criada em 2002), e a versão 5.0.5 ter sido produzida em 2009, não é muito comum encontrar na literatura trabalhos utilizando esta ferramenta (WHITE et al., 2013a), principalmente no que concerne às comparações com resultados de queimas experimentais, pois a maioria realiza somente previsões do comportamento do fogo aplicada à redução do material combustível (MOHR et al., 2004; VOLLMER, 2005; MORH et al., 2010) ou aos incêndios de copa (CRUZ; ALEXANDER, 2010; ALEXANDER et al., 2013).

Outro fator que dificulta o uso do *BehavePlus* é uso de modelos customizados, pois as variáveis que caracterizam os combustíveis desempenham um papel fundamental no momento das simulações, sendo necessário ajustar as equações para diminuir o erro (FERNANDES, 2002). Principalmente em função das características dos combustíveis, pois os modelos matemáticos foram desenvolvidos para combustíveis dos Estados Unidos (ANDERSON, 1982; ANDREWS 1986; ANDREWS, 2009; SCOTT; BURGAN 2005; ALEXANDER; CRUZ, 2013).

Porém, estudos recentes indicam o *BehavePlus* como uma boa ferramenta no auxílio à tomada de decisão na previsão do comportamento do fogo em queimas controladas (ANDREWS, 2007; DOBRINKOVA et al., 2013; PIQUÉ; GONZALES-OLABARRIA, 2014).

Em relação ao *EFSS*, ainda não há na literatura trabalhos publicados sobre a utilização deste programa nas simulações do comportamento do fogo em áreas florestais. Somente White (2014) desenvolveu e utilizou o *software* em área de *Eucalyptus* spp.

Na tabela 18 estão descritos os trabalhos encontrados na literatura sobre simulação e validação.

Tabela 18 - Simulação e Validação encontrados na literatura, que utilizaram o modelo de Byram (1959) e o de Rothermel (1972) integrado ao módulo "Superfície" no *BehavePlus*.

Local	Tipo de Vegetação	Finalidade do uso do <i>BehavePlus</i>	Simulações satisfatórias?	Referência
Sevivas, Portugal	<i>Pinus pinaster</i>	Verificar a eficiência das simulações do <i>BehavePlus</i> na modelagem do fogo superficial.	Não. Comprimento das chamas e velocidade de propagação subavaliadas.	Fernandes (2002)
Sevivas, Portugal	<i>Pinus pinaster</i>	Verificar a eficiência das simulações do <i>BehavePlus</i> na modelagem do fogo superficial.	Não. Comprimento das chamas e velocidade de propagação subavaliadas.	Fernandes (2009)
Califórnia, E.U.A.	<i>Adenostoma fasciculatum</i>	Comparar os dados obtidos em campo com as simulações do <i>BehavePlus</i> .	Não. Comprimento das chamas e velocidade de propagação subavaliadas.	Stephens et al. (2008)
Sergipe, Brasil	<i>Eucalyptus</i> spp	Comparar os dados experimentais com as simulações utilizando o <i>BehavePlus</i> .	Não Comprimento das chamas e velocidade de propagação subavaliadas	White (2014)
Califórnia, E.U.A.	Seis distintas formações vegetais	Testar o modelo de propagação de Rothermel (1972) com dados de queimadas controladas	Sim. Pequenas diferenças na velocidade de propagação na ordem de 0,9 cm/min	Van Wagtendonk e Botti (1984)
Região Sul dos E.U.A.	<i>Serenoa repens</i> e <i>Ilex glabra</i>	Comparar os dados experimentais com as simulações utilizando o modelo de Rothermel (1972)	Sim. A discrepância não foi considerada grande o suficiente para desqualificar as simulações.	Hough e Albine (1978)
Carolina do Sul, E.U.A.	Vegetação de Interface urbana - florestal.	Avaliar a eficiência do <i>BehavePlus</i> na simulação do comportamento do fogo.	Sim	Glitzenstein a et al. (2006)

Fonte: White (2014), adaptado pelo autor.

3.1 Comportamento do fogo (velocidade, comprimento de chama, intensidade e material consumido)

O material combustível consumido calculado no *EFSS* foi de 100% em todas as posições e épocas, em virtude disso não foi feito teste de validação estatística. Na tabela 19 estão os valores encontrados nas queimas experimentais.

Tabela 19. Percentual de material consumido na queima controlada em áreas de *E. urograndis* (Clone H13), com 4,5 anos de idade, em diferentes épocas do ano e posições no talhão.

Posição no talhão	Junho (27/06/2015)	Julho (25/07/2015)	Agosto (29/08/2015)	Setembro (19/09/2015)	Media
Material Combustível Consumido (%)					
EL	97,89 Aa	97,83Aa	98,15 Aa	98,18 Aa	98,01
EE	94,69 Ba	94,60 Ba	95,62 Ba	95,44 Ba	95,01
EF	93,21 Ca	92,01 Cb	93,21 Ca	92,30 Cab	92,70
Media	95,26	94,81	95,66	95,31	

Os valores encontrados neste estudo demonstram que a porcentagem de material combustível residual na área foi muito pequena e não iria contribuir para um novo incêndio. Desta forma, os resultados encontrados no *EFSS* não podem ser totalmente desprezados ou considerados superestimados, apesar de indicarem um consumo total. De forma generalista, podem ser utilizados para indicarem o tratamento de combustível através de queimas controladas com o objetivo da redução da probabilidade de incêndios florestais.

