



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

**MODELAGEM DO COMPORTAMENTO DO FOGO COM BASE  
EM EXPERIMENTOS LABORATORIAIS E SIMULAÇÕES  
UTILIZANDO BEHAVEPLUS FIRE MODELING SYSTEM**

Estudante: Camila Souza Silva

Orientador: Dr. Reginaldo Sérgio Pereira

Co-Orientador: Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Brasília – DF  
2016

Camila Souza Silva

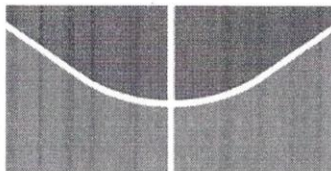
**MODELAGEM DO COMPORTAMENTO DO FOGO COM BASE  
EM EXPERIMENTOS LABORATORIAIS E SIMULAÇÕES  
UTILIZANDO BEHAVEPLUS FIRE MODELING SYSTEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Dr. Reginaldo Sérgio Pereira

Co-Orientador: Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Brasília – DF  
2016



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

**MODELAGEM DO COMPORTAMENTO DO FOGO COM BASE EM  
EXPERIMENTOS LABORATORIAIS E SIMULAÇÕES UTILIZANDO  
BEHAVEPLUS FIRE MODELING SYSTEM**

Estudante: Camila Souza Silva

Matrícula: 10/0095801

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira

Menção: SS

---

Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador

---

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Co-Orientador

---

M.Sc. Alexandre Cesar Palermo  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Membro da Banca

Dezembro/2016

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me guiado ao longo de minha vida, me permitindo encontrar e conviver com pessoas incríveis.

Agradeço imensamente a minha família, especialmente a minha mãe Joana e minha avó Neli, por terem sempre me apoiado e me amado incondicionalmente. Duas grandes mulheres que apostaram sua confiança em mim e que batalharam para minha formação, sempre suavizando as frustrações que enfrento.

Aos professores Dr. Reginaldo Sérgio Pereira e Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi por terem me orientado nessa etapa decisiva de minha vida, e pelo suporte e confiança durante a realização deste trabalho.

Ao M.Sc. Alexandre Cesar Palermo, pelos conselhos, pelo auxílio, supervisão e paciência durante a execução do trabalho.

Aos funcionários da Fazenda Água Limpa, Sebastião e Geraldo, por estarem dispostos a me auxiliar na coleta dos materiais combustíveis. Ao Seu Vandui pelo fornecimento de material necessários para a elaboração deste trabalho. Sou grata por todo o auxílio prestado por eles.

Aos meus amigos, Eduarda, Ivo e Sarah, por sempre estarem dispostos a me ajudar, pela atenção e por todo o apoio.

À Universidade de Brasília, ao Departamento de Engenharia Florestal e professores por terem contribuído com a minha formação acadêmica e por terem me proporcionado experiências únicas que utilizei como base para a elaboração do presente trabalho.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, os meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

O Cerrado é reconhecido mundialmente como um *hotspot* de biodiversidade, abrigando um grande número de espécies endêmicas, mas está sendo ameaçado pelas ações antrópicas. O fogo, um dos elementos fundamentais para estruturação do bioma e sobrevivência de alguns organismos, vem se intensificando e causando danos para os ecossistemas presentes. O reconhecimento mundial do Cerrado e os efeitos negativos da passagem sucessiva do fogo vem estimulando o desenvolvimento de novas técnicas para prevenção, controle e combate ao fogo, como o uso de modelos matemáticos e *softwares*, como o BehavePlus, para prever o comportamento do fogo. No presente trabalho foram coletados material combustível das áreas de Cerrado *sensu stricto*, Vereda e Plantio de Eucalipto. Algumas amostras foram separadas para o cálculo da umidade do material que subsequentemente foi utilizada para as simulações no BehavePlus. O material restante foi utilizado para queima em uma plataforma de 2,0 x 1,0 x 0,3 m, onde foram medidas a velocidade de propagação, altura da chama e temperatura para o cálculo de intensidade do fogo e calor liberado por unidade de área. A vereda apresentou diferença significativa entre as demais áreas para velocidade de propagação, altura da chama e intensidade do fogo. Também apresentou diferença estatística entre as cargas para as variáveis temperatura máxima, altura da chama e intensidade do fogo. As simulações do BehavePlus apresentaram resultados discrepantes com o experimento, sendo necessário realizar mais estudos.

**Palavras-chave:** Cerrado, comportamento do fogo, velocidade de propagação, intensidade do fogo, BehavePlus.

## ABSTRACT

The biome Cerrado is recognized worldwide as a biodiversity hotspot, being the habitat of a large number of endemic species, but the biome is being threatened by anthropic actions. One of the fundamental elements for the structure of the biome and the survival of some organisms, fire, it has been intensifying and causing a lot of damage to the ecosystems inside Cerrado. The worldwide recognition of Cerrado and the negative effects of the fire occurrence stimulated the development of new methodologies for prevention, control and firefighting, like the use of mathematics models and software as BehavePlus to predict fire behavior. In this study, fuel material was collected in areas of Cerrado sensu stricto, Vereda and Eucalyptus plantation. Some samples were separated to calculate the material moisture that was used in simulations with BehavePlus. The remaining material was used to burning on a platform of 2.0 x 1.0 x 0.3 m, used to estimate fire rate of spread, flame height and temperature to calculate fire intensity and heat per unit area. Vereda presented a significant difference between the other areas for rate of spread, flame height and fire intensity. It also showed a statistical difference between fuel loads for variables as maximum temperature, flame height and fire intensity. For the Behaveplus simulations, the results between the experiment and BehavePlus were too different, requiring further studies.

**Keywords:** Cerrado, fire behavior, rate of spread, fire intensity, BehavePlus.

# Sumário

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ANEXOS .....	x
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>12</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Cerrado .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3. Aspectos do Fogo .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1. Intensidade do Fogo.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2. Velocidade de Propagação.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.3. Calor Liberado por Unidade de Área .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. BehavePlus.....</b>	<b>21</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Área de estudo .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Coleta do Material e Teor de Umidade do Combustível .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Comportamento do Fogo.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.1 Velocidade de Propagação, Altura da Chama e Temperatura.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.2 Intensidade do Fogo.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.3 Calor liberado por Unidade de Área.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4 BehavePlus.....</b>	<b>29</b>
<b>3.5 Análise de Dados.....</b>	<b>30</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Teor de Umidade do Combustível.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2 Comportamento do Fogo.....</b>	<b>31</b>
<b>4.3 Análise estatística das variáveis do comportamento do fogo.....</b>	<b>32</b>
<b>4.3.1 Temperatura Máxima .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3.2 Velocidade de Propagação.....</b>	<b>33</b>
<b>4.3.3 Altura da Chama e Intensidade do Fogo .....</b>	<b>33</b>
<b>4.3.4 Calor liberado por Unidade de Área.....</b>	<b>34</b>
<b>4.4 BehavePlus.....</b>	<b>34</b>
<b>5 DISCUSSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>51</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Triângulo do fogo. ....	18
<b>Figura 2.</b> Dimensões da chama.....	19
<b>Figura 3.</b> Áreas de coleta do material combustível: Vereda (A), Cerrado sensu stricto (B) e Plantio de Eucalipto (C). ....	26
<b>Figura 4.</b> Áreas de coleta do material combustível.....	26
<b>Figura 5.</b> Plataforma para queima e demais elementos.....	28
<b>Figura 6.</b> Cama de combustível de Cerrado sensu stricto (A), Vereda (B) e Plantio de Eucalipto (C).....	29
<b>Figura 8.</b> Velocidade de propagação máxima estimada pelo BehavePlus. Cada série (linha) representa uma umidade do combustível vivo (%). ....	36
<b>Figura 9.</b> Comprimento da chama estimada pelo BehavePlus. Cada série (linha) representa uma umidade do combustível vivo (%). ....	37
<b>Figura 10.</b> Intensidade do fogo estimada pelo BehavePlus. Cada série (linha) representa uma umidade do combustível vivo (%). ....	38
<b>Figura 11.</b> Calor liberado por unidade de área estimada pelo BehavePlus. Cada série (linha) representa uma umidade do combustível vivo (%). ....	39
<b>Figura 7.</b> Comportamento das variáveis de acordo com a característica do combustível e da carga.....	42



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Cálculos realizados pelo BehavePlus de acordo com o módulo. ....	22
<b>Tabela 2.</b> Variáveis de entrada necessárias para simular o comportamento da frente do fogo em um incêndio superficial utilizando o BehavePlus. ....	23
<b>Tabela 3.</b> Parâmetros de cada modelo. Sendo CC= carga do combustível, SAV= Área superficial por volume do combustível, S= estático e D= dinâmico. ....	30
<b>Tabela 4.</b> Condições ambientais em que os experimentos foram realizados. ....	31
<b>Tabela 5.</b> Teor de umidade de campo do material coletado. Valores representam a média $\pm$ desvio-padrão. ....	31
<b>Tabela 6.</b> Valores médios encontrados para cada variável. Sendo Tmax= Temperatura Máxima; Hchama= Altura da Chama Máxima; e r= Velocidade de Propagação. Valores representam a média $\pm$ desvio-padrão.....	32
<b>Tabela 7.</b> Valores médios encontrados para cada variável. Sendo I= Intensidade do Fogo e Ha= Calor liberado por Unidade de Área. Valores representam a média $\pm$ desvio-padrão.....	32
<b>Tabela 8.</b> Teste de Tukey entre áreas para a velocidade de propagação da carga 0,5kg/m <sup>2</sup> . Sendo r = Velocidade de propagação. Valores representam a média $\pm$ desvio-padrão.....	33
<b>Tabela 9.</b> Teste de Tukey entre áreas para velocidade de propagação da carga 1,0 kg/m <sup>2</sup> . Sendo r = Velocidade de propagação. Valores representam a média $\pm$ desvio-padrão.....	33
<b>Tabela 10.</b> Teste de Tukey entre áreas para altura de chama da carga 1,0 kg/m <sup>2</sup> . Sendo Hchama = Altura da chama. Valores representam a média $\pm$ desvio-padrão.....	34
<b>Tabela 11.</b> Teste de Tukey entre áreas para Intensidade do fogo da carga 1,0kg/m <sup>2</sup> . Sendo I = Intensidade do fogo. Valores representam a média $\pm$ desvio-padrão. ....	34
<b>Tabela 12.</b> Valores utilizados nas simulações do BehavePlus. ....	35
<b>Tabela 13.</b> Comportamento do fogo para fitofisionomias do Cerrado próximas a Brasília, DF (agosto - setembro, 1990). Sendo r = Velocidade de propagação e I = Intensidade do fogo. Valores representam a média $\pm$ desvio-padrão. ....	41
<b>Tabela 14.</b> Descrição dos trabalhos de simulação e validação encontrados na literatura que utilizaram o modelo de Rothermel (1972) integrado ao módulo “superfície” no BehavePlus com o objetivo de modelagem do comportamento do fogo. ....	43

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Simulação de velocidade de propagação máxima (m/s) para o cerrado sensu stricto.....	51
<b>Anexo 2.</b> Simulação de comprimento da chama (cm) para o cerrado sensu stricto.....	51
<b>Anexo 3.</b> Simulação de intensidade da linha de fogo (kJ/m/s) para o cerrado sensu stricto.....	51
<b>Anexo 4.</b> Simulação de calor liberado por unidade de área (kJ/m <sup>2</sup> ) para o cerrado sensu stricto.....	51
<b>Anexo 5.</b> Simulação de velocidade de propagação máxima (m/s) para o plantio de eucalipto.....	52
<b>Anexo 6.</b> Simulação de comprimento da chama (cm) para o plantio de eucalipto.....	52
<b>Anexo 7.</b> Simulação de intensidade da linha de fogo (kJ/m/s) para o plantio de eucalipto.....	52
<b>Anexo 8.</b> Simulação de calor liberado por unidade de área (kJ/m <sup>2</sup> ) para o plantio de eucalipto.....	52
<b>Anexo 9.</b> Simulação de velocidade de propagação máxima (m/s) para vereda.....	53
<b>Anexo 10.</b> Simulação de comprimento da chama (cm) para vereda.....	53
<b>Anexo 11.</b> Simulação de intensidade da linha de fogo (kJ/m/s) para vereda.....	53
<b>Anexo 12.</b> Simulação de calor liberado por unidade de área (kJ/m <sup>2</sup> ) para vereda.....	53

## 1. INTRODUÇÃO

O fogo é resultado da união do oxigênio existente no ar, com o carbono presente no combustível e é iniciado por uma fonte de ignição ou por uma alta temperatura (FREITAS & SANT'ANNA, 2004). Condições climáticas, tais como baixa umidade relativa, baixa precipitação, alta temperatura e presença de vento, são condições favoráveis para a ocorrência e propagação do fogo (FREITAS & SANT'ANNA, 2004). O fogo afeta a sobrevivência dos organismos, assim como, modifica a física e química de nutrientes e componentes do solo e libera poluentes para atmosfera como gases do efeito estufa, sendo assim, em maiores proporções como alguns incêndios florestais representa uma grande ameaça para florestas nativas e reflorestamento, podendo causar danos biológicos e socioeconômicos (WHITE *et al.*, 2013b).

