



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL  
CAMPUS DE PATOS – PB  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
FLORESTAIS**



**SÉRVIO TÚLIO PEREIRA JUSTINO**

**SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO EM MATERIAL COMBUSTÍVEL  
DE CAATINGA NO ESTADO DA PARAÍBA**

**PATOS – PB – BRASIL**

**2020**

**SÉRVIO TÚLIO PEREIRA JUSTINO**

**SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO EM MATERIAL COMBUSTÍVEL  
DE CAATINGA NO ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, na Área de Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, como parte das exigências para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

**ORIENTADORA:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Carneiro Souto

**PATOS – PB – BRASIL**

**2020**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO CSTR**

J96s Justino, Servio Túlio Pereira  
Simulação do comportamento do fogo em material combustível de Caatinga no estado da Paraíba / Servio Túlio Pereira Justino. – Patos, 2020.  
83f.: il. color.

Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural.

“Orientação: Profa. Dra. Patrícia Carneiro Souto”.

Referências.

1. Fisionomias da Caatinga.
2. Intensidade do fogo.
3. Combustibilidade da vegetação.
4. Semiárido I. Título.

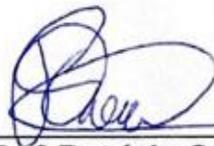
CDU 630\*9

SÉRVIO TÚLIO PEREIRA JUSTINO

**SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO EM MATERIAL COMBUSTÍVEL  
DE CAATINGA NO ESTADO DA PARAÍBA**

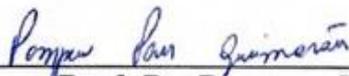
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais,  
da Universidade Federal de Campina Grande/CSTR, como parte das exigências  
para a obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIAS FLORESTAIS.

Aprovado em: 14 de fevereiro de 2020.



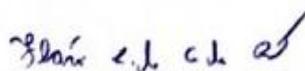
---

**Prof.ª Dr.ª Patrícia Carneiro Souto**  
Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR/UFCG)  
(Orientadora)



---

**Prof. Dr. Pompeu Paes Guimarães**  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (CCA/DCAF/UFERSA)  
(1º Examinador)



---

**Prof. Dr. Flávio Cipriano de Assis do Carmo**  
Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR/UFCG)  
(2º Examinador)

**Dedico** aos meus pais Antônio Justino e Ana Maria, aos meus irmãos Lucas, Kamila, Kalline e em especial à Karla (*in memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre ao meu lado, concedendo-me muita saúde e força para superar e vencer os obstáculos da vida. Dedico a Ele o meu amor!

Aos meus pais, Antônio Justino e Ana Maria, que sempre me incentivaram ao longo de minha jornada estudantil, pelos ensinamentos de vida e por me tornar uma pessoa digna e de caráter. Obrigado por tudo! Os senhores são meus guerreiros!

Aos meus irmãos, Lucas, Kalline, Kamila e Karla *in memoriam*, presente sempre no meu coração; tenho certeza de que está feliz por essa vitória. Ao meu sobrinho Leônidas Rafael, por proporcionar alegria, felicidade e amor.

Às minhas avós Eva e Adi *in memoriam*, infelizmente partiram para outro plano no final dessa jornada, mesmo assim só tenho a agradecer pelo carinho, incentivo nos momentos de tristeza e alegria.

Ao meu avô materno Antônio Ceará, por sempre está ao meu lado. Ao meu avô paterno Tito Justino *in memoriam*, pois sei que está sempre ao meu lado me protegendo.

Aos meus amigos, em especial, Anderlon, Emmanuel Marques, Edvânia, Kaio Cesar, Juliana, Mellina, Mônica Kaline e Yasmim. Serei eternamente grato por todas as palavras de incentivo, carinho e confiança.

Aos proprietários, Senhor Antônio de Itaporanga e Francisco das Chagas de Catolé do Rocha Obrigado pela permissão e disponibilidade para aceitar a coleta do material, na área preservada, para a referida pesquisa. A Daniel e Álvaro, pela ajuda na coleta na referida cidade, e ao Doutorando Arliston, pela amizade, disponibilidade.