As velocidades simuladas apresentaram um comportamento similar ao do experimento, pois os maiores valores ocorreram na posição EL e nos meses de setembro e agosto, e menores valores na posição EF e nos meses junho e julho. Na tabela 20 estão os valores encontrados de velocidade nas posições (EL, EE e EF) e ao longo dos meses.

Tabela 20 – Resultado da velocidade de propagação do fogo em queimas experimentais (V) e das simulações.

Trat.	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
V (m/min)					
EL	0,40 Be	0,71 Ab	0,52 Bd	0,87 Aa	0,62
EE	0,47 Ac	0,61 Bb	0,74 Aa	0,77 Ba	0,61
EF	0,41 ABb	0,26 Cd	0,36 Cbc	0,52 Ca	0,37
Media	0,43	0,53	0,54	0,72	
BehavePlus (m/min)					
EL	0,70 Ac	0,63 Ac	1,27 Ab	2,07 Aa	1,17
EE	0,60 Ab	0,57 Ab	0,70 Bb	1,43 Ba	0,83
EF	0,30 Bc	0,27 Bc	0,53 Ba	0,47 Cb	0,39
Media	0,53	0,49	0,83	1,32	
EFSS (m/min)					
EL	0,51 Ac	0,53 Ac	0,64 Ab	0,92 Aa	0,65
EE	0,52 Ab	0,49 Ab	0,55 Bb	0,78 Ba	0,58
EF	0,38 Bb	0,34 Bb	0,49 Ba	0,49 Ca	0,42
Media	0,47	0,45	0,56	0,73	

No geral, as velocidades simuladas pelo *BehavePlus* foram superestimadas, e somente a posição EM apresentou valores próximos ao do experimento. Diferentemente, deste estudo, Fernandes (2002), em queima superficiais controladas em plantios de *Pinus pinaster* Ait.

encontrou predições imprecisas e pouco correlacionadas com as observações em campo, que, quase sempre, foram subavaliadas pelas simulações. Stephens et al., (2008) encontraram valores de velocidade de propagação simulada subestimadas em 50 a 75% dos valores reais. Fernandes (2009), também obteve simulações da velocidade de propagação do fogo menores do que as observadas através de queimadas experimentais em plantações de *Pinus pinaster* em Portugal, com valores 22% menor do que a observada. White (2014) também encontrou velocidade de propagação simulada subestimada, com velocidade experimental 2,89 vezes maior do que a simulada, porém o autor relata que houve alta correlação significativa entre os valores ($r = 0,72$), sendo possível desenvolver uma equação de ajuste do modelo de Rothermel (1972) com base nos dados experimentais com um razoável coeficiente de determinação ($R^2 = 0,52$; $RMSE = 0,42$; $p < 0,0001$). Burrows (1999), utilizando o modelo de Rothermel em serrapilheira de *Eucalyptus marginata* encontrou valores subestimados para velocidade de propagação do fogo.

Os indicativos estatísticos para definição da melhor simulação estão estabelecidos na tabela 21.

Tabela 21 – indicativos estatísticos para a velocidade de propagação em cada posição e época.

Posição/Época	Programa	Regressão linear		R ²	MBE	RMSE	d
		a	b				
EL	<i>BehavePlus</i>	0,4029	0,1892	0,35	0,5430	0,7359	0,9128
	<i>EFSS</i>	0,1209	0,7715	0,47	0,0280	0,1442	0,9957
EE	<i>BehavePlus</i>	0,463	0,2232	0,31	0,1778	0,3562	0,9278
	<i>EFSS</i>	0,2894	0,6124	0,25	-0,063	0,1486	0,9957
EF	<i>BehavePlus</i>	0,2575	0,3291	0,19	0,0052	0,1204	0,9674
	<i>EFSS</i>	0,0476	0,8005	0,36	0,0369	0,0861	0,9956
Junho	<i>BehavePlus</i>	0,3987	0,0533	0,03	0,1062	0,2105	0,9054
	<i>EFSS</i>	0,3166	0,2352	0,08	0,0429	0,0875	0,9961
Julho	<i>BehavePlus</i>	-0,0244	1,1262	0,93	-0,037	0,0683	0,9953
	<i>EFSS</i>	-0,5218	2,3175	0,94	-0,074	0,1387	0,9847
Agosto	<i>BehavePlus</i>	0,4831	0,0676	0,01	0,2939	0,4609	0,9212
	<i>EFSS</i>	0,1914	0,6228	0,05	0,0194	0,1872	0,9775
Setembro	<i>BehavePlus</i>	0,4398	0,2095	0,88	0,6054	0,8058	0,9212
	<i>EFSS</i>	0,1684	0,7502	0,88	0,0143	0,0714	0,9988

Para as posições não houve uma R² que pudesse indicar uma correlação altamente significativa, porém ao analisar os demais indicativos percebe-se que o *EFSS* apresentou melhores resultados, sendo o mais indicado para as simulações de velocidade na variável

posição. Em relação ao meses, os melhores resultados foram encontrados em julho e setembro, apresentando alta significância para os dois programas.