O fogo é um elemento fundamental para a estruturação de alguns ecossistemas, especialmente para o Cerrado. Seus efeitos são presentes neste bioma, seja pela rápida rebrota após a passagem do fogo ou pela germinação de sementes que necessitam do choque térmico para quebra de dormência (NASCIMENTO, 2001). Acredita-se, que o fogo sempre esteve presente no Cerrado devido as características típicas de sua vegetação, mas esse processo tem se tornado mais frequente no decorrer dos anos já que é utilizado para limpar terrenos e é uma prática que não representa muitos custos financeiros. Contudo, como visto por Hoffmann & Moreira (2002), queimadas frequentes afetam negativamente o estabelecimento de árvores e arbustos (apud KLINK & MACHADO, 2005), ademais, sem uma fiscalização eficiente, o fogo muitas vezes atinge outros complexos vegetacionais e tende a se propagar por longas extensões (NASCIMENTO, 2001).

Os efeitos negativos causados aos ecossistemas resultantes da passagem sucessiva de fogo juntamente com o atual reconhecimento internacional do Cerrado como um *hotspot* de biodiversidade (MYERS *et al.*, 2000) tem estimulado o desenvolvimento de metodologias para prevenção, controle e combate ao fogo (CARAPIÁ, 2006). No entanto, o fogo não pode ser manejado sem o conhecimento das características básicas do combustível, assim como, a compreensão das condições climáticas e relevo que são vitais para o planejamento de prevenção e combate ao fogo (WHITE *et al.*, 2013a).

O uso de modelos matemáticos para prever o comportamento e efeito do fogo tem um papel importante no manejo de fogo. Alguns modelos matemáticos, incluindo o de Rothermel de propagação de fogo superficial (1972), foram incorporados a *softwares* de predição do comportamento do fogo, como o BehavePlus (ANDREWS, 2007). Segundo Barret *et al.* (2000), citado por White *et al.* (2013a), é um sistema utilizado por cerca de 85% dos profissionais de fogo prescrito no oeste dos Estados Unidos.

Assim, o presente estudo buscou entender o comportamento do fogo em áreas de vegetação do cerrado e em uma área de floresta plnatada, utilizando *softwares* desenvolvidos com esta finalidade. Os resultados desta pesquisa poderão ser aplicados para prever o comportamento do fogo, possibilitando a realização de predições que contribuam para a prevenção, controle e combate aos incêndios florestais na região.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Geral**

Compreender o comportamento do fogo em áreas de Vereda, Cerrado *sensu stricto* e plantio de Eucalipto em laboratório e utilizando modelos disponíveis para o software BehavePlus.

### **1.1.2. Específicos**

- Estimar algumas variáveis que definem o comportamento do fogo (altura da chama, intensidade do fogo, velocidade de propagação e calor liberado por unidade de área);
- Avaliar o software BehavePlus 5.0.5 realizando simulações do comportamento do fogo das áreas estudadas, nas condições ambientais em que o experimento foi realizado;

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Cerrado

O Cerrado é conhecido como a savana brasileira e é o segundo maior bioma do território, sendo somente superado pela Amazônia, ocupando cerca de 21% da área central do Brasil e algumas áreas disjuntas em outros biomas (KLINK & MACHADO, 2005; SANTOS *et al.*, 2010). Sua área nuclear (área *core*) abrange o Distrito Federal e os estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Maranhão, Bahia, Piauí, Minas Gerais, São Paulo e Paraná (MMA, 2014).

De forma ampla, o Cerrado consiste em uma comunidade de árvores baixas e arbustos largos, e uma camada de gramíneas bem desenvolvidas (RATTER *et al.*, 1997). As árvores e alguns arbustos apresentam tronco e ramos tortuosos, casca cortícea grossa e folhas esclerófitas rígidas (COUTINHO, 2002) e gemas apicais pilosas (RIBEIRO *et al.*, 1983). O sistema subterrâneo destes são dotados de longas raízes pivotantes permitindo que o indivíduo alcance longas profundidades para o abastecimento de água (COUTINHO, 2002). As espécies herbáceas e subarborescentes possuem órgãos subterrâneos de resistência - como bulbos, xilopódios e sóboles (COUTINHO, 2002). Essas adaptações garantem a sobrevivência da vegetação durante períodos secos ou ao fogo (RIBEIRO *et al.*, 1983; COUTINHO, 2002).

O clima do bioma é classificado, segundo Köppen, como Aw (tropical), caracterizado por duas estações definidas, um período chuvoso (de outubro até março) e um período seco (de abril a setembro), com precipitação média anual é de 1.500mm e temperaturas médias entre 22°C e 27°C ao longo do ano (KLINK & MACHADO, 2005). O clima tem influência temporal direta na origem da vegetação, já que a precipitação ao longo dos anos intemperizaram os solos exaurindo seus nutrientes essenciais (SILVEIRA, 2010).

Grande parte dos solos do Cerrado são classificados como Latossolos, caracterizados por serem solos profundos, porosos e bem drenados, intemperizados, ácidos, com baixa fertilidade e com alta concentração de alumínio (COUTINHO, 2002; KLINK & MACHADO, 2005; SANTOS *et al.*, 2010), sendo que, com auxílio das tecnologias de correção da fertilidade dos solos, os cultivos agrícolas de alta produtividade – soja, milho, feijão, algodão, café e cana-de-açúcar- são predominantes nessa região (MIRANDA & FONSECA, 2013).

O relevo do Cerrado é caracterizado por ser bastante plano ou suavemente ondulado que se estendem por imensos planaltos ou chapadões e as altitudes, geralmente, não ultrapassam 1.100m (COUTINHO, 2002). De modo geral, podem-se distinguir dois estratos vegetacionais no Cerrado: estrato lenhoso, constituído por arbustos e árvores, e estrato herbáceo, composto por ervas e subarbustos (COUTINHO, 2002).

A paisagem do Cerrado é formada por um mosaico heterogêneo de fisionomias vegetacionais que variam desde formações campestres – como campos limpos - a formações florestais – como matas de ciliares (COUTINHO, 2002; MIRANDA & FONSECA, 2013), promovendo maior riqueza e diversidade biológica ao bioma (SIMON *et al.*, 2009 apud MMA, 2014). De acordo com Ratter *et al.* (1997), é difícil afirmar a causa das diferentes formações vegetacionais, mas cita que autores como Goodland & Pollard (1973) encontraram uma correlação entre a vegetação e o gradiente de fertilidade do solo, além disso, o fogo é um fator determinante para a vegetação (RATTER *et al.*, 1997; COUTINHO, 2002).

O Cerrado tem uma participação expressiva na produção hídrica do local. Das oitos grandes bacias hidrográficas que são drenadas pelas águas brasileiras, seis têm nascentes na região do Cerrado – a bacia Amazônica (rios Xingu, Madeira e Trombetas), a bacia Tocantins (rios Araguaia e Tocantins), a bacia Atlântico Norte/Nordeste (rios Parnaíba e Itapecuru), a bacia de São Francisco (rios São Francisco, Pará, Paraopeba, das Velhas, Jequitaiá, Paracatu, Urucuia, Carinhanha, Corrente e Grande), a bacia do Atlântico Leste (rios Pardo e Jequitinhonha) e a bacia dos rios Paraná/Paraguai (rios Parnaíba, Grande, Sucuriú, Verde, Pardo, Cuiabá, São Lourenço, Taquari, Aquidauana, etc.) (LIMA & SILVA, 2005; MMA, 2013). O sistema hídrico do Cerrado compreende 78% da área da bacia do Araguaia/Tocantins, 47% do São Francisco e 48% do Paraná/Paraguai, e a região contribui 71% para bacia do Araguaia/Tocantins e do Paraná/Paraguai, 94% para bacia do São Francisco (LIMA & SILVA, 2005).

Como dito anteriormente, o fogo é um fator determinante para o Cerrado e para demais savanas. No passado, a principal causa de incêndios era natural, como raios, e a combinação do clima sazonal, da presença de combustível herbáceo e da topografia plana que prevalece na região favorece a propagação do fogo e permite a frequente ocorrência de incêndios na estação seca (PIVELLO, 2006). Contudo, a presença

humana aumentou consideravelmente a frequência de incêndios nesse bioma, principalmente, por ter adotado o fogo como ferramenta para manejo de suas áreas (PIVELLO, 2006).

O Cerrado é reconhecido como um *hotspot* de biodiversidade por abrigar um grande número de espécies endêmicas (MYERS *et al.*, 2000), onde, de 12.076 espécies de plantas e vertebrados catalogadas, 4.689 espécies são endêmicas (MITTERMEIER *et al.*, 2004). Além da sua grande diversidade e de sua importância ambiental, o Cerrado apresenta grande importância social já que muitos dependem de seus recursos naturais para garantir uma qualidade de vida, incluindo comunidades indígenas, quilombolas, ribeirinhas, etc. (CEPF, 2016). Apesar disso, muitas de suas espécies (tanto nativas como endêmicas) estão ameaçadas ou em perigo de extinção. CEPF (2016) cita que aproximadamente 20% das espécies do Cerrado não são protegidas por áreas protegidas legais e cerca de 901 espécies do Cerrado estão ameaçadas de extinção, incluindo 266 espécies da fauna e 635 espécies da flora.

### **2.1.1. Vereda**

A vereda é uma fitofisionomia do Cerrado com a palmeira arbórea *Mauritia flexuosa* emergente em meio a agrupamentos de espécies arbustivo-herbáceo mais ou menos densos (RIBEIRO & WALTER, 2008). Os buritis presentes nessa fitofisionomia não formam dossel e são campos geralmente úmidos (RIBEIRO & WALTER, 2008).

Segundo a classificação de Eiten (2001), citado em Munhoz *et al.* (2011), a vereda é formada por três faixas paralelas de diferentes tipos vegetacionais: i) campo úmido sazonal ou brejo estacional gramíneo, caracterizado por ser alagado somente no auge das chuvas; ii) campo úmido alagado permanentemente ou brejo permanente gramíneo; iii) buritizal, também encontrado sob solo saturado.

São encontradas em vales áreas planas ou levemente íngremes, acompanhando linhas de drenagem mal definidas, quase sempre sem murundus e, também, são comumente encontradas numa posição intermediária do terreno, próximas às nascentes (olhos d'água), ou nas bordas das cabeceiras de Matas de Galeria (RIBEIRO & WALTER, 2008). Seus solos são caracterizados por serem hidromórficos, denominados Gleissolos Hápicos ou Melânicos que permanecem saturados a maior parte do ano (BRANDÃO *et al.*, 1991 apud RIBEIRO & WALTER, 2008).

Brandão *et al.* (1991) e Carvalho (1991) destacam a importância das veredas para a região do Cerrado quanto à manutenção do sistema hidrológico, a manutenção da fauna (local de pouso para avifauna, refúgio, abrigo, fonte de alimento e local de reprodução para fauna terrestre e aquática) (apud RIBEIRO & WALTER, 2008; MUNHOS *et al.*, 2011). Apesar de sua importância e de ser reconhecida como uma Área de Preservação Permanente (BRASIL, 2012), as veredas têm sido pressionadas pelas ações agrícolas e pastoris, descaracterizadas pela construção de pequenas barragens e açudes, por estradas, pela agricultura, pela pecuária e pela queimada excessiva (RIBEIRO & WALTER, 2008). De acordo com Munhoz & Ribeiro (2008), algumas veredas do Distrito Federal estão sendo invadidas pela espécie *Trembleya parviflora* (D. Don) Cogn., mesmo em unidades de conservação. Isso pode estar relacionado a mudanças no uso da terra na bacia hidrográfica que as veredas estão inseridas e a ação antrópica, isso determina o rebaixamento do lençol freático e acelera a invasão de espécies exóticas como a *Trembleya parviflora* (MUNHOZ *et al.*, 2011).

### **2.1.1. Cerrado *sensu stricto***

Uma das várias fitofisionomias do bioma, o Cerrado *sensu stricto* apresenta uma vegetação lenhosa com uma camada herbácea bem desenvolvida, árvores pequenas e arbustos que usualmente ocorrem em Latossolos Vermelhos e Amarelos, e muitas vezes em Latossolo Roxo (FONSECA *et al.*, 2004), apesar de apresentarem características físicas boas, os solos são considerados forte ou moderadamente ácidos e com carência de nutrientes essenciais, com baixas taxas de fósforo e nitrogênio e altas taxas de alumínio (RIBEIRO & WALTER, 2008). É caracterizado pelas árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, com troncos que possuem cascas com cortiça grossa, fendida ou sulcada e com algumas espécies com gemas apicais protegidas por densa pilosidade (RIBEIRO & WALTER, 2008).

Fatores como condições edáficas, pH e saturação de alumínio, fertilidade, condições hídricas, profundidade do solo, queimadas e ação antrópica refletem na distribuição espacial dos indivíduos lenhosos e na composição florística da vegetação, originando subdivisões fisionômicas distintas, sendo elas: Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre (RIBEIRO & WALTER, 2008).

Segundo Ribeiro & Walter (2008), o Cerrado Denso é predominantemente arbóreo, representando a forma mais densa e alta dentre os subtipos do Cerrado *sensu*



*stricto*, mas com estratos arbustivos e herbáceo mais ralos. Já o Cerrado Típico é predominantemente arbóreo-arbustivo, podendo ser visto como uma forma intermediária entre o Cerrado Denso e o Cerrado Ralo. O Cerrado Ralo representa a forma mais baixa e menos densa da fitofisionomia e o estrato arbustivo-herbáceo é o mais destacado dentre os demais subtipos. Por último, o Cerrado Rupestre é um subtipo arbóreo-arbustivo que ocorre em ambientes rupestres - solos Litólicos e rochosos (RIBEIRO & WALTER, 2008).