Ao Motorista Ricardo, pela amizade e paciência durante as viagens da coleta do material para a pesquisa. Ao secretário Paulo Cesar, pela amizade construída durante esta caminhada. Aos técnicos de laboratório, Andreza e Otávio, pela ajuda.

À minha orientadora, professora Patrícia, pela oportunidade, confiança, paciência, amizade e ensinamentos transmitidos durante esta pesquisa. Obrigado por tudo durante essa jornada.

Aos professores, em especial, Eder Arriel, Francisco das Chagas (Chico), Flávio, Ivonete, João Batista, Jacob, Olaf, Patrícia e Naelza pelos ensinamentos transmitidos.

À turma de pós-graduação em Ciências Florestais, em especial, Angélica, Amanda, José Lenildo (Zé) e Roberta. Às minhas amigas, Amanda de Lira e Roberta

Patrícia. A ajuda de vocês foi fundamental para esta caminhada de aprendizado. Sentirei saudades de vocês.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Pompeu Paes Guimarães e Prof. Dr. Flávio Cipriano de Assis do Carmo. Agradeço por suas contribuições para a melhoria da pesquisa e por integrar a banca examinadora. Desejo-lhes votos de saúde e paz.

A todos que contribuíram de maneira direta e indiretamente para a realização desta pesquisa, meus agradecimentos, inclusive àqueles que não foram mencionados.

Que Jesus sempre nos abençoe e nos guie!

**Muito obrigado!!**

“Não procure ser o melhor, mais sim o mais simples.  
Porque até a maior árvore da floresta começa do chão”

**Autor desconhecido.**

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> – Localização das diferentes regiões geográficas imediatas do sertão da Paraíba, 2018.....   | 28 |
| <b>Figura 2</b> – Vista geral das áreas de caatinga preservada onde foram coletados os materiais combustíveis em diferentes regiões geográficas imediatas do sertão da Paraíba: (A) Sousa, (B) Santa Terezinha, (C) Princesa Isabel, (D) Cajazeiras, (E) Itaporanga, (F) Catolé do Rocha e (G) Condado. .... | 30 |
| <b>Figura 3</b> – Representação da distribuição das parcelas no campo para coleta do material combustível.....   | 31 |
| <b>Figura 4</b> – Gabarito utilizado para coleta do material combustível nas parcelas experimentais. ....  | 32 |
| <b>Figura 5</b> – Calibrador de diâmetro para determinação das classes diamétricas do material combustível.....  | 33 |
| <b>Figura 6</b> – Queima do material combustível moído (A), utilizando a mufla (B e C) para obtenção do teor de cinzas (D). Patos 2019. ....   | 36 |
| <b>Figura 7</b> – Mesa de combustão para realizar a queima do material combustível em laboratório. ....  | 37 |
| <b>Figura 8</b> – Medição da altura das chamas, do material combustível, utilizando régua graduada, 2018 .....   | 39 |
| <b>Figura 9</b> – Peso médio do material combustível (t ha), disponível, superficialmente, em diferentes áreas preservadas nas regiões geográficas no sertão paraibano, 2019. ....   | 42 |
| <b>Figura 10</b> – Umidade do material combustível em diferentes áreas preservadas nas regiões geográficas no sertão paraibano, 2019. ....   | 46 |

**Figura 11** – Altura das chamas do material do combustível coletado na região de Catolé do Rocha (A) e da região de Pombal (B). .....61