Catchpole e Catchpole (1991), Marsden-Smedley e Catchpole (1995a) e Fernandes (2002) propõem que a umidade do combustível vivo influencia consideravelmente no modelo de Rothermel (1972), o qual é acusado de subestimar a contribuição da biomassa viva no cálculo da velocidade de propagação a favor do vento. A posição EF apresentou os menores valores de velocidade de propagação e as maiores quantidades de material vivo herbáceo quando comparada as demais posições e como não foram encontrados materiais combustíveis da classe MVL, a única entrada de material vivo correspondia à classe MVH, que correspondia a entrada de umidade da equação. No mês de setembro, foram encontrados os menores valores de umidade do material combustível, fato que deve ter influenciado em uma boa estimativa no *BehavePlus*, pois como todos os demais valores foram superestimados, a presença de material úmido fez o valor baixar se aproximar do real. No *EFSS*, a umidade do material combustível utilizada na equação é a da classe MS1, que influencia negativamente. No mês de setembro foram encontrados os menores valores de umidade na classe MS1, esse fator pode ter sido o principal para contribuir com as melhores projeções.

No mês de julho, foram observadas as menores velocidade média do vento e maiores umidades de combustíveis, fato que pode ter ocasionado os menores resultados de simulações dos dois programas. A velocidade do vento e a umidade do material combustível são as variáveis mais utilizadas para medir a velocidade de propagação do fogo. Ambas estão inseridas no modelo de propagação do fogo superficial de Rothermel (1972) e de White (2014). Além disso, Burrows (1999), Fernandes (2001), Mendes-Lopes et al. (2003), Fernandes (2009), Gould (1994) e Gould et al. (2007) utilizaram as respectivas variáveis para definir a velocidade de propagação do fogo, sendo que nesses trabalhos mencionados a velocidade do vento irá influenciar positivamente a velocidade de propagação, enquanto que a umidade do material combustível irá influenciar negativamente.

Outro fator que pode estar relacionado com as respostas dos *softwares* é a quantidade e densidade de combustíveis. Julho apresentou a menor quantidade de material combustível e menor densidade. No modelo de Rothermel (1972), adotado no *BehavePlus*, a velocidade de propagação é proporcional à razão entre a carga de combustível e o tempo de reação (duração da combustão com chama). Alguns estudos exprimem o efeito dos descritores estruturais do combustível como fator importante na variação das respostas do modelo (CATCHPOLE et al. 1993; 1998a). Como o avanço do fogo não abrange, simultaneamente, toda a extensão vertical

do combustível, o tempo de reação deverá aumentar com a respectiva profundidade, o que, resulta numa dependência linear da velocidade com a carga e espessura do combustível. (CHENEY, 1990; FERNANDES, 2002). Gould (1991) afirma que o modelo de Rothermel (1972) é excessivamente sensível à espessura do complexo combustível, a variável mais fácil de manipular num modelo de combustível, por ser obtida visualmente (FERNANDES, 2002) o que exige uma maior rigor no momento da aferição para não causar erros de estimativa e nas validações das simulações. A própria equação de Rothermel (1972) utiliza a variável densidade do material combustível como um fator negativo para a velocidade de propagação do fogo, ou seja, quanto maior o valor da densidade, menor o valor da velocidade de propagação do fogo. No *EFSS*, a quantidade de material combustível da classe MS1 e a densidade do leito são duas, das três variáveis, preponderantes da equação da velocidade de propagação.

De acordo com White (2014), alguns modelos para a velocidade de propagação do fogo utilizados em vários países, não utilizam a variável densidade do leito em suas projeções, porém a maioria o utiliza de forma indireta através da mensuração da altura e da carga do material combustível, como no trabalho de Gould et al. (2007).

Na figura 3 estão os gráficos obtidos pela regressão linear, com seus respectivos R^2 .