## **2.2.Plantio de Eucalipto**

O termo “Eucalipto” é vulgarmente designado as espécies do gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae. O eucalipto se disseminou ao longo do século XX como a espécie florestal mais plantada no mundo e foi inicialmente utilizado, no Brasil, como quebra-ventos, para fins ornamentais e extração de óleo. No final da década de 1930, a cultura do eucalipto já havia atingido escala comercial, sendo utilizado como dormentes para construção (casas e estradas de ferro) e combustível para siderurgia e fornos domésticos (VITAL, 2007).

Atualmente, a madeira de eucalipto presta uma série de finalidades como lenha, estacas, moirões, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras e de partículas, e usos mais nobres como fabricação de casas, moveis e estruturas, especialmente no Sul e Sudeste onde há carência de florestas naturais (PEREIRA *et al.*, 2000).

Segundo Soares (1992), as florestas plantadas são mais susceptíveis a incidência de fogo do que florestas naturais. Incêndios quem ocorrem nessa circunstância são potencialmente mais destrutivos já que a intensidade do fogo é proporcional a quantidade de combustível, e, além da disponibilidade de madeira, há depósito contínuo de folhas e galhos na superfície do solo (SOARES, 1992; BORGES *et al.*, 2011).

## **2.3. Aspectos do Fogo**

O processo de combustão presente nos incêndios florestais é uma combinação de combustíveis como folhas, grama e madeira combinado com oxigênio para formar dióxido de carbono, vapor d'água e pequenas quantidades de outras substâncias (BYRAM, 1959). Segundo Byram (1959), a combustão é parte do campo de comportamento do fogo, portanto, qualquer discussão sobre a combustão de combustíveis florestais deve-se incluir o que o fogo faz ou seu comportamento.

Há três fases de combustão em combustíveis lenhosos. Primeiramente, há a fase de pré-aquecimento onde os combustíveis são aquecidos, secados e parcialmente destilado. Na segunda fase, a destilação das substâncias gasosas prossegue, mas é acompanhado pela queima do material. A ignição pode ser considerada como uma conexão entre a primeira (pré-aquecimento) e a segunda (gasosa ou combustão), também pode ser considerada como o início da fase de combustão. Na combustão pode haver a presença de chamas, que é a queima dos gases destilados que resultam em vapor d'água e dióxido de carbono como produtos principais (*flaming*) ou não haver presença de chama, mas ainda assim, conter calor suficiente para decompor o combustível (*smoldering*). Na terceira e última fase da combustão, há a extinção da combustão, onde não há calor suficiente para continuar com o processo de combustão (BYRAM, 1959).

Um modo de ilustrar de forma simples os princípios e aplicações da combustão é o triângulo do fogo. Combustível, Oxigênio e Temperatura formam os lados do triângulo (Figura 1). Desse modo, na abstinência de um dos lados o processo de combustão não poderá ocorrer, por outro lado, a intensidade do fogo poderá aumentar com o excesso em algum dos lados (BYRAM, 1959).



**Figura 1.** Triângulo do fogo. Fonte: [www.ufrj.com](http://www.ufrj.com)

W. R. Fons (1946) foi o primeiro a tentar descrever como o fogo se propaga utilizando um modelo matemático (ROTHERMEL, 1972). Ele focou na frente de fogo onde os combustíveis finos carregam o incêndio e há amplo oxigênio para suportar a combustão (ROTHERMEL, 1972). De acordo com Fons (1946), citado por Rothermel (1972), com calor suficiente para a ignição dos combustíveis, a propagação do fogo pode ser vista como uma série de sucessivas ignições e a taxa de ignição é controlada.

### **2.1.1. Intensidade do Fogo**

Segundo Byram (1959), a intensidade de fogo é a razão de liberação de energia ou de calor liberado por unidade de tempo por unidade de comprimento da frente de fogo. Ainda de acordo com o mesmo autor, ela é representada pelo o produto da energia

do combustível disponível e da velocidade de propagação, assim, a intensidade do fogo pode ser descrita pela seguinte equação (1):

$$I = Hwr \quad (1)$$

Sendo:

I = Intensidade do fogo (Btu ft<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>);

H = Poder calorífico (Btu lb<sup>-1</sup>);

w = Peso do combustível disponível (lb ft<sup>-2</sup>);

r = Velocidade de propagação (ft s<sup>-1</sup>).

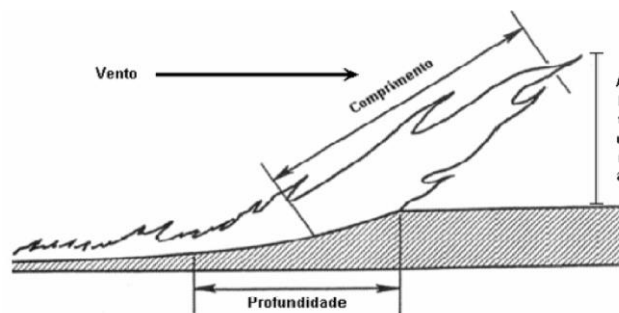
A intensidade do fogo também pode ser estimada a partir da energia disponível do combustível (E) que é igual ao produto Hw (BYRAM, 1959):

$$I = Er \quad (2)$$

Ademais, pode-se usar uma relação aproximada entre o comprimento da chama (h) e a intensidade do fogo (I):

$$h = 0,45I^{0,46} \quad (3)$$

O comprimento da chama é condicionado pelo arranjo e teor de umidade do material, pela declividade do terreno, vento e condições climáticas, entre outros (BEUTLING, 2009). A fim de esclarecer a definição de comprimento da chama, há a necessidade de entender os conceitos de altura e profundidade das chamas associadas a ela. Com auxílio da figura 1, a altura é representada pela distância perpendicular entre o solo e a ponta da chama, a profundidade (largura) se trata da distância horizontal da base das chamas e o comprimento é a distância entre a ponta da chama e a superfície do solo, medida no meio de sua zona ativa (BEUTLING, 2009). Portanto, em um fogo em que não haja influência do vento, o comprimento da chama tende a se aproximar a altura da chama.



**Figura 2.** Dimensões da chama. Fonte: SOARES & BATISTA (2007, apud BEUTLING, 2009).

### 2.1.2. Velocidade de Propagação

Diretamente influenciada pelas características do material combustível, a taxa ou velocidade de propagação representa a taxa a qual o fogo aumenta, tanto em área como em linha, usualmente, sendo medida em metros por segundos, metros por minuto ou quilômetros por hora (MOTTA, 2008). De acordo com Soares & Batista (2007), citado por Beutling (2009), em programas de simulação do comportamento do fogo e de manejo do fogo, a estimativa da taxa de propagação é geralmente feita utilizando modelos semi-físicos como o de Rothermel (1972) e derivados ou modelos empíricos gerados a partir de dados coletados sob condições naturais.

Rothermel (1972) desenvolveu o modelo com a partir de uma forte base teórica para a sua aplicação fosse ampla. O seu modelo é baseado no experimento de Frandsen (1971) que aplicou o princípio conservação de energia em um volume de combustível afrente de um fogo em avanço em uma camada homogênea de combustível. O modelo engloba parâmetros como calor necessário para ignição, fluxo de propagação, intensidade de reação e efeito do vento e declividade gerando a seguinte equação (4):

$$R = \frac{I_R \xi (1 + \phi_w + \phi_s)}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}} \quad (4)$$

Sendo:

R = Velocidade de propagação (ft min<sup>-1</sup>);

I<sub>R</sub> = Intensidade de reação (Btu ft<sup>-2</sup> min);

ξ = Razão do fluxo de propagação, adimensional;

φ<sub>w</sub> = Coeficiente de vento, adimensional;

φ<sub>s</sub> = Coeficiente de declividade, adimensional;

ρ<sub>b</sub> = Peso do material combustível por volume de combustível depositado no solo (lb ft<sup>3</sup>);

ε = Calor de pré-ignição (Btu lb<sup>-1</sup>);

Q<sub>ig</sub> = Calor necessário para queimar 1 libra de combustível (Btu lb<sup>-1</sup>).

### 2.1.3. Calor Liberado por Unidade de Área

Conforme Batista (1990) e Soares (1985), citado em Beutling (2009), o calor liberado por unidade de área é caracterizado pela razão entre intensidade e velocidade de propagação, representada pela seguinte equação (5):

$$Ha = \frac{I}{r} \quad (5)$$

Sendo:

Ha = Calor liberado (Btu ft<sup>-2</sup>);

I = Intensidade do fogo (Btu ft<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>);

r = Velocidade de propagação (ft s<sup>-1</sup>).

## 2.2. BehavePlus

BehavePlus fire modeling system é um software baseado em modelos matemáticos para descrever Incêndios Florestais e o ambiente em que ocorre, gerando tabelas, gráficos e diagramas simples (HEINSCH & ANDREWS, 2010). De acordo com Andrews (2007), esse sistema é flexível e pode ser aplicado em qualquer manejo de fogo que envolva modelagem do comportamento e efeito do fogo, podendo projetar o comportamento do fogo durante um incêndio em curso, planejar uma queima controlada/prescrita, e ainda assim, podendo ser usado na avaliação dos riscos de combustível ou treinamento.

O BehavePlus está agrupado em módulos (Tabela 1), sendo que cada módulo utiliza um conjunto de modelos para modelar o comportamento do fogo. O termo modelo é usado como relações matemáticas que descrevem o aspecto característico do fogo como comprimento das chamas, fator de ajuste da velocidade do vento, espessura da casca, dentro outros (ANDREWS & QUEEN, 2001 apud HEINSCH & ANDREWS, 2010).

O módulo SUPERFÍCIE utiliza o princípio do modelo de propagação de fogo superficial (ROTHERMEL, 1972), mas é apenas um dos diversos modelos de incêndio que compreendem o sistema. Por outro lado, os modelos de combustíveis existentes no BehavePlus não são equações, mas sim uma lista de valores necessários para o modelo de propagação de fogo superficial (HEINSCH & ANDREWS, 2010).

BehavePlus pode ser utilizado para exercer os modelos e examinar, sistematicamente, as relações como efeito da escolha de um determinado modelo de combustível ou a um valor de umidade de combustível vivo em uma taxa de propagação de fogo superficial e comprimento das chamas (HEINSCH & ANDREWS, 2010).

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

<b>Módulo</b>	<b>Cálculo</b>
SUPERFÍCIE	Velocidade de propagação do fogo superficial;
	Intensidade da linha do fogo e comprimento das chamas;
	Intensidade de reação e calor liberado por unidade de área;
	Valores intermediários: fonte de calor, calor dissipado, umidade característica de combustível morto, razão de acondicionamento relativo, etc.
	Modelos de combustível: padrão, customizados e casos especiais; Fator de ajuste da velocidade do vento.
COPA	Transição de incêndio superficial para incêndio de copa;
	Velocidade de propagação do incêndio de copa;
	Área e perímetro do incêndio de copa;
	Tipo de incêndio;
	Intensidade e comprimento das chamas; Poder do fogo, poder do vento.
SEGURANÇA	Tamanho da área de segurança baseado no comprimento das chamas;
	Área, perímetro e distância de segurança.
TAMANHO	Modelo elíptico;
	Área, perímetro e forma.
CONTROLE	Sucesso do controle do fogo através de um único ou múltiplos recursos com base na taxa de construção da linha, tempo de reposta, duração dos recursos, tipo de ataque ao fogo (ataque pela frente ou por trás, direto ou paralelo);
	Área e perímetro da área consumida pelo fogo, tamanho do fogo

<b>Módulo</b>	<b>Cálculo</b>
	durante o ataque inicial e linha de fogo construída.
PROJEÇÕES	Distância máxima que um incêndio pode gerar novos focos através de fagulhas carregadas pelo vento.
ALTURA	Altura de crestamento da copa com base no comprimento da chama do fogo de superfície.
MORTALIDADE	Probabilidade de mortalidade da árvore com base na espessura da casca e na altura de crestamento da copa.
IGNIÇÃO	Probabilidade de ignição através de fagulhas ou através de raios.

Fonte: HEINSCH & ANDREWS, 2010.

BehavePlus é projetado para que seja possível realizar simulações ou modelagens simples usando seleções padrões para variáveis de saída e de entrada, como também é possível realizar análises complexas ou personalizadas (ANDREWS, 2007). Quando se pretende simular o comportamento de fogo é necessário a obtenção dos valores de entrada para as condições no qual o fogo irá se propagar (WHITE *et al.*, 2013a). A Tabela 2 demonstra um exemplo de variáveis de entrada necessárias para calcular as características de um fogo superficial (módulo SUPERFÍCIE).

**Tabela 2.** Variáveis de entrada necessárias para simular o comportamento da frente do fogo em um incêndio superficial utilizando o BehavePlus.