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1</b> — Classificação da velocidade de propagação.....   | 26 |
| <b>Tabela 2</b> — Material orgânico componente das classes de material combustível. ....   | 33 |
| <b>Tabela 3</b> — Índice de combustibilidade (IC) para vegetação de Caatinga.....  | 40 |
| <b>Tabela 4</b> — Carga do material combustível ( $\text{g m}^2$ ), categorizado por classes diamétrica, em diferentes áreas preservadas, 2019. ....   | 44 |
| <b>Tabela 5</b> — Matéria orgânica (%), teor cinzas (%) e poder calorífico superior (PCS) dos materiais combustíveis, coletados em diferentes regiões.....   | 48 |
| <b>Tabela 6</b> — Velocidade de propagação do fogo ( $\text{m s}^{-1}$ ), em média, para superfície plana e aclave com $25^\circ$ de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019. ....    | 51 |
| <b>Tabela 7</b> — Intensidade do fogo ( $\text{kcal m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ), em média, para superfície plana e aclave com $25^\circ$ de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019..... | 53 |
| <b>Tabela 8</b> — Tempo ignição (s), em média, para superfície plana e aclave com $25^\circ$ de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019. ....   | 56 |
| <b>Tabela 9</b> — Duração da queima (s), em média, para superfície plana e aclave com $25^\circ$ de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019. ....                                     | 58 |
| <b>Tabela 10</b> — Altura das chamas (m), em média, para superfície plana e aclave com $25^\circ$ de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019. ....                                    | 60 |

**Tabela 11** — Calor liberado por unidade de área ( $\text{kcal m}^{-2}$ ), em média, para superfície plana e aclive com  $25^\circ$  de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019. ....63

**Tabela 12** — Severidade para o material combustível das diferentes regiões do estado da Paraíba, 2019. ....65

**Tabela 13** — Teores de N, P, K, Ca e Mg em %, em média, resultantes da análise química realizada para o material combustível, antes e depois da queima. ....67

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>   | <b>17</b> |
| <b>2.1 Incêndios florestais e seus impactos .....</b>                     | <b>17</b> |
| <b>2.2 Material combustível .....</b>                                     | <b>19</b> |
| <b>2.3 Comportamento do fogo.....</b>                                     | <b>21</b> |
| <b>2.4 Poder calorífico da vegetação.....</b>                             | <b>22</b> |
| <b>2.5 Variáveis do comportamento do fogo .....</b>                       | <b>24</b> |
| <b>2.5.1 Intensidade do fogo .....</b>                                    | <b>24</b> |
| <b>2.5.2 Altura das chamas.....</b>                                       | <b>24</b> |
| <b>2.5.3 Velocidade de propagação do fogo.....</b>                        | <b>25</b> |
| <b>2.5.5 Tempo de duração de queima .....</b>                             | <b>26</b> |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>   | <b>28</b> |
| <b>3.1 Caracterização dos locais de coleta .....</b>                      | <b>28</b> |
| <b>3.2 Coleta e preparo do material combustível .....</b>                 | <b>30</b> |
| <b>3.2.1 Caracterização do material combustível .....</b>                 | <b>32</b> |
| <b>3.3 Determinação do conteúdo de água no material combustível .....</b> | <b>34</b> |
| <b>3.4 Análise do poder calorífico no material combustível.....</b>       | <b>34</b> |
| <b>3.5 Organização e queima do material combustível.....</b>              | <b>37</b> |
| <b>3.6 Avaliação do comportamento do fogo .....</b>                       | <b>38</b> |
| <b>3.7 Análise química do material combustível .....</b>                  | <b>40</b> |
| <b>3.8 Delineamento experimental e análise estatística .....</b>          | <b>41</b> |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                     | <b>42</b> |
| <b>4.1 Material combustível e teor de umidade .....</b>                   | <b>42</b> |
| <b>4.2 Poder calorífico .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>4.3 Comportamento do fogo.....</b>                                     | <b>50</b> |
| <b>4.3.1 Velocidade de propagação do fogo.....</b>                        | <b>50</b> |
| <b>4.3.2 Intensidade do fogo .....</b>                                    | <b>53</b> |
| <b>4.3.3 Tempo de Ignição .....</b>                                       | <b>55</b> |
| <b>4.3.4 Duração da queima .....</b>                                      | <b>57</b> |
| <b>4.3.5 Altura das chamas.....</b>                                       | <b>59</b> |
| <b>4.3.6 Calor liberado por unidade de área .....</b>                     | <b>63</b> |
| <b>4.4 Análise química .....</b>  | <b>66</b> |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b> | <b>71</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>72</b> |

JUSTINO, Sérgio Túlio Pereira. **Simulação do comportamento do fogo em material combustível de caatinga no estado da paraíba**, 2020. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos – PB. 2020. 83p.