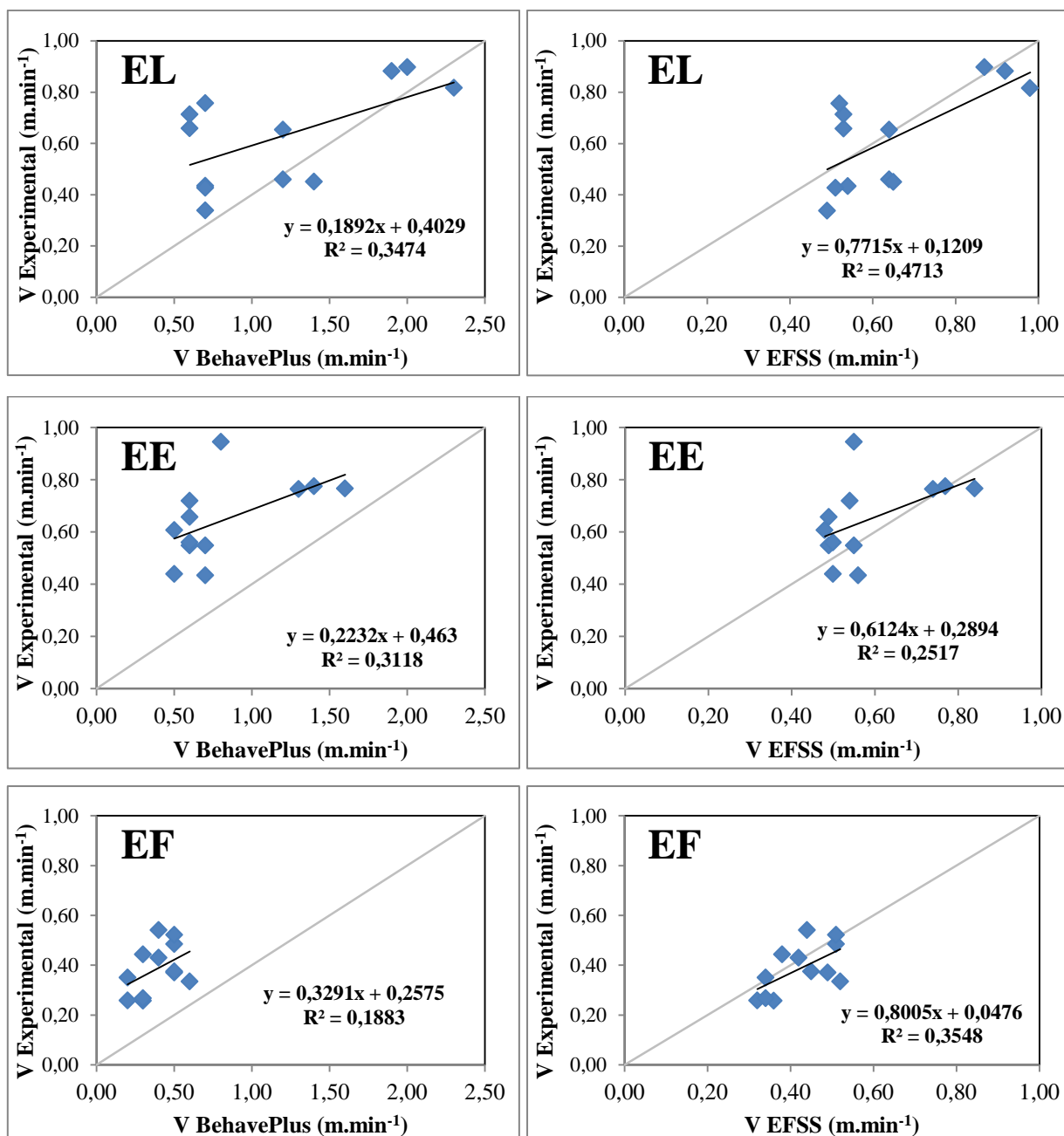


Figura 11 – graficos da velocidade de propagação no *BehaPlus* e *EFSS*.

A intensidade é uma variável calculada nos dois programas. No *BehavePlus* é obtida através do modelo de Rothermel (1972) e no *EFSS* por meio da equação de Byram (1959). Os valores obtidos neste estudo foram obtidos utilizando a fórmula de Byram (1959), esse valores foram discrepantes do *EFSS*, pois, apesar de utilizar a mesma fórmula, o *software* tem como variáveis de entrada as predições feitas anteriormente. Assim, os valores de material consumido e velocidade de propagação são fornecidos pelo *EFSS*.

Na tabela 22 estão os valores obtidos nos cálculos utilizando as variáveis mensuradas nas queimas controladas e nas simulações.

Tabela 22 – Resultado da Intensidade do fogo (I) em queimas experimentais e das simulações.

Trat.	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
I (kW.m⁻¹)					
EL	161,58 Ac	313,24 Ab	257,41 Bbc	578,19 Aa	316,74
EE	198,84 Ab	272,64 Ab	410,63 Aa	444,04 Ba	302,20
EF	238,74 Aab	114,54 Bb	200,73 Bab	304,32 Ca	200,41
Media	199,72	233,47	289,59	441,18	
BehavePlus (kW.m⁻¹)					
EL	184,33 Ac	164,01 Ac	407,33 Ab	842,67 Aa	399,58
EE	157,67 Ab	130,33 Ac	184,67 Bb	511,02 Ba	245,92
EF	68,33 Bc	53,01 Bc	127,67 Bb	134,67 Ca	95,92
Media	136,78	115,78	239,89	496,11	
EFSS (kW.m⁻¹)					
EL	220,19 Ac	218,30 Ac	295,17 Ab	579,27 Aa	328,43
EE	236,56 Abc	204,15 Abc	274,68 Ab	456,28 Ba	292,92
EF	224,50 Ab	168,84 Bc	278,10 Aa	298,07 Ca	241,88
Media	227,35	196,43	282,65	444,54	

O fato de ser uma variável calculada, não desqualifica a intensidade do fogo, pelo contrário, consiste em uma das mais importantes variáveis do comportamento do fogo (SOARES; BATISTA, 2007), é a melhor variável a fim de se determinar as consequências de um incêndio (SCOTT, 2012) e pode ser utilizada para definir os efeitos de uma queima controlada e como indicador para auxiliar as atividades de supressão ao fogo (CHENEY, 1981).