<b>Variáveis de Entrada (<i>inputs</i>)</b>	
	Modelo do combustível;
	Tipo do modelo do combustível;
Variáveis de caracterização do combustível superficial	Carga do combustível de 1-h de timelag ( $t\ ha^{-1}$ );
	Carga do combustível de 10-h de timelag ( $t\ ha^{-1}$ );
	Carga do combustível de 100-h de timelag ( $t\ ha^{-1}$ );
	Carga do combustível vivo herbáceo ( $t\ ha^{-1}$ );
	Carga do combustível vivo lenhoso ( $t\ ha^{-1}$ );

	Área superficial pelo volume do combustível de 1-h de timelag ( $\text{m}^2 \text{m}^{-3}$ );
	Área superficial pelo volume do combustível vivo herbáceo ( $\text{m}^2 \text{m}^{-3}$ );
	Área superficial pelo volume do combustível de vivo lenhoso ( $\text{m}^2 \text{m}^{-3}$ );
	Espessura do leito (m);
	Umidade de extinção do combustível morto (%);
	Energia calorífica do combustível morto ( $\text{kJ kg}^{-1}$ );
	Energia calorífica do combustível vivo ( $\text{kJ kg}^{-1}$ ).
Variáveis de caracterização do teor de umidade do material combustível superficial	Umidade do combustível morto 1-h de timelag (%);
	Umidade do combustível morto 10-h de timelag (%);
	Umidade do combustível morto 100-h de timelag (%);
	Umidade do combustível vivo herbáceo;
	Umidade do combustível vivo lenhoso.
Variável de caracterização do clima	Velocidade do vento a meia altura da chama ( $\text{km h}^{-1}$ );
Variável de caracterização do relevo	Declive do terreno (%).

Fonte: WHITE et al., 2013a.

Embora hajam modelos padrões na base de dados do BehavePlus que evitaria muito trabalho de campo para descrever os valores, os modelos existentes foram criados para descrever as principais formações vegetacionais encontradas nos Estados Unidos (WHITE *et al.*, 2013a). Dessa forma, para realizar uma simulação eficiente do comportamento do fogo recomenda-se a utilização de modelos personalizados, que são construídos a partir da obtenção de valores estatísticos médios dos parâmetros que representam o local (WHITE *et al.*, 2013a).

### 2.2.1. Modelos

Modelo de combustível (*fuel model*) é um conjunto de valores que descrevem as variáveis de entradas relacionadas ao combustível para o modelo matemático proposto por Rothermel que prediz a propagação do fogo superficial (ANDREWS *et al.*, 2008).



Eles representam a maioria dos combustíveis superficiais e foram desenvolvidos como uma forma alternativa à mensuração de propriedades de combustíveis em campo (Tabela 2) para predição de incêndios (ROTHERMEL, 1983).

Os grupos de modelos são classificados por tipos de combustíveis – herbáceo/gramíneo, arbustivo, lenhoso e resíduos florestais (*logging slash*) – e diferença entre os grupos está, principalmente, relacionado à carga do combustível e a sua distribuição entre as classes de tamanho da partícula dos combustíveis (ANDERSON, 1982).

O BehavePlus faz uso de 53 modelos de combustíveis, sendo 13 modelos estáticos originalmente descritos por Anderson (1982) e 40 modelos, estáticos e dinâmicos, definidos por Scott & Burgan (2005). O componente “dinâmico” significa que pode ocorrer mudanças entre carga de combustível vivo para morto dependendo do teor de umidade viva especificado (SCOTT & BURGAN, 2005) que varia de 120% a 30%, sendo que valores maiores ou iguais a 120% permanecem como combustível vivo, valores menores ou iguais a 30% são considerados combustível morto e para valores de umidade que permanecem entre os limites apresentados considera-se que metade do combustível é vivo e o restante morto (BURGAN, 1979).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

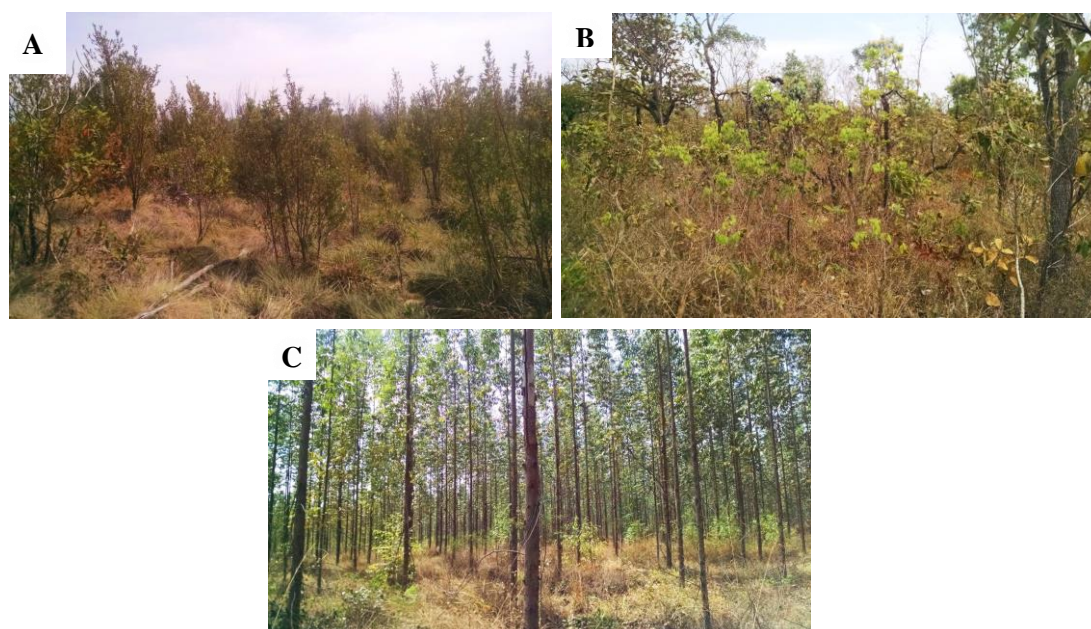
#### **3.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado na Fazenda Água Limpa (FAL), pertencente à Universidade de Brasília. Faz parte da Área de Proteção Ambiental (APA) das Bacias do Gama e Cabeça do Veado e tem, no seu interior, a Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Capetinga/Taquara. Possui uma área de aproximadamente 4.340 ha, dos quais 2.340 ha são destinados a preservação, 800 ha destinados a conservação e 1.200 ha destinados à produção. Está situada a 28 km do Plano Piloto de Brasília – DF (FAL, 2009)

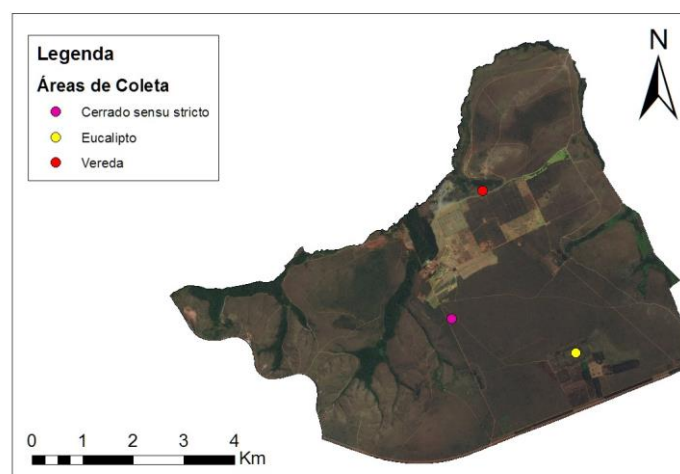
De acordo com Felfili *et al.* (1993), o Cerrado *sensu stricto* é a vegetação predominante ocupando uma área de 148 ha. A flora local é rica e inclui espécies raras e endêmicas (apud FIEDLER *et al.*, 2004). A precipitação média anual é de aproximadamente 1.500 mm, com uma estação seca bem definida de maio a setembro (HARIDASAN, 1987 apud KANEGAE, 2000).

O clima da região é do tipo Aw (tropical quente, com chuvas de verão), segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 20,4 °C, sendo a temperatura média máxima de 28,5 °C e mínima de 12 °C (FELFILI *et al.*, 1999). A umidade relativa entre maio e setembro fica abaixo de 70% e a umidade mínima ocorre em agosto, com uma média de 47%, podendo cair para 15% nos períodos mais secos (FIEDLER *et al.*, 2004).

A coleta dos materiais combustíveis foi realizada em áreas de Vereda (com vasta presença do *Paspalum lineare* Trin.), Cerrado *sensu stricto* e plantio de *Eucalyptus urograndis* com espaçamento de 3 x 2 m (Figura 3 e 4), de 12 a 26 de setembro de 2016.



**Figura 3.** Áreas de coleta do material combustível: Vereda (A), Cerrado sensu stricto (B) e Plantio de Eucalipto (C).



**Figura 4.** Áreas de coleta do material combustível.

### 3.2 Coleta do Material e Teor de Umidade do Combustível

Foram coletados todo material combustível superficial de 10 pontos aleatórios em cada área (havendo mais pontos em casos em que a quantidade de material combustível disponível era insuficiente para a queima). O material coletado foi separado em 12 pequenas amostras, acondicionadas em sacos de papel e, subsequentemente, pesadas em balança digital com precisão de 0,01 g. As 12 amostras pesadas foram submetidas a secagem em estufa com circulação e renovação de ar a 65°C durante um período de 72 horas. Por fim, as amostras foram novamente pesadas para determinação da massa seca. O teor de umidade de cada amostra foi determinado utilizando a seguinte equação:

$$TU(\%)_s = \left( \frac{MU - MS}{MS} \right) * 100 \quad (6)$$

Sendo:

TU (%)<sub>s</sub> – Percentagem de teor de umidade;

MU – Massa úmida

MS – Massa seca

As umidades do material vivo e do material morto foram determinadas separadamente. Foi realizada média dos valores de teor de umidade e este foi utilizado para as simulações no *BehavePlus*.

### 3.3 Comportamento do Fogo

Para a coleta de dados relacionados ao comportamento do fogo, em laboratório, foi realizada a queima em uma plataforma plana de 2,0 x 1,0 x 0,3 m com uma camada de terra de 6 cm para nivelar e obter uma superfície plana.

Foram utilizadas duas cargas (0,5 kg e 1,0kg) e três repetições de cada para cada área, totalizando 18 repetições.

#### 3.3.1 Velocidade de Propagação, Altura da Chama e Temperatura

A velocidade de propagação, altura da chama e temperatura foram coletadas durante a queima do material. Para auxiliar o monitoramento da velocidade de propagação da frente de fogo, foram instalados pinos laterais espaçados de 10 em 10 cm

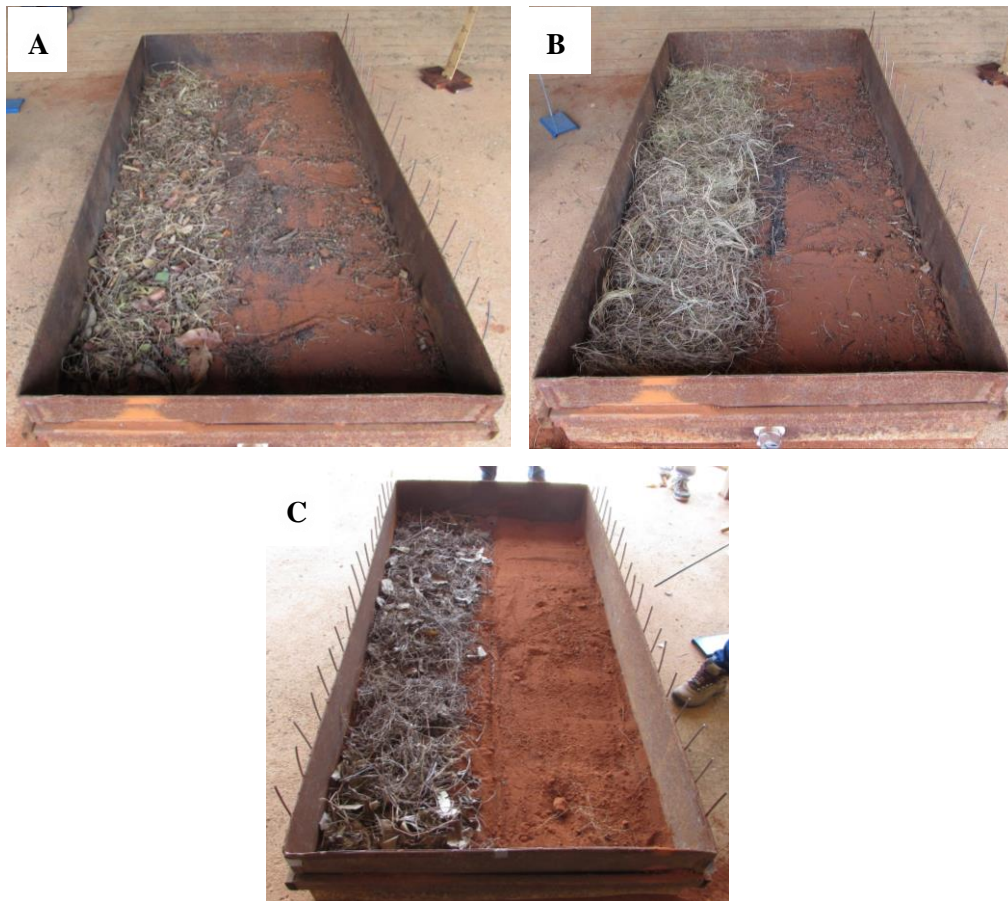
(Figura 5). Adicionalmente, fez-se uso de régua de 1,40 m (com medidas demarcadas de 5 em 5 cm) e termopar móveis para mensurações de altura da chama e temperatura a cada 30 s.

Para mensurações de altura da chama, procurou-se medi-la quando a chama estivesse o mais perpendicular possível, ou seja, sem nenhuma ou pouca influência do vento, para que, subsequentemente, pudesse aproximar esse valor para comprimento da chama.