## RESUMO

O incêndio florestal é um fenômeno de origem natural ou antrópica que ocorre frequentemente em quase todo o planeta. No bioma Caatinga, este fenômeno vem ocorrendo devido ao uso indiscriminado do fogo na limpeza de terreno e queima para rebrota de pastagens. Assim, o presente estudo objetivou avaliar o comportamento do fogo em queimas experimentais em ambiente fechado de material combustível, coletado em áreas de caatinga preservada em diferentes Regiões Geográficas Imediatas da Paraíba. A coleta do material combustível foi realizada em diferentes Regiões Geográficas Imediatas do Sertão da Paraíba, sendo elas: Patos, Pombal, Catolé do Rocha, São Bento, Sousa, Itaporanga, Cajazeiras e Princesa Isabel. Em cada área, foram coletadas sete amostras com auxílio de um gabarito (1,0 m x 1,0 m) que foi lançado de forma aleatória, e todo o material combustível foi retirado e acondicionado em sacos plásticos. Após a coleta nas áreas, o material combustível foi encaminhado para o laboratório, sendo pesado em balança, quantificando o material disponível em 1 m<sup>2</sup> e, posteriormente, estimado a t ha<sup>-1</sup>, além de determinar o teor de umidade em cada amostra. Para avaliação do comportamento do fogo, foram realizadas 21 queimas com a mesa de combustão a 0° (plano) e 21 queimas com a mesa de combustão a 25°, cujo delineamento foi em arranjo fatorial 7 x 2 (regiões de coleta x tipos de inclinação), com três repetições, totalizando 42 queimas. Na avaliação do comportamento do fogo, durante a queima, foram mensuradas variáveis, velocidade de propagação, intensidade do fogo, duração da queima, altura das chamas e calor liberado por unidade de área. Para determinação do poder calorífico, teor de cinzas, matéria orgânica e análise química (N, P, K, Mg e Ca), foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, totalizando 21 repetições. Em relação ao peso médio do material combustível, constatou-se diferença, sendo as áreas preservadas da região de Pombal (23 t ha<sup>-1</sup>), Itaporanga (22,3 t ha<sup>-1</sup>) e Catolé do Rocha (20,42 t ha<sup>-1</sup>) as que apresentaram maior quantidade de material combustível sobre o piso florestal. O teor de umidade dos materiais combustíveis das áreas avaliadas não se diferiu, variando de 6,94 a 4,43%. Em relação à velocidade de propagação, intensidade do fogo e calor liberado por unidade de área, verificou-se que não houve interação entre o grau de inclinação e as regiões geográficas, somente as regiões geográficas exerceram influência sobre estas variáveis. Para a matéria orgânica, teor de cinzas e poder calorífico, não houve diferença significativa entre os materiais combustíveis das regiões avaliadas. As variações entre as concentrações de cada nutriente, determinadas antes e depois da queima, foram pouco evidentes para os teores de N e Mg e acentuadas para os de P, K e Ca. As áreas de caatinga preservada, nas diferentes regiões, responderam, de maneira diferenciada, ao comportamento do fogo devido aos diferentes tipos e quantidade de material combustível disponível. É essencial o desenvolvimento de novos estudos que busquem entender o comportamento do fogo para melhor traçar medidas de prevenção e combate aos incêndios florestais em áreas de caatinga.

**Palavras-chave:** Fisionomias da caatinga, Intensidade do fogo, Combustibilidade da vegetação.

JUSTINO, Sérgio Túlio Pereira. **Simulation of fire behavior in caatinga combustible material in the state of Paraíba**, 2020. Masters Dissertation in Forest Sciences. CSTR / UFCG, Patos - PB. 2020. 83pgs.