De acordo com Cheney (1981), a intensidade do fogo pode ser um indicador de produção de energia e pode ser classificado como baixa (<500 kW.m⁻¹), moderada (501-3000 kW.m⁻¹), elevada (3001-7000 kW.m⁻¹) muito elevado (> 7000 kW.m⁻¹). Da análise dos resultados, observa-se que os dois *softwares* apresentaram valores baixos, com valores moderados somente em setembro, ratificando os cálculos com as variáveis obtidas nas queimas.

Os menores valores de intensidade nos dois *softwares* ocorreram no mês de julho, fato não observado para os valores calculados.

Na tabela 23 estão os indicativos estatísticos para análise das simulações e comparações com os valores obtidos por meio do uso das variáveis de campo utilizadas no cálculo.

Tabela 23 – indicativos estatísticos para a Intensidade em cada posição e época.

Posição/Época	Programa	Regressão linear		R ²	MBE	RMSE	d
		a	b				
EL	<i>BehavePlus</i>	142,2	0,464	0,61	71,9803	194,9545	0,9764
	<i>EFSS</i>	17,814	0,9432	0,73	0,8261	86,9536	0,9939
EE	<i>BehavePlus</i>	216,72	0,4638	0,32	-84,8696	160,2659	0,9737
	<i>EFSS</i>	127,65	0,6935	0,29	-37,8687	119,2275	0,9885
EF	<i>BehavePlus</i>	108,54	1,1055	0,33	-118,6652	133,0006	0,9541
	<i>EFSS</i>	-30,903	1,0149	0,54	27,2948	56,5673	0,9937
Junho	<i>BehavePlus</i>	275,71	-0,5556	0,58	-62,4915	107,1163	0,8507
	<i>EFSS</i>	187,04	0,0542	0,001	27,6308	57,7426	0,9922
Julho	<i>BehavePlus</i>	27,607	1,7781	0,77	-117,6896	131,3800	0,9535
	<i>EFSS</i>	-464,3	3,5523	0,76	-37,0396	84,4737	0,9724
Agosto	<i>BehavePlus</i>	293,49	-0,0162	0,0002	-49,7010	192,7167	0,9140
	<i>EFSS</i>	1273,8	-3,4821	0,16	-6,9388	143,9843	0,9437
Setembro	<i>BehavePlus</i>	266,01	0,3531	0,78	54,9261	206,4811	0,9682
	<i>EFSS</i>	38,526	0,9058	0,82	3,3505	51,4998	0,9981

A posição EL apresentou resultados significativos, sendo o *EFSS* o software indicado para usos nesta posição do talhão, podendo ser utilizado, também, na EF, apesar do valor intermediário de R². O mês setembro teve os melhores resultados, onde o *EFSS* teve melhor desempenho. Essa correlação já era esperada, pois como já foi dito anteriormente, foi utilizada a mesma equação do *EFSS* para estimar a intensidade.

De acordo com Fernandes (2002), o comprimento da chama é a variável mais fácil de ser obtida na prática para descrever a energia liberada, sendo extremamente importante a sua previsão para indicar o comportamento do fogo durante uma queima controlada.

Os comprimentos de chamas simulados apresentaram um comportamento similar ao do experimento, pois os maiores valores ocorreram na posição EL e nos meses de setembro e agosto, e menores valores na posição EF e em junho e julho. Na tabela 24 estão os valores encontrados de velocidade nas posições (EL, EE e EF) e ao longo dos meses.

Tabela 24. Comprimento da chama (L) em queimas controladas, e em simulações em programas computacionais.

Trat.	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Media
L (m)					
EL	0,69 Bc	0,99 Ab	1,12 Ab	1,33 Aa	1,04
EE	0,93 Ab	1,03 Ab	1,02 Ab	1,28 Aa	1,00
EF	0,74 Ba	0,62 Bab	0,70 Bab	0,72 Bab	0,67
Media	0,78	0,88	0,95	1,11	
BehavePlus					
EL	0,83 Ac	0,80 Ac	1,23 Ab	1,70 Aa	1,14
EE	0,77 Ab	0,73 Ab	0,83 Bb	1,33 Ba	0,92
EF	0,53 Bb	0,47 Bb	0,72 Ba	0,73 Ca	0,62
Media	0,71	0,67	0,93	1,26	
EFSS					
EL	1,29 Abc	1,21 Ac	1,34 Aab	1,42 Aa	1,31
EE	1,14 Bb	1,13 Ab	1,10 Bb	1,31 Ba	1,17
EF	1,01 Cbc	0,96 Bc	1,06 Bab	1,14 Ca	1,04
Media	1,15	1,10	1,16	1,29	

As simulações no *BehavePlus* foram subestimadas em média nos meses de junho e julho e na posição EF e EE. Fernandes (2002), Fernandes (2009) e Stephens et al. (2008), utilizando o *BehavePlus* encontraram valores de comprimento da chama subestimados nas simulações em comparação ao observado. White (2014) encontrou valores de comprimento das chamas durante os experimentos em média 2,47 vezes maior do que o simulado. As variações de material combustível nas posições podem ter sido o causador das diferenças encontradas, pois o *BehavePlus* pode ser entendido como um sistema de previsão do comportamento do ponto de combustão e é mais indicado para ser usado na análise do crescimento e comportamento do fogo para vegetações homogêneas com dados meteorológicos estáticos, pois assim evitará a maior quantidade de erro (DOBRINKOVA et al., 2013).