A cama de combustível foi montada sobre uma superfície de 1,0 m<sup>2</sup>, na qual as cargas foram distribuídas homogêneas (Figura 6), tendo variações apenas na espessura. Durante a queima, foram realizadas leituras de taxa de propagação do fogo de cada intervalo, com auxílio de cronômetro, altura da chama e temperatura. No início de cada queima foram coletados a temperatura ambiente.



**Figura 5.** Plataforma para queima e demais elementos.



**Figura 6.** Cama de combustível de Cerrado sensu stricto (A), Vereda (B) e Plantio de Eucalipto (C).

### 3.3.2 Intensidade do Fogo

A intensidade do fogo foi estimada a partir relação entre o comprimento da chama e a intensidade do fogo (equação 3).

### 3.3.3 Calor liberado por Unidade de Área

O Calor liberado por unidade área foi calculado pela relação entre a intensidade do fogo e a velocidade de propagação (equação 5).

### 3.4 BehavePlus

Foram escolhidos três modelos personalizados propostos por Mistry & Berardi (2005) para as simulações no BehavePlus: Cerrado *sensu stricto*, Brejo-veredas e *Eucalyptus plantation*. Os modelos são descritos pela tabela 3.

**Tabela 3.** Parâmetros de cada modelo. Sendo CC= carga do combustível, SAV= Área superficial por volume do combustível, S= estático e D= dinâmico.

Parâmetros	Modelo		
	<i>Cerrado sensu stricto</i>	Brejo-Vereda	<i>Eucalyptus plantation</i>
<b>Tipo</b>	S	D	S
<b>CC 1h (t/ha)</b>	2,9	0,7	2,9
<b>CC 10h (t/ha)</b>	0,8	0	1,3
<b>CC 100h (t/ha)</b>	0,9	0	0,67
<b>CC vivo herbáceo (t/ha)</b>	0,1	3,0	0,1
<b>CC vivo lenhoso (t/ha)</b>	2,8	0	1,7
<b>Espessura do leito (m)</b>	0,5	0,4	0,5
<b>SAV 1h (cm<sup>-1</sup>)</b>	90	90	91
<b>SAV vivo herbáceo (cm<sup>-1</sup>)</b>	39	41	42
<b>SAV vivo lenhoso (cm<sup>-1</sup>)</b>	39	41	42
<b>Umidade de extinção (%)</b>	25	20	25
<b>Energia calorífica do combustível morto (kJ/kg)</b>	17200	17200	19500
<b>Energia calorífica do combustível vivo (kJ/kg)</b>	16300	16300	17000

Fonte: MISTRY & BERARDI (2005).

### 3.5 Análise de Dados

Para as estatísticas, foi utilizado o programa Bioestat 5.3. Foi realizado Análise de Variância (ANOVA) sobre os dados obtidos em laboratório (velocidade de propagação, altura da chama máxima, temperatura máxima, intensidade do fogo e calor liberado por unidade de área) com o intuito de verificar se houve diferença estatística entre as fitofisionomias e entre as cargas dentro de cada área, por fim, aplicado o teste de Tukey a um nível de 95% de confiança.

## 4. RESULTADOS

O experimento foi realizado em condições ambientais similares, exceto a queima da carga de 0,5kg/m<sup>2</sup> do cerrado *sensu stricto* que apresentava uma umidade relativa do ar alta (Tabela 4), mas retardou a propagação do fogo. Segundo Soares & Batista

(2007), a temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento afetam na propagação do fogo (apud CAMARGOS *et al.*, 2015).

**Tabela 4.** Condições ambientais em que os experimentos foram realizados.

	<b>Carga (kg)</b>	<b>Dia</b>	<b>Temperatura (C°)</b>	<b>Umidade relativa do ar (%)*</b>	<b>Velocidade do vento máxima (m/s) *</b>
Cerrado	0,5	21/out/2016	25,7 ± 2,5	86	5,1
<i>sensu stricto</i>	1,0	19/out/2016	35 ± 1,7	45	5,1
Plantio de	0,5	17/out/2016	33 ± 1	34	3,8
eucalipto	1,0	17/out/2016	26,8 ± 2,3	45	5,1
Vereda	0,5	19/out/2016	34,7 ± 0,6	45	5,1
	1,0	19/out/2016	31,3 ± 1,5	45	5,1

\* Dados obtidos em [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)

#### 4.1 Teor de Umidade do Combustível

O material coletado no cerrado *sensu stricto* foi o que apresentou menor teor de umidade (Tabela 5). Isso se deve pela grande presença de matéria morta (galhos e folhas) e de estrato herbáceo seco. Por outro lado, a Vereda apresentou um teor de umidade expressivamente maior, já que a mesma é caracterizada por solos saturados e pelo vasto estrato herbáceo-graminoide verde.

**Tabela 5.** Teor de umidade de campo do material coletado. Valores representam a média ± desvio-padrão.

<b>Fitofisionomia</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
Cerrado <i>sensu stricto</i>	18,45 ± 3,22
Plantio de Eucalipto	43,69 ± 16,77
Vereda	56 ± 49,11

#### 4.2 Comportamento do Fogo

Os valores médios encontrados para cada variável mensurada durante a execução do experimento são expressos na Tabela 6. A Tabela 7 traz as variáveis calculadas, derivadas das variáveis analisadas durante o experimento.

**Tabela 6.** Valores médios encontrados para cada variável. Sendo Tmax= Temperatura Máxima; Hchama= Altura da Chama Máxima; e r= Velocidade de Propagação. Valores representam a média  $\pm$  desvio-padrão.

Fitofisionomia	Carga (kg)	Tmax (C°)	Hchama (cm)	r (m/s)
Cerrado <i>sensu stricto</i>	0,5	165,33 $\pm$ 21,01	45,67 $\pm$ 7,64	4,24e <sup>-3</sup> $\pm$ 1,12e <sup>-3</sup>
	1,0	231,33 $\pm$ 106,36	59 $\pm$ 22,91	7,13e <sup>-3</sup> $\pm$ 3,67e <sup>-3</sup>
Plantio de eucalipto	0,5	172 $\pm$ 17	52,33 $\pm$ 12,58	4,35e <sup>-3</sup> $\pm$ 8,19e <sup>-4</sup>
	1,0	239 $\pm$ 59,1	62,33 $\pm$ 14,43	4,33e <sup>-3</sup> $\pm$ 4,75e <sup>-4</sup>
Vereda	0,5	212,33 $\pm$ 86,4	58,67 $\pm$ 18,58	1,4e <sup>-2</sup> $\pm$ 2,11e <sup>-3</sup>
	1,0	399,33 $\pm$ 7,23	107,33 $\pm$ 5,77	1,36e <sup>-2</sup> $\pm$ 2,92e <sup>-3</sup>

**Tabela 7.** Valores médios encontrados para cada variável. Sendo I= Intensidade do Fogo e Ha= Calor liberado por Unidade de Área. Valores representam a média  $\pm$  desvio-padrão.

Fitofisionomia	Carga (kg)	I (kJ/m/s)	Ha (kJ/m <sup>2</sup> )
Cerrado <i>sensu stricto</i>	0,5	48,4 $\pm$ 17,76	11776,17 $\pm$ 4105,88
	1,0	93,19 $\pm$ 75,39	12081,57 $\pm$ 4949
Plantio de eucalipto	0,5	66,71 $\pm$ 32,5	14753,03 $\pm$ 4849,22
	1,0	97,25 $\pm$ 50,54	23319,17 $\pm$ 14376,87
Vereda	0,5	88,42 $\pm$ 52,4	6380,98 $\pm$ 4159,54
	1,0	303,84 $\pm$ 36,15	22970,43 $\pm$ 5068,98

A vereda apresentou maiores médias para as variáveis temperatura máxima, altura da chama, velocidade de propagação e intensidade do fogo, especialmente aqueles relacionados a carga de 1,0kg/m<sup>2</sup> que foram expressivamente superiores se comparados aos da carga de 0,5kg/m<sup>2</sup>. Com relação ao calor liberado por unidade de área, o plantio de eucalipto foi o que demonstrou maiores valores, tanto para carga de 0,5kg/m<sup>2</sup> como para 1,0kg/m<sup>2</sup>.

### 4.3 Análise estatística das variáveis do comportamento do fogo

#### 4.3.1 Temperatura Máxima

A temperatura máxima não apresentou diferença significativa na análise entre áreas. Também não houve diferença significativa na análise dentro do cerrado *sensu stricto* e plantio de eucalipto, ou seja, as temperaturas máximas relativas as cargas 0,5kg/m<sup>2</sup> e 1,0kg/m<sup>2</sup> dessas áreas foram estatisticamente semelhantes. Contudo, a análise dentro da área de vereda apresentou valores significativamente diferentes à uma



probabilidade de 5%. A carga 1,0kg/m<sup>2</sup> apresentou uma temperatura máxima maior (399 ± 7,23 C°) que a verificada na carga 0,5kg (212 ± 86,40 C°).

#### 4.3.2 Velocidade de Propagação

Não houve diferença significativa para as análises dentro das fitofisionomias. Por outro lado, na análise entre fitofisionomias, a Vereda se diferenciou das demais em ambas as cargas (Tabela 8 e 9), apresentando uma velocidade de propagação consideravelmente superior as demais fitofisionomias.

**Tabela 8.** Teste de Tukey entre áreas para a velocidade de propagação da carga 0,5kg/m<sup>2</sup>. Sendo r = Velocidade de propagação. Valores representam a média ± desvio-padrão.

Área	r (m/s)	Probabilidade
Cerrado <i>sensu stricto</i>	0,0042 ± 0,0011 a	p < 0,01
Plantio de Eucalipto	0,0043 ± 0,0008 a	p < 0,01
Vereda	0,0140 ± 0,0021 b	

**Tabela 9.** Teste de Tukey entre áreas para velocidade de propagação da carga 1,0 kg/m<sup>2</sup>. Sendo r = Velocidade de propagação. Valores representam a média ± desvio-padrão.

Área	r (m/s)	Probabilidade
Cerrado <i>sensu stricto</i>	0,0071 ± 0,0037 a	p < 0,05
Plantio de Eucalipto	0,0043 ± 0,0005 a	p < 0,01
Vereda	0,0136 ± 0,0029 b	

#### 4.3.3 Altura da Chama e Intensidade do Fogo

Com relação a análise dentro das fitofisionomias, não houve diferença estatística para as alturas de chama do cerrado *sensu stricto* e do plantio de eucalipto, mas foi encontrada diferença dentro da área de vereda a uma probabilidade de 5%. Enquanto que para a carga de 0,5kg/m<sup>2</sup> a média das alturas máxima foi 58,67 ± 18,58 cm, para carga de 1,0kg/m<sup>2</sup> obteve-se um valor de 107,33 ± 5,77 cm.

A análise entre áreas para a carga de 0,5kg/m<sup>2</sup> não apontou diferença estatística, mas demonstrou que a vereda se diferencia significativamente das demais áreas para a carga de 1,0kg/m<sup>2</sup> (Tabela 10).

**Tabela 10.** Teste de Tukey entre áreas para altura de chama da carga 1,0 kg/m<sup>2</sup>. Sendo Hchama = Altura da chama. Valores representam a média ± desvio-padrão.

Área	Hchama (cm)	Probabilidade
Cerrado <i>sensu stricto</i>	59 ± 22,91 a	p < 0,05
Plantio de Eucalipto	62,33 ± 14,43 a	p < 0,05
Vereda	107,33 ± 5,77 b	

A intensidade do fogo teve um comportamento similar à altura da chama, o que era esperado, já que os resultados de intensidade do fogo foram obtidos com a relação estabelecida por Byram (1956) entre essa variável e o comprimento da chama (utilizado a altura da chama no presente estudo). Assim, a vereda também apresentou diferença estatística entre as cargas 0,5kg/m<sup>2</sup> e 1,0kg/m<sup>2</sup> a uma probabilidade de 1%, do qual os valores médios de intensidade são 88,42 ± 52,40 kJ/m/s e 303,84 ± 36,15kJ/m/s, respectivamente. Ao dobrar a carga da Vereda, o valor da intensidade do fogo triplicou.

A Vereda foi a área que se diferenciou estatisticamente das demais para a carga de 1,0kg/m<sup>2</sup> (Tabela 11).

**Tabela 11.** Teste de Tukey entre áreas para Intensidade do fogo da carga 1,0kg/m<sup>2</sup>. Sendo I = Intensidade do fogo. Valores representam a média ± desvio-padrão.

Área	I (kJ/m/s)	Probabilidade
Cerrado <i>sensu stricto</i>	93,19 ± 75,39 a	p < 0,01
Plantio de Eucalipto	97,25 ± 50,54 a	p < 0,01
Vereda	303,84 ± 36,15 b	

#### 4.3.4 Calor liberado por Unidade de Área

Não houve diferença significativa para a análise dentro e entre das áreas e entre a uma probabilidade de 5%. Todos os valores foram considerados estatisticamente semelhantes.

#### 4.4 BehavePlus

Foram utilizados valores máximos, mínimos e médios para a teor de umidade do combustível vivo e do morto adequados para a ocorrência de fogo, e o valor máximo para a velocidade do vento (Tabela 12).