### ABSTRACT

Forest fire is a phenomenon of natural or anthropic origin that occurs frequently in almost the entire planet. In the Caatinga biome, this phenomenon has been occurring due to the indiscriminate use of fire to clean the land and burn for pasture regrowth. Thus, the present study aimed to evaluate the behavior of fire in experimental burns in a closed environment of combustible material collected in areas of preserved caatinga in different Immediate Geographic Regions of Paraíba. The collection of fuel material was carried out in different Immediate Geographic Regions of the Sertão da Paraíba, namely: Patos, Pombal, Catolé do Rocha - São Bento, Sousa, Itaporanga, Cajazeiras and Princesa Isabel. In each area, seven samples were collected with the aid of a template (1.0 m x 1.0 m) that was randomly launched, where all the combustible material was removed and placed in plastic bags. After collection in the areas, the combustible material was sent to the laboratory, weighed on a scale, quantifying the available material in 1m<sup>2</sup> and, subsequently, estimated at t ha<sup>-1</sup>, in addition to determining the moisture content in each sample. To evaluate the fire behavior, 21 fires were performed with the combustion table at 0° (flat) and 21 fires with the combustion table at 25°, whose design was in a 7x2 factorial arrangement (collection regions x types of inclination), with three repetitions, totaling 42 burns. In the evaluation of the fire behavior, during the burning the variables, speed of propagation, fire intensity, duration of the burning, height of the flames, and heat released per unit area were measured. To determine the calorific value, ash content, organic matter and chemical analysis (N, P, K, Mg and Ca), a completely randomized design was used, with three repetitions, totaling 21 repetitions. Regarding the average weight of the fuel material, a difference was found, with the preserved areas of the Pombal (23 t ha<sup>-1</sup>), Itaporanga (22.3 t ha<sup>-1</sup>) and Catolé do Rocha (20.42 t ha<sup>-1</sup>) as those with the highest amount of combustible material on the forest floor. The moisture content of combustible materials in the evaluated areas did not differ, varying from 6.94 to 4.43%. Regarding the speed of propagation, fire intensity and heat released per unit area, it was found that there was no interaction between the degree of slope and the geographical regions, only the geographical regions exerted an influence on these variables. For organic matter, ash content and calorific value, there was no significant difference between the combustible materials of the evaluated regions. The variations between the concentrations of each nutrient, determined before and after burning, were not very evident for the levels of N and Mg and marked for those of P, K and Ca. The areas of preserved caatinga in the different regions, responded in a different way the behavior of the fire, due to the different types and amount of available combustible material. It is essential to develop new studies that seek to understand the behavior of fire to better outline measures to prevent and combat forest fires in caatinga areas.

**Keywords:** Caatinga physiognomies, fire intensity, vegetation combustibility.

## 1 INTRODUÇÃO

O bioma Caatinga, distribuído em quase todos os estados do Nordeste, é considerado exclusivamente brasileiro e com grande diversidade florística. No entanto, com passar dos anos, esse bioma vem sofrendo uma intensa ocupação antrópica com substituição de áreas preservadas por pastagem, uso indiscriminado do fogo na limpeza de terreno e queima para rebrota de pastagens. O uso do fogo, nessas atividades, na maioria das vezes, foge ao controle, provoca incêndios de grandes proporções e gera severos danos à vegetação caatinga.

Diante dessa realidade, torna-se urgente o conhecimento do comportamento do fogo na conservação desse bioma, principalmente nas áreas de Caatinga preservada. Segundo Batista (1990), o comportamento do fogo é a maneira como o material combustível entra em ignição, isto é, a chama cresce e o fogo se propaga a partir das interações entre o combustível, topografia e variáveis meteorológicas, como fatores condicionantes.

Os tipos, quantidade de material combustível e os fatores climáticos são os que mais influenciam no comportamento do fogo (RIBEIRO; BONFIM, 2000). Os materiais combustíveis podem ser classificados de duas formas: aéreos e superficiais. Na caatinga, há uma maior presença de combustíveis superficiais devido à vegetação caducifólia, que se transforma em material combustível no piso florestal, tornando-se propício a ocorrências de incêndios florestais ao longo da época de estiagem.