No EFSS, todos os valores foram superiores ao observado, com médias superiores a 1 metro em todos os meses e posições, diferentemente do *BehavePlus* que apresentou média superior a 1 metro somente no mês de setembro e na posição EL. No EFSS a altura da serrapilheira e a velocidade do vento são fatores que influenciam positivamente o comprimento das chamas, enquanto que o teor de umidade dos materiais da classe MS1, negativamente (WHITE, 2014), essas variáveis contribuíram para esses valores superestimados, principalmente a altura da serrapilheira.

Porém, somente análise do comportamento das médias é insuficiente para prever qual *software* poder ser indicado para o uso da previsão do comprimento da chama. Na tabela

25 estão descritos os indicativos estatísticos utilizados para comparar as respostas das simulações.

Tabela 25 – indicativos estatísticos para o comprimento da chama em cada posição e época.

Posição/Época	Programa	Regressão linear				MBE	RMSE	d
		a	b	R ²				
EL	<i>BehavePlus</i>	0,4107	0,5428	0,68	0,1113	0,2446	0,9814	
	<i>EFSS</i>	-1,2643	1,7472	0,36	0,2829	0,3489	0,9933	
EE	<i>BehavePlus</i>	0,6661	0,4338	0,46	-0,1471	0,2367	0,9719	
	<i>EFSS</i>	-0,1925	1,0745	0,32	0,1054	0,1695	0,9978	
EF	<i>BehavePlus</i>	0,5866	0,1725	0,06	-0,0763	0,1590	0,9471	
	<i>EFSS</i>	0,1031	0,5658	0,20	0,3496	0,3609	0,9882	
Junho	<i>BehavePlus</i>	0,7786	0,0082	8E-5	-0,0733	0,2099	0,9084	
	<i>EFSS</i>	0,9592	-0,1522	0,02	0,3633	0,4108	0,9829	
Julho	<i>BehavePlus</i>	0,1517	1,0867	0,73	-0,2094	0,2315	0,9536	
	<i>EFSS</i>	-0,7914	1,5159	0,72	0,2239	0,2515	0,9916	
Agosto	<i>BehavePlus</i>	0,3764	0,6098	0,42	-0,0122	0,1812	0,9752	
	<i>EFSS</i>	-0,1678	0,9561	0,35	0,2189	0,2761	0,9910	
Setembro	<i>BehavePlus</i>	0,3011	0,6442	0,81	0,1456	0,2403	0,9875	
	<i>EFSS</i>	-1,8076	2,2656	0,85	0,1778	0,2569	0,9926	

A posição EL teve os melhores resultados simulados pelo *BehavePlus* e *EFSS*, sendo o primeiro mais indicado para simulações do comprimento da chama nesta posição. A posição EF teve os resultados mais inferiores e estatisticamente não significativos para os dois *softwares*. Em relação aos meses, comparativamente aos resultados da velocidade de propagação e intensidade do fogo, tanto o *BehavePlus* como o *EFSS* apresentaram correlações significativas em julho e setembro, podendo ser utilizados para simulações nestes meses. Os resultados de junho demonstram que os *softwares* não apresentaram simulações próximas à realidade.

White (2014) verificou a existência de uma alta correlação entre o comprimento das chamas e a intensidade da linha do fogo, o autor ressalta que a maioria dos modelos utilizados nas simulações costuma definir o comprimento das chamas em função da intensidade da linha do fogo ou da velocidade de propagação. O modelo mais utilizado no mundo é o de Byram (1959), por meio deste modelo, calcula-se o comprimento das chamas com base na intensidade do fogo, que é obtida em função da velocidade de propagação do fogo, carga de material combustível disponível e do calor de combustão. Dupuy et al. (2011) estabelecem o comprimento das chamas com base na intensidade da linha do fogo.

Outros autores relacionam o comprimento da chama à velocidade de propagação as características do material combustível. Fernandes (2009) utiliza a velocidade de propagação do fogo e o teor de umidade do material combustível para descrever o comprimento das chamas. Gould et al. (2007), utiliza a velocidade de propagação do fogo e a espessura do material combustível.

4 CONCLUSÃO

- Com base nos valores simulados de velocidade de propagação do fogo, intensidade e comprimento de chama simulados, o mês de julho seria o indicado para realizar queimas controladas, pois a segurança seria mantida dentro de limites aceitáveis;
- O comportamento das simulações ao longo dos meses apresentaram valores próximos aos observados nas queimas controladas;
- Os valores encontrados na posição EL foram os valores mais significativos para os dois *softwares*, sendo que o *EFSS* apresentou a melhor performance nesta posição;
- Nos meses de julho e setembro foram encontrados os valores mais significativos para os dois softwares, sendo os dois indicados para prever o comportamento do fogo nesses meses.
- O *BehavePlus* superestimou os valores quando comparados aos valores reais;
- O *EFSS* apresentou no geral os melhores indicativos estatísticos e é o *software* indicado para simular o comportamento do fogo na área;

REFERÊNCIAS

AGER A.A., FINNEY M.A., KERNS B.K., MAFFEI H., 2007. “Modeling wildfire risk to northern spotted owl (*Strix occidentalis caurina*) habitat in Central Oregon, USA”. **Forest Ecology and Management** v. 2007 n. 246, p.45–56.

ALEXANDER M.E.; CRUZ, M.G. (2013). Limitations on the accuracy of model predictions of wildland fire behaviour: a state-of-the-knowledge overview. **Forestry Chronicle**, v. 2013, n.89, p.370–381.

ALEXANDER, M.E.; CRUZ, M.G.; VAILLANT, N.M.; PETERSON, D.L. **Crown fire behavior characteristics and prediction in conifer forests: a state-of-knowledge synthesis**. Idaho: Joint Fire Science Program, Boise,. JFSP 09-S-03-1 Final Report. 2013. 39 p

ANDERSON, H. E. ‘Aids to determining fuel models for estimating fire behavior.’ Ogden: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station General Technical Report INT-GTR-122. 1982.

ANDREWS, P. L. BehavePlus fire modeling system: past, present, and future. In Symposium on Fire and Forest Meteorology, 7., 2007, Boston, **Proceedings...** Boston: American Meteorological Society. 2007

ANDREWS, P. L. **BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system-BURN subsystem, Part 1.** Ogden: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1986.

ARCA, B.; DUCE, P.; LACONI, M.; PELLIZZARO, G.; SALIS, M.; SPANO, D. Evaluation of FARSITE simulator in Mediterranean maquis. **International Journal of Wildland Fire** v.16, p. 563–572, 2007

BADESCU, V. Assessing the performance of solar radiation computing models and model selection procedures. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics** 105-106 (2013)119–134

BURGAN, R. E. **Concepts and interpreted examples in advanced fuel modeling.** Ogden: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1987. (General technical report GTR-INT, 238).

BURROWS, N. D. Fire behavior in jarrah forest fuels: 2. Field experiments. **CALMScience**, v.3, n.1, p. 57-84. 1999.

BYRAM, G.M. Combustion of forest fuels. In: DAVIS, K.P. **Forest fire - control and use.** New York : Mc Graw Hill, 1959. p. 77-84.

CRUZ, M. G.; FERNANDES, P. M. Development of fuel models for fire behavior prediction in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stands. **International Journal of Wildland Fire**, v.17, p. 194 - 204, 2008.

DOBRINKOVA, N.; HOLLINGSWORTH, L.; HEINSCH, F. A.; DILLON, G.; DOBRINKOV, G. Bulgarian fuel models developed for implementation in FARSITE simulations for test cases in Zlatograd area. Fire Behavior and Fuels Conference, 4th, July 1-4, 2013, Petesburg **Proceedings...** St. Petersburg: International Association of Wildland Fire, Missoula, Montana, USA

FINNEY, M.A. A computational method for optimising fuel treatment locations. **International Journal of Wildland Fire** v. 16, p.702–711. 2007

Finney MA, 2005. The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology and Management*. 211, 97-108

FINNEY, M. A. An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In: ANDREWS, P. L.; BUTLER, B. W. (Eds.) *Fuels Management—How to Measure Success.* **Proceedings...** Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2006. p. 213 - 220.

FINNEY, M. A. **FARSITE: fire area simulator: model development and evaluation.** Ogden: United States Department of Agriculture, Forest Service, 2004. 47 p. (Research paper RMRS-RP, 4).

GOULD, H; TOBOCHNIK, J; CHRISTIAN, W. **An introduction to computer simulating methods: applications to physical systems**. 3^a Ed. EUA: Addison-Wesley Publishing, 2007

GOULD, J. S.; MCCAWE, W. L.; CHENEY, N. P.; ELLIS, P. F.; KNIGHT, I. K.; SULLIVAN, A. L. **Project Vesta-Fire in Dry Eucalypt Forest: Fuel Structure, Fuel Dynamics and Fire Behaviour**. Ensis-CSIRO, Canberra ACT, and Department of Environment and Conservation. Perth, WA, 2007, 218 p.

GRABNER, K.; DWYER, J.; CUTTER, B. Validation of behave fire behavior predictions in Oak Savannas using five fuel models. In: PALLARDY, S. G.; CECICH, R. A.; GARRETT, E. H.; JOHNSON, P. S. (Ed.). **Proceedings...** Columbia: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1997. p. 202-215. (General technical report NC, 188).

KALABOKIDIS, K. Automated forest fire and flood hazard protection system. Disaster management: linking people and the environment, **Geoinformatics**, v.7, p.14–17, 2004.

KALABOKIDIS, K., N. ATHANASIS, C. VASILAKOS, P. PALAIOLOGOU. 2014. Porting of a wildfire risk and fire spread application into a cloud computing environment. **International Journal of Geographical Information Science**, v.28, n. 3, 541-552.

KALABOKIDIS, K., PALAIOLOGOU, P., GERASOPOULOS, E., GIANNAKOPOULOS, C., KOSTOPOULOU, E., AND ZEREFOS, C.: Effect of Climate Change Projections on Forest Fire Behavior and Values-at-Risk 15 in Southwestern Greece, **Forests**, v.6, 2214–2240, 2015.