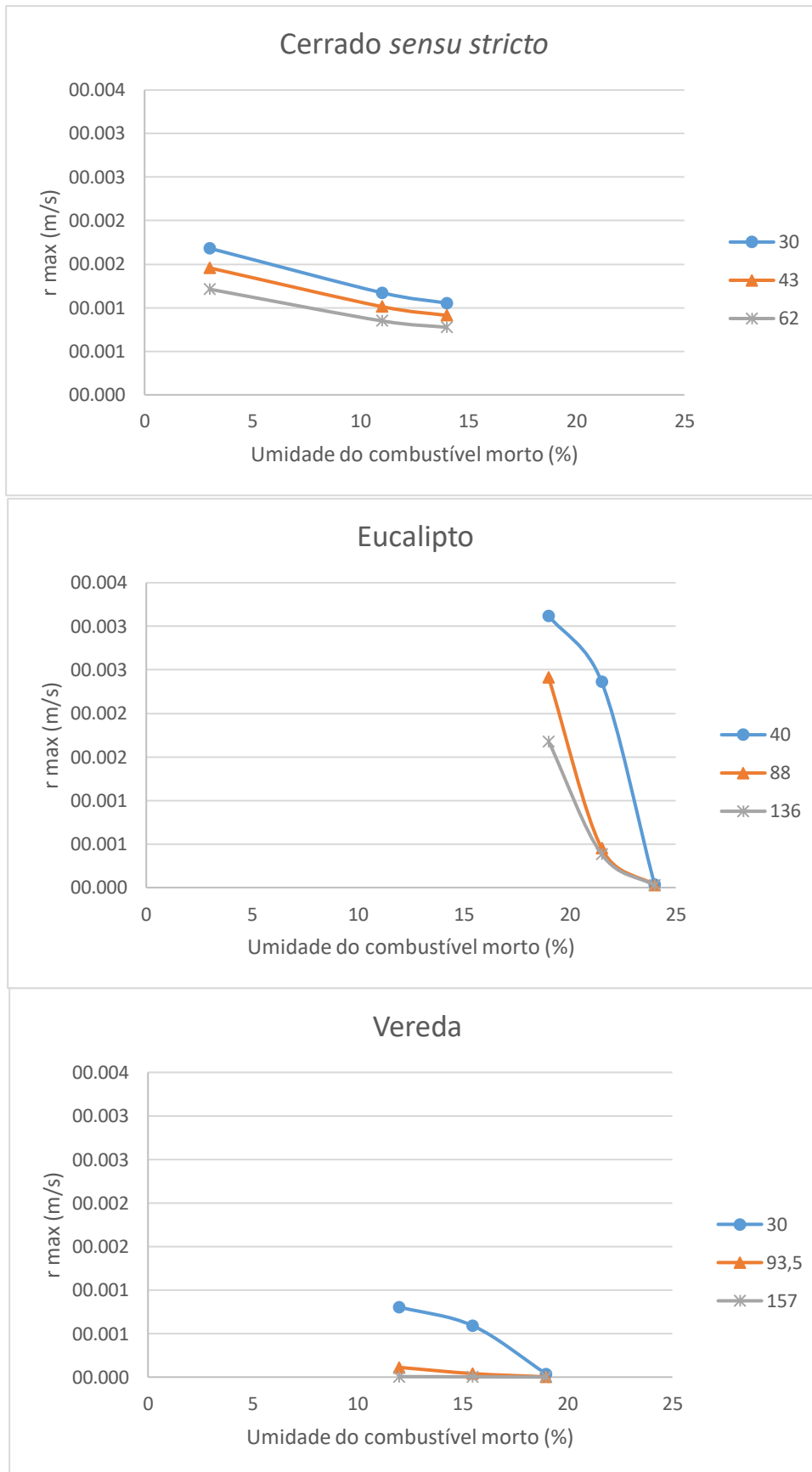
**Tabela 12.** Valores utilizados nas simulações do BehavePlus.

	Teor de umidade do combustível (%)						Velocidade do vento (m/s)
	Vivo			Morto			
	Mín.	Médio	Máx.	Mín.	Médio	Máx.	
<b>Cerrado <i>sensu stricto</i></b>	30	43	62	3	11	14	5,1
<b>Plantio de eucalipto</b>	40	88	136	19	21,5	24	5,1
<b>Vereda</b>	30	93,5	157	12	15,5	19	5,1

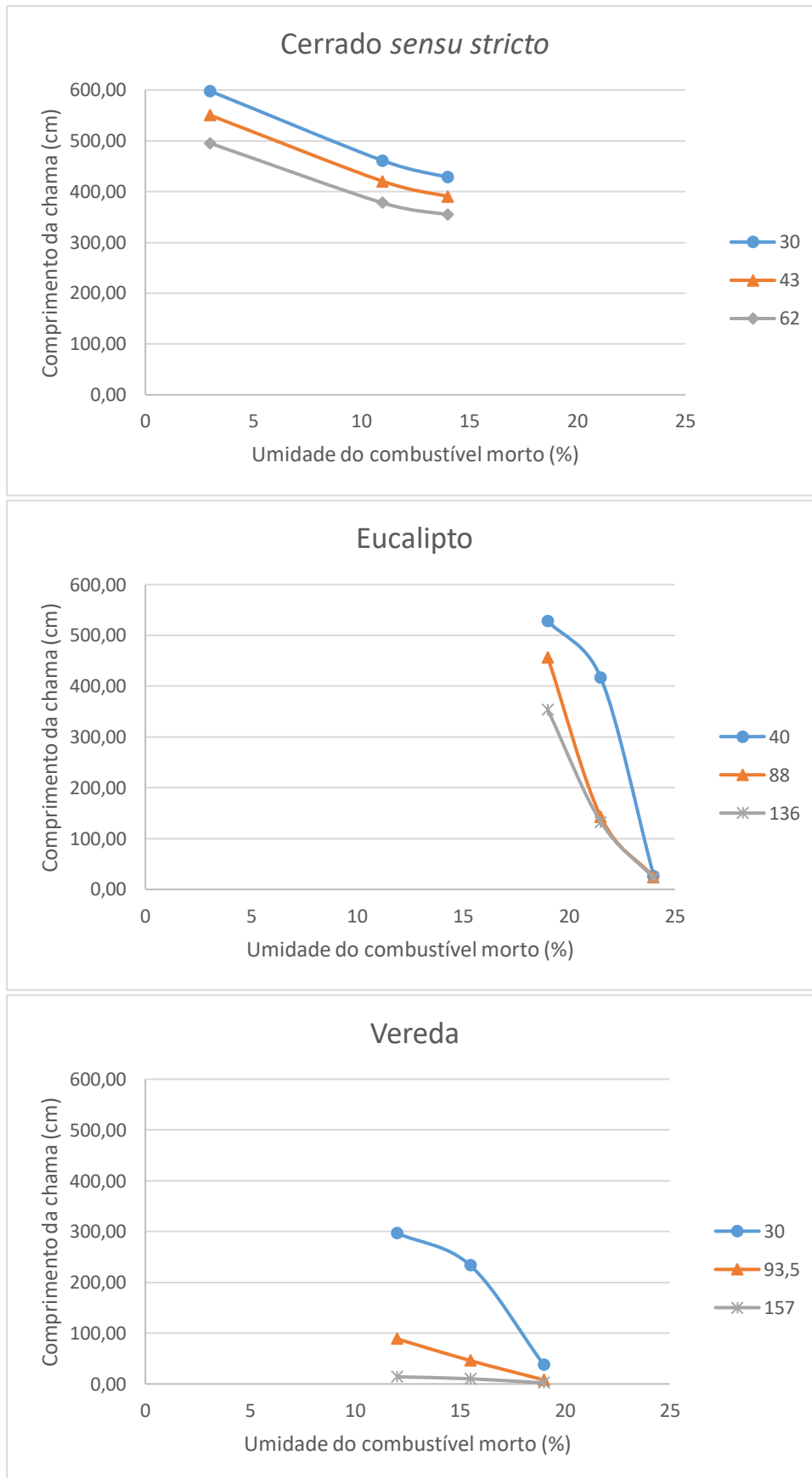
Comparando os resultados obtidos no experimento com as simulações do BehavePlus (Figura 7-10), a situação se inverteu. Enquanto no experimento a vereda demonstrou maiores valores para a maioria das variáveis de comportamento, nas simulações esta área demonstrou os menores valores e o cerrado *sensu stricto* demonstrou valores maiores, já que a mesma área apresentou melhores valores de umidade para ocorrência de fogo mais intenso e mais rápido (Tabela 12).

Apesar de não ter sido realizada nenhuma análise estatística comparando os resultados obtidos durante o experimento e as simulações utilizando o BehavePlus, observou-se que os resultados para cada variável foram consideravelmente maiores aos observados no experimento, mas não sendo possível afirmar que eles significativamente diferentes.

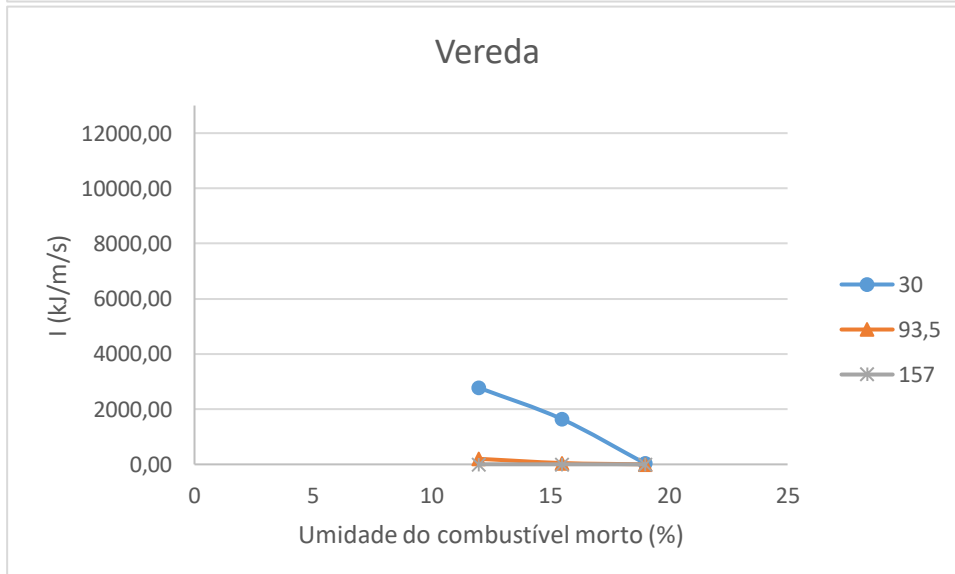
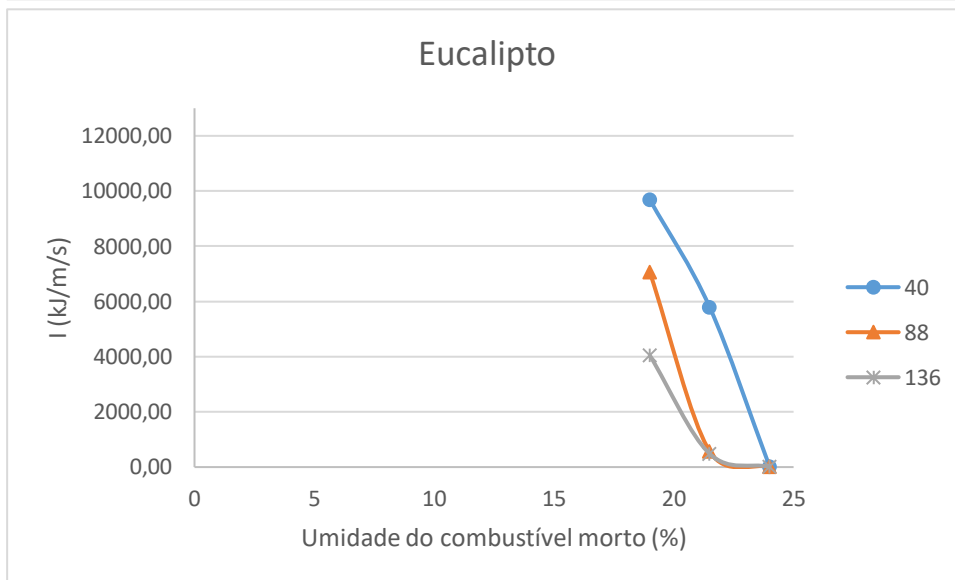
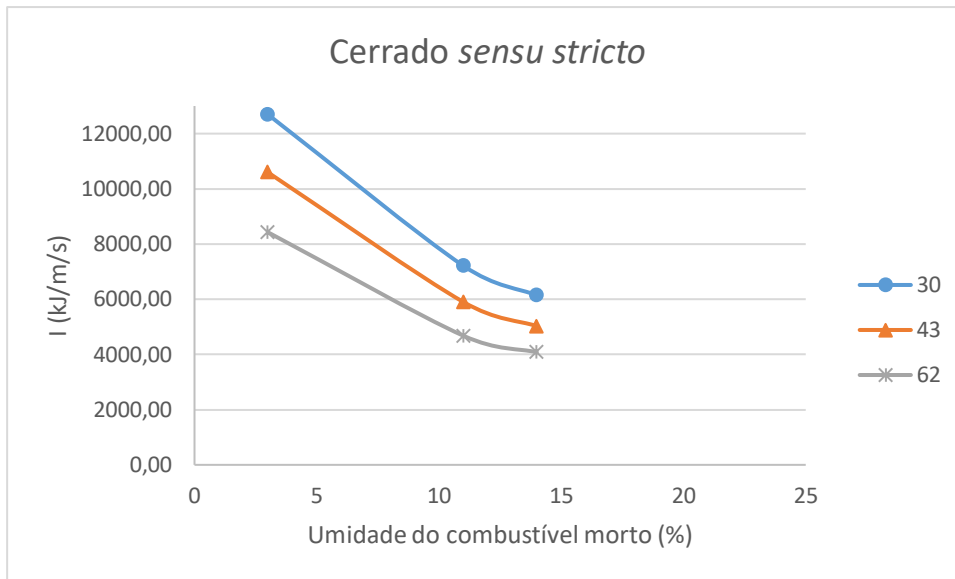
A diferença entre os valores e a inversão de situação (cerrado *sensu stricto* e vereda) podem ser explicadas pela possível diferença entre o teor de umidade do combustível durante o experimento e o teor de umidade considerado para as simulações. O valor utilizado para as simulações foi o teor de umidade de campo do combustível e apesar das amostras queimadas terem sido previamente acondicionadas em sacos de papel, a perda de umidade destas não pode ser evitada.