Neste sentido, é importante ter o conhecimento do comportamento do fogo em diferentes regiões, pois mostra as características das relações que as variáveis exercem sobre seu comportamento. A velocidade de propagação, intensidade do fogo, comprimento das chamas e energia liberada são as variáveis utilizadas para descrição do comportamento do fogo.

Segundo White et al. (2013), conhecer as variáveis do comportamento do fogo é determinante para compreender os fatores que dificultam a extinção dos incêndios, bem como as medidas que devem ser empregadas para combate aos incêndios florestais. Para isso, é fundamental a realização de pesquisa em distintas regiões e com diferentes tipos de materiais combustíveis, pois o comportamento do fogo é imprevisível e modifica conforme o tipo de material combustível, condições climáticas e topográficas de uma área.

O conhecimento das variáveis do comportamento do fogo pode ser estimado a partir de queimas controladas em condições de laboratório e de campo. No entanto, esses tipos de trabalhos são realizados, na maioria das vezes, no combate a incêndios em florestas plantadas, deixando de estudar os biomas que também são susceptíveis à ocorrência de incêndios.

Dessa forma, surgem os seguintes questionamentos acerca do comportamento do fogo: materiais combustíveis em áreas de Caatinga localizadas em diferentes regiões da Paraíba apresentam comportamento similar ao serem queimados? As características do material combustível – geometria das partículas, o conteúdo de umidade e a composição química – interferem no processo de ignição?

O conhecimento do comportamento do fogo em distintos tipos de materiais combustíveis é de suma importância, pois fornece informações que influenciam no manejo, planejamento e execução de operações utilizadas no combate a incêndios florestais. Por esse motivo, torna-se importante conhecer as características que interferem no início, na propagação e nas dificuldades enfrentadas na extinção das chamas do fogo.

O desenvolvimento de estudos sobre o comportamento do fogo também pode proporcionar a proteção das áreas de restauração, experimentos científicos, reservas legais e áreas de proteção permanente, favorecendo, com isso, um equilíbrio dessas áreas. No meio social, a diminuição de incêndios florestais reduz problemas de saúde pública, pois minimiza a poluição atmosférica causada pelos incêndios e reduz também a perda de material humano.

No Brasil, estudos relacionados ao comportamento do fogo ainda são escassos, principalmente na região nordeste (BAKKE, 2014; SILVA NETO, 2017; VASCONCELOS, 2019). No entanto, estudos futuros podem estabelecer resultados importantes no combate a incêndios florestais e garantir a proteção de áreas vulneráveis, evitando a extinção de espécie da fauna e flora, contribuindo para o manejo sustentável dos recursos naturais.

Nesse contexto, o presente estudo objetivou avaliar o comportamento do fogo em queimas experimentais em ambiente fechado de material combustível, coletado em áreas de Caatinga preservada em diferentes regiões geográficas imediatas do Sertão da Paraíba.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Incêndios florestais e seus impactos

O Incêndio florestal é definido quando o fogo está descontrolado, consumindo toda ou parte de uma grande quantidade de material combustível, podendo ser causado pelo homem ou de forma natural (ICMBio, 2010).

A ocorrência de incêndios florestais constitui uma preocupação mundial, pois, a cada ano, vêm aumentando as áreas com vegetação nativa, que são consumidas pelo fogo e também prejuízos econômicos, como perda de casas e bens. Diante do aumento do número de incêndios florestais, medidas de prevenção e de combate vêm sendo criadas e constituindo-se num componente fundamental para a proteção das florestas contra esta ameaça (REYS, 2017).

Os incêndios causados por fatores naturais podem ser originários de raios, relâmpagos e aquecimento do material combustível em períodos secos. Os acidentais podem ser oriundos de faíscas de linhas de transmissão de energia. E os antrópicos, causados por atividades negligentes, como limpeza de terrenos baldios, queima de lixo, pontas de cigarros atiradas nas estradas, lançamentos de foguetes e