KALABOKIDIS, K.; PALAIOLOGOU, P.; FINNEY, M. 2013. Fire Behavior Simulation in Mediterranean Forests Using the Minimum Travel Time Algorithm. Proceedings of 4th Fire Behavior and Fuels Conference, July 1 – 4, 2013, St. Petersburg, Russia Published by the International Association of Wildland Fire, Missoula, Montana, USA. P. 468-492.

KEANE, R. E. Describing wildland surface fuel loading for fire management: a review of approaches, methods and systems. **International Journal of Wildland Fire**, special issue, 2012.

KNAPP, E. E.; ESTES, B. L.; SKINNER, C. N. 2009. **Ecological effects of prescribed fire season: a literature review and synthesis for managers**. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-224. Albany, CA: USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 80 p.

LENTILE, L. B.; HOLDEN, Z.A.; SMITH, A. M. S. FALKOWSKI, M. J.; HUDAK, A. T.; MORGAN, P.; LEWIS, S.; GESSLER, P. E. BENSON, N. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**, v.15, p.319-345, 2006.

LOSSO, A.; CORGNATI, L.; BERTOLDO, S.; ALLEGRETTI, M.; NOTARPIETRO, R.; PERONA, G. SIRIO: an integrated forest fire monitoring, detection and decision support system—performance and results of the installation in Sanremo (Italy), in: **Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires III**, edited by: Perona, G. and Brebbia, C. A., WIT Transactions on Ecology and The Environment, Southhampton, UK, 79–90, 2012.

MARSDEN-SMEDLEY J.B; L. J. SHERRIFF. 2014. Planned burning manual - guidelines to enable safe and effective planned burning on private land. NRM North, Launceston TAS 40p.

McCaw, L.; Gould, J.S.; Cheney, N.P. 2008. Existing fire behaviour models under-predict the rate of spread of summer fires in open jarrah (*Eucalyptus marginata*) forest. *Australian Forestry* 71:16-26.

MENNER, W. A. Introduction to modeling and simulating. **Johns Hopkins APL Technical Digest**. v. 16, n. 1, p.6-17,1995.

MISTRY, J.; BERARDI, A. Assessing fire potential in a Brazilian Savanna Nature Reserve1. **Biotropica**, v. 37, n. 3, p. 439-451, 2005.

NOONAN-WRIGHT; AGER, A.A., FINNEY, M.; 2009. “Application of wildfire simulation models for risk analysis”. **Geophysical Research Abstracts**, Vol. 11, EGU2009-5489, EGU General Assembly, Vienna, April 2009.

PIQUÉ, M. P. N.; GONZÁLES-OLABARRIA, J. M. Large forest fire risk assessment and fuel management: operational tools and integrated approach. **FIREfficient**. Forest Sciences Center of Catalonia. 78p.

SALIS, M.; AGER, A. A.; FINNEY, M. A.; ALCASENA U. F.; ARCA, B.; MUÑOZ L. O.; SANTONI, P.; SPANO, D.. Application of simulation modeling for wildfire risk assessment and management. **Advances in Forest Fire Research**. Chapter 6 – Forest Management. P. 1646-1657, 2014.

SOUZA, A. P.; ESCOBEDO, J. F.; DAL PAI, A.; GOMES, E.; Estimativas das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.277–288, 2011

STRATTON R.D. “Assessing the effectiveness of landscape fuel treatments on fire growth and behavior”. **Journal of Forestry** v. 102:32- 4, 2004

WHITE, B. L. A. **Incêndios florestais no Parque Nacional Serra de Itabaiana – Sergipe**. 2010. 142 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

WHITE, B. L. A. **Modelagem Matemática e Avaliação do Comportamento do fogo em Litorais de Eucalipto**. 2014. 190 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe. 2014.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. S.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. Building fuel models and simulating their surface fire behavior in the “Serra de Itabaiana” National Park, Sergipe, Brazil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 27 - 38, 2013a.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. Caracterização do material combustível e simulação do comportamento do fogo em eucaliptais no litoral norte da Bahia, Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, V. 44, N. 1, P. 33 - 42, JAN. / MAR. 2014.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. O uso do BehavePlus como ferramenta para modelagem do comportamento e efeito do fogo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 73 - 83, 2013b.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T.; FERNANDES, P. A. M. Development of a fire danger index for eucalypt plantations on the northern coast of Bahia, Brazil. **Revista Floresta**, v. 43, n. 4, p. 601-610, 2013c.

CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES

- Há influência da posição dentro do talhão sobre a quantidade de material combustível, comportamento do fogo e variáveis meteorológicas;
- Há diferenças do comportamento do fogo ao longo dos meses, sendo que os meses de agosto e setembro não são indicados para a prática de queimas controlada;
- Com relação às simulações, o *BehavePlus* superestimou os resultados simulados e o *Eucalyptus Fire Safety System* apresentou os melhores resultados. As simulações que apresentaram a melhor significância estatística foram nos meses de julho e setembro;
- O mês de julho é o indicado para realizar as queimas controladas.
- Para próximos estudos, poderia concentrar as queimas em um único mês, julho, e realizar o maior número possível de queimas para ter maior quantidade de dados para as validações.