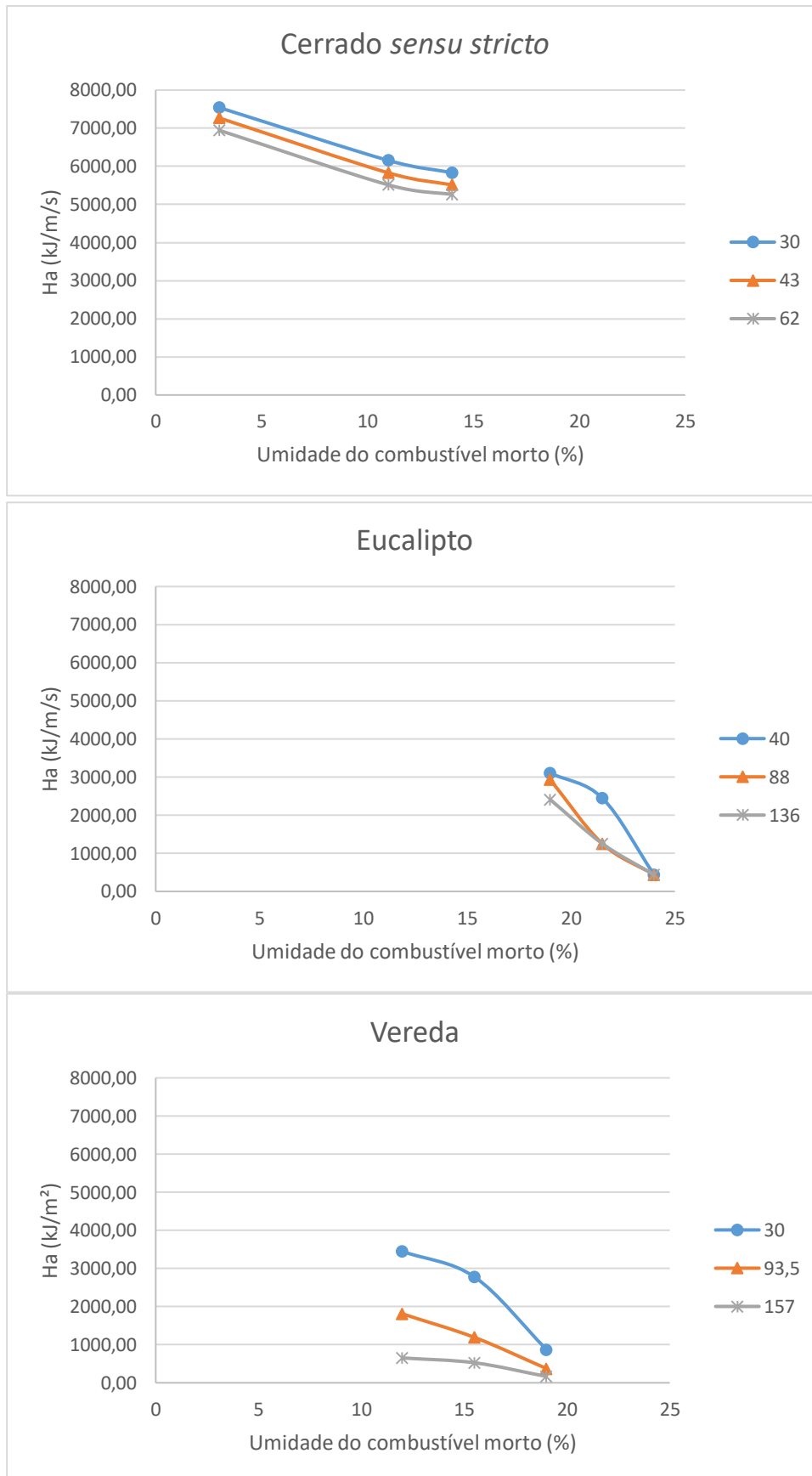
**Figura 7.** Velocidade de propagação máxima estimada pelo BehavePlus. Cada série (linha) representa uma umidade do combustível vivo (%).



**Figura 8.** Comprimento da chama estimada pelo BehavePlus. Cada série (linha) representa uma umidade do combustível vivo (%).



**Figura 9.** Intensidade do fogo estimada pelo BehavePlus. Cada série (linha) representa uma umidade do combustível vivo (%).



**Figura 10.** Calor liberado por unidade de área estimada pelo BehavePlus. Cada série (linha) representa uma umidade do combustível vivo (%).

## 5 DISCUSSÃO

Devido à grande heterogeneidade existente entre as fitofisionomias do bioma, espera-se que o comportamento do fogo seja variável no meio desses ecossistemas (KAUFFMAN *et al.*, 1994), principalmente devido aos diferentes tipos de combustíveis existentes e a abundância dos mesmos. Kauffman *et al.* (1994) ainda afirma que, com o aumento da densidade de árvores, a biomassa composta por gramíneas tende a cair expressivamente e ser substituída por biomassa lenhosa e de dicotiledôneas.

Ademais, Mistry & Berardi (2005) afirmam que áreas dominadas pelo estrato herbáceo-gramíneo são caracterizadas pela alta biomassa e susceptíveis a maiores alturas de chamas, maiores intensidades e maiores velocidades de propagação. Esse aspecto foi observado no presente estudo para os resultados da área vereda, já que a mesma não apresentava o impedimento dos solos saturados e apresentou todas as características citadas anteriormente.

Kauffman *et al.* (1994) percebeu, em seu estudo de campo, que áreas gramíneas apresentam uma grande eficiência na queima, onde mais de 97% da biomassa é consumida. Rissi (2016) também observou a eficiência da queima em uma área de campo sujo e indicou que mais de 89% do combustível foi consumido, onde a maioria do combustível consumido era do estrato herbáceo-gramíneo. Por outro lado, áreas de cerrado *sensu stricto* apresentou grande quantidade de material não consumido, com uma porcentagem de biomassa consumida pelo fogo de 84% (KAUFFMAN *et al.*, 1994).

O comprimento da chama encontrado por Kauffman *et al.* (1994) foi consideravelmente maior para áreas de gramíneas (5,4 m) comparado ao cerrado *sensu stricto* (3,3 m). Conseqüentemente, as áreas de gramíneas também apresentaram maiores proporções de energia liberada durante a combustão (maiores intensidades na linha de fogo). Os resultados do experimento também seguiram essa linha, onde a altura de chama (igualada ao comprimento) e a intensidade do fogo foram expressivamente superiores às demais áreas estudadas.

Os fatores que mais influenciaram no comportamento do fogo durante o experimento foi o tipo de material combustível que cada área apresentava e fatores climáticos e vento, que não puderam ser controlados durante a queima da cama de combustível.



Apesar de ter sido montada uma cama homogênea com relação a espessura e área, a composição da cama em algumas áreas era levemente heterogênea. A vereda era a área com combustível mais homogêneo, apresentando essencialmente gramíneas, enquanto o plantio de eucalipto e, principalmente, o cerrado *sensu stricto* havia presença de herbáceas pequenas, folhas e galhos. De acordo com Motta (2008), gramíneas são classificados como material combustível perigoso, que produzem muita chama e muito calor, por outro lado, galhos com diâmetro superior a 1 cm (comum no combustível do cerrado *sensu stricto*) são classificados como semi-perigosos, que apresentam uma ignição mais lenta, mas que produzem calor intenso e são capazes de manter a combustão latente e reiniciar incêndios.

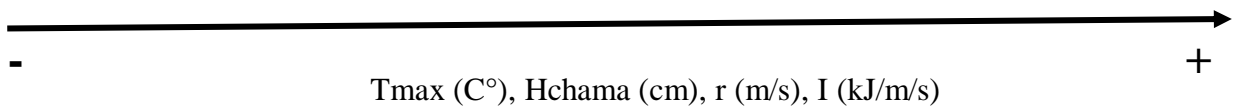
Os valores encontrados para comprimento da chama, velocidade de propagação, e intensidade (Tabela 6 e 7) foram diferentes aos intervalos observados por Kauffman *et al.* (1994) (Tabela 13), já que o presente estudo foi realizado em pequena escala e apresenta um gradiente bastante abrupto. Em contrapartida, as observações feitas por ele comparando áreas de gradientes vegetacionais diferentes também foram observadas durante a realização deste estudo. Dentre as variáveis que caracterizam o comportamento do fogo estudadas, a área de vereda foi a que mais se diferenciou estatisticamente e a que apresentou os maiores valores, sendo propriamente a área que apresenta maior quantidade de material herbáceo-gramíneo e quantidades menores de combustível lenhoso (composto essencialmente pela *T. parviflora*). Se demonstrados em um esquema, as variáveis de comportamento do fogo tenderam a aumentar com a maior carga por área e com a maior quantidade de material fino ou herbáceo-gramíneo (Figura 11), onde combustíveis mais grossos (galhos mais grossos ou casca) conferiam uma certa descontinuidade na frente de fogo, já que os mesmos apresentam um processo de combustão mais lento, retardando a velocidade de propagação.

**Tabela 13.** Comportamento do fogo para fitofisionomias do Cerrado próximas a Brasília, DF (agosto - setembro, 1990). Sendo r = Velocidade de propagação e I = Intensidade do fogo. Valores representam a média ± desvio-padrão.

	<b>Campo limpo – Campo Sujo</b>	<b>Cerrado <i>sensu stricto</i></b>
Comprimento da chama (m)	5 ± 1	3
r (m/s)	0,05 -0,2	0,15 – 0,33
I (kJ/m/s)	16394 ± 8776	3455 ± 578

Fonte: KAUFFMAN *et al.*, 1994.

<b>Cerrado <i>sensu stricto</i></b> Gramíneas/herbáceas + material lenhoso	<b>Plantio de Eucalipto</b> Gramíneas/herbáceas + galhos	<b>Vereda</b> Essencialmente gramíneas/herbáceas
0,5 kg/m <sup>2</sup> 1,0kg/m <sup>2</sup>	0,5 kg/m <sup>2</sup> 1,0kg/m <sup>2</sup>	0,5 kg/m <sup>2</sup> 1,0kg/m <sup>2</sup>



**Figura 11.** Comportamento das variáveis de acordo com a característica do combustível e da carga.

De acordo com Rissi (2016), no planejamento do manejo do fogo, deve-se considerar a carga do combustível e a porcentagem de combustível morto, já que essas variáveis apresentam grande influência no comportamento do fogo e na continuidade da linha de fogo. Como observado nos resultados obtidos (Tabela 6 e 7), no qual alguns valores tem um aumento considerável ao se dobrar a carga do combustível.

Com relação ao BehavePlus, observou-se que o teor de umidade do combustível, especialmente do combustível morto, influencia bastante nas simulações. Onde foram considerados valores grandes de umidade foi observado uma queda abrupta nos gráficos (Figura 7-10).

Oliveira (2016) também observou diferença expressiva entre valores médios reais de velocidade de propagação, comprimento das chamas e intensidade e os valores obtidos a partir de simulações com *softwares*. O autor afirma que essas diferenças estão associadas aos modelos matemáticos utilizados na construção de cada *software* e que mesmo tendo criado um modelo customizado para seu estudo, o mesmo ainda demonstrou diferenças estatísticas indicando a dificuldade de se ter o controle sobre os fatores que influenciam o comportamento do fogo, tais como variáveis climáticas.

White *et al.* (2013a) comenta que apesar do BehavePlus ser uma ferramenta comumente usada para o manejo do fogo, principalmente nos Estados Unidos, ele é apenas uma ferramenta auxiliar, sendo necessário informações adicionais para tomadas de decisão, já que muitos trabalhos na literatura reportam discrepâncias entre os dados simulados e os dados obtidos em campo (Tabela 14).

**Tabela 14.** Descrição dos trabalhos de simulação e validação encontrados na literatura que utilizaram o modelo de Rothermel (1972) integrado ao módulo “superfície” no BehavePlus com o objetivo de modelagem do comportamento do fogo.

Local	Tipo de vegetação	Finalidade do uso do BehavePlus	Modelo do combustível	Simulações satisfatórias?	Referência
Sevivas, Portugal	Pinheiro ( <i>Pinus pinaster</i> )	Verificar a eficiência das simulações do BehavePlus na modelagem do fogo superficial	Modelo customizado	Não. Comprimento das chamas e velocidade de propagação subavaliadas	Fernandes (2002)
Sevivas, Portugal	Pinheiro ( <i>Pinus pinaster</i> )	Verificar a eficiência na modelagem do fogo superficial	Modelo customizado	Não. Comprimento das chamas e velocidade de propagação subavaliadas	Fernandes (2009)
Califórnia, Estados Unidos	<i>Adenostoma fasciculatum</i>	Comparar os dados obtidos em campo com as simulações do BehavePlus	NFFL 4, SH5, SH7, SCAL15, SCAL17	Não. Comprimento das chamas e velocidade de propagação subavaliadas	Stephens <i>et al.</i> (2008)
Yosemite National Park, Califórnia, Estados Unidos	Seis distintas formações vegetais	Testar o modelo de propagação de Rothermel (1972) com dados de queimadas controladas	Modelo customizado	Sim. Pequenas diferenças na velocidade de propagação na ordem de 0,9 cm min <sup>-1</sup>	Van Wagtenonk & Botti (1984)
Região sul dos Estados Unidos	<i>Serenoa repens</i> e <i>Ilex glabra</i>	Comparar os dados experimentais com as simulações utilizando o modelo de Rothermel (1972)	Modelo customizado	Sim. A discrepância não foi considerada grande o suficiente para desqualificar as simulações	Hough & Albine (1978)
Carolina do Sul, Estados Unidos	Vegetação de interface urbana - florestal	Avaliar a eficiência do BehavePlus na simulação do comportamento do fogo	Modelo customizado	Sim	Glitzensteina <i>et al.</i> (2006)

Fonte: WHITE *et al.* (2013a).

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicam:

Para as análises dentro das áreas:

- Houve diferença significativa para a área da vereda nas variáveis temperatura máxima, altura da chama e intensidade do fogo, sendo que a carga 1,0kg/m<sup>2</sup> apresentou valores médios consideravelmente maiores.

Para as análises entre áreas:

- Cerrado *sensu stricto* e plantio de eucalipto apresentaram resultados estatisticamente semelhantes;
- Dentre as variáveis que descrevem o comportamento do fogo estudadas, a área de vereda foi a que se diferenciou estatisticamente das demais áreas, apresentando maiores médias para velocidade de propagação nas cargas de 0,5kg/m<sup>2</sup> e de 1,0kg/m<sup>2</sup>, para altura da chama na carga de 1,0 kg/m<sup>2</sup> e para intensidade do fogo na carga de 1,0kg/m<sup>2</sup>;
- Para todas as áreas, o calor liberado por unidade de área não gerou diferença significativa.

Para as simulações feitas no BehavePlus:

- O cerrado *sensu stricto* demonstrou maiores valores para as variáveis do comportamento do fogo;
- São necessários mais estudos para verificar, efetivamente, a eficiência do software BehavePlus e ajustá-lo a realidade no Brasil

## 7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDERSON, H.E. Aids to Determining Fuel Models For Estimating Fire Behavior. **United States Department of Agriculture**, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden – UT, abr. 1982.

ANDREWS, P. L. BehavePlus Fire Modeling System: Past, Present, and Future. **United States Forest Service**, Rocky Mountain Research Station, Missoula, MT, 2007. 13p.

ANDREWS, P.L.; BEVINS, C.D.; SELI, R.C. BehavePlus fire modeling system version 4.0 User's Guide. **United States Forest Service**, Rocky Mountain Research Station, Missoula, MT, jul. 2008.

BEUTLING, A. **Modelagem do comportamento do fogo com base em experimentos laboratoriais e de campo**. 2009. 121 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BORGES, T.S.; FIEDLER, N.C.; SANTOS, A.R.; LOUREIRO, E.B.; MAFIA, R.G. Desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no norte do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, Espírito Santo, v.18, n.2, p. 153-159. Disponível em: <<http://www.floram.org/files/v18n2/v18n2a5.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.651, de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em: 19 ago. 2016.

BURGAN, R.E. Estimating live fuel moisture for the 1978 National Fire Danger Rating System. **United States Department of Agriculture**, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden – UT, jul. 1979.

BYRAM, G. M. Combustion of forest fuels. In: DAVIS K. P. (Ed.). **Forest fire control and use**. McGraw-Hill Book, New York, p. 61-89, 1959.

CAMARGOS, V.L.; RIBEIRO, G.A.; SILVA, A.F.; MARTINS, S.V.; CARMO, F.M.S. Estudo do comportamento do fogo em um trecho de floresta estacional semidecídua no município de viçosa, Minas Gerais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 537-545, jul-set., 2015.

CARAPIÁ, V.R. **Predição do Índice de Risco de Incêndio e modelagem computacional do comportamento do avanço da frente do fogo no Parque Nacional da Florestal da Tijuca.** 2006. 197 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

COUTINHO, L.M. O bioma cerrado. In: KLEIN, A.L. **Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois.** São Paulo: Editora UNESP; Imprensa Oficial do Estado, 2002. 156p.

CRITICAL ECOSYSTEM PARTNERSHIP FUND –CEPF. **Perfil do Ecosistema Hotspot de Biodiversidade do Cerrado.** 2016. Disponível em: <<http://www.cepf.net/SiteCollectionDocuments/cerrado/CerradoEcosystemProfile-PR.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

FAZENDA ÁGUA LIMPA – FAL. Universidade de Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.fal.unb.br>>. Acesso em: 13 ago.. 2016.

FELFILI, J.M.; SILVA-JÚNIOR, M.C.; DIAS, B.J.; REZENDE, A.B. Estudo fenológico de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville no cerrado *sensu stricto* da Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.22, n.1, p. 83-90, apr. 1999. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-84041999000100011](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84041999000100011)>. Acesso em: 13 ago. 2016.

FIEDLER, N. C.; AZEVEDO, I. N. C.; REZENDE, A. V.; MEDEIROS, M. B.; VENTUROILI, F. Efeitos de incêndios florestais na estrutura e composição florística de uma área de Cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa - DF. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.28, p. 129-138. 2004.

FREITAS, L.C.; SANT'ANNA, G.L. Efeitos do fogo nos ecossistemas florestais. **Revista Madeira**, n.79, mar. 2004. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=508&subject=Inc%EAndios&title=Efeitos%20do%20fogo%20nos%20ecossistemas%20florestais](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=508&subject=Inc%EAndios&title=Efeitos%20do%20fogo%20nos%20ecossistemas%20florestais)>. Acesso em: 17 ago. 2016.

HEINSCH, F. A.; ANDREWS, P. L. BehavePlus fire modeling system, version 5.0: Design and Features. **United States Department of Agriculture**, Forest Service,

Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, 2010. 111 p. (General Technical Report RMRS-GTR-249)

KAUFFMAN, B.J.; CUMMINGS, D.L.; WARD, D.E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology**, v. 82, n. 3, p. 519-531, set. 1994.

KANEGAE, M. F.; BRAZ, V. S.; FRANCO, A. C. Efeitos da seca sazonal e disponibilidade de luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.23, n.4, p. 459-468, dez. 2000.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v.1, n.1, jul. 2005.

LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M. Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2005. 439p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Florestas do Brasil em resumo**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro – SFB, 2013. 188p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **PPCerrado - Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado: 2ª fase (2014-2015)**. Brasília: MMA, 2014. 132p.

MIRANDA, E.E.; FONSECA, M.F. **Considerações fitogeográficas e históricas sobre o bioma Cerrado no Estado de São Paulo**. 2013. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1\\_CERRADOS\\_2013.pdf](https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1_CERRADOS_2013.pdf)>. Acesso em: 13 ago. 2016.

MISTRY, J.; BERARDI, A. Assessing Fire Potential in Brazilian Savanna Nature Reserve. **Biotropica**, v.37, n.3, p. 439-451. 2005.

MITTERMEIER, R.A.; GIL, P.R.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C.G.; LAMOREUX, J.; FONSECA, G.A.B. **Hotspots: Revisited**. Mexico City: CEMEX, 2004. 390 p.

MOTTA, D.S. **Identificação dos fatores que influenciam no comportamento do fogo em Incêndios Florestais**. 2008. 24p. Monografia – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MUNHOZ, C.B.R.; EUGÊNIO, C.U.O.; OLIVEIRA, R.C. **Vereda: guia de campo**. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2011. 224 p.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, fev. 2000.

NASCIMENTO, I.V. **Cerrado: o fogo como agente ecológico**. 2001. Disponível em: <[http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Documentacao/Territorium/T08\\_artg/T08\\_artg03.pdf](http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Documentacao/Territorium/T08_artg/T08_artg03.pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2016.

OLIVEIRA, M.V.N. **Avaliação e simulação do comportamento do fogo no refúgio de vida silvestre Mata do Junco, Sergipe, Brasil**. 2016. 77 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, 2016.

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p.

PIVELLO, V.R. Fire Management for Biological Conservation in the Brazilian *Cerrado*. In: MISTRY, J.; BERARDI, A. **Savannas and Dry Forests: Linking People with Nature**. UK: Ashgate, 2006. 274p.

RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, n.80, p. 223-230. 1997.

RIBEIRO, J.F.; SANO, S.M.; MACÊDO, J.; SILVA, J.A. **Os principais tipos fitofisionômicos da região dos Cerrados**. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1983. 28p.



RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: EMBRAPA-CPAC, 2008. v.1. 408 p.

RISSI, M.N. **Efeito da época da queima na dinâmica de campo sujo de Cerrado**. 2016. 128 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.

ROTHERMEL, R. C. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels. **United States Department of Agriculture**, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden – UT. 1972.

ROTHERMEL, R.C. How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires. **United States Department of Agriculture**, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden – UT, jun. 1983.

SANTOS, M.A.; BARBIERI, A.F.; CARVALHO, J.A.M.; MACHADO, C.J. **O cerrado brasileiro: notas para estudo**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2010. 15p.

SCOTT, J.H.; BURGAN. Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model. **United States Department of Agriculture**, Rocky Mountain Research Station, jun. 2005.

SILVEIRA, E.P. **Florística e estrutura da vegetação de cerrado *sensu stricto* em terra indígena no noroeste do estado de Mato Grosso**. 2010. 62p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) -. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

SOARES, R.V. Ocorrência de incêndios em povoamentos florestais. **Floresta**, v. 22, n. 12, p. 39-53, 1992.

VITAL, M.H.F. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v.14, n.28, p. 235-276, dez. 2007.

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. 73-84, jan./mar. 2013a.

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. **FLORESTA**, Curitiba - PR, v. 43, n. 1, p. 27-38, jan./mar. 2013b.

## ANEXO

**Anexo 1.** Simulação de velocidade de propagação máxima (m/s) para o cerrado *sensu stricto*.

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	30	43	62
3	1,6836	1,4580	1,2134
11	1,1721	1,0125	0,8487
14	1,0534	0,9121	0,7757

**Anexo 2.** Simulação de comprimento da chama (cm) para o cerrado *sensu stricto*.

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	30	43	62
3	598	550,30	495,26
11	460,95	420,28	377,72
14	428,24	390,47	354,74

**Anexo 3.** Simulação de intensidade da linha de fogo (kJ/m/s) para o cerrado *sensu stricto*.

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	30	43	62
3	12695,86	10596,94	8427,41
11	7209,80	5898,13	4676,41
14	6143,71	5026,28	4079,83

**Anexo 4.** Simulação de calor liberado por unidade de área (kJ/m<sup>2</sup>) para o cerrado *sensu stricto*

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	30	43	62
3	7541,10	7267,91	6945,02
11	6151,39	5825,50	5510,12
14	5832,34	5510,87	5259,73

**Anexo 5.** Simulação de velocidade de propagação máxima (m/s) para o plantio de eucalipto.

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	40	88	136
19	3,1199	2,4098	1,6782
21,5	2,3619	0,4509	0,3837
24	0,0336	0,0279	0,0238

**Anexo 6.** Simulação de comprimento da chama (cm) para o plantio de eucalipto.

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	40	88	136
19	528,07	456,59	353,43
21,5	416,76	143,08	132,83
24	26,63	24,45	22,75

**Anexo 7.** Simulação de intensidade da linha de fogo (kJ/m/s) para o plantio de eucalipto.

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	40	88	136
19	9688,39	7062,06	4047,23
21,5	5791,30	566,77	482,19
24	14,65	12,17	10,40

**Anexo 8.** Simulação de calor liberado por unidade de área (kJ/m<sup>2</sup>) para o plantio de eucalipto.

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	40	88	136
19	3105,35	2930,62	2411,58
21,5	2451,93	1256,83	1256,83
24	436,45	436,45	436,45

**Anexo 9.** Simulação de velocidade de propagação máxima (m/s) para vereda.

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	30	93,5	157
12	0,8040	0,1112	0,0056
15,5	0,5883	0,0401	0,0034
19	0,0345	0,0028	0,0003

**Anexo 10.** Simulação de comprimento da chama (cm) para vereda.

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	30	93,5	157
12	296,89	88,80	14,09
15,5	232,87	45,83	10,15
19	37,11	7,90	1,99

**Anexo 11.** Simulação de intensidade da linha de fogo (kJ/m/s) para vereda.

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	30	93,5	157
12	2770,48	200,94	3,67
15,5	1634,09	47,70	1,80
19	30,15	1,05	0,05

**Anexo 12.** Simulação de calor liberado por unidade de área (kJ/m<sup>2</sup>) para vereda.

Umidade do combustível morto (%)	Umidade do combustível vivo (%)		
	30	93,5	157
12	3445,72	1807,21	651,89
15,5	2777,66	1190,23	525,50
19	874,52	374,73	165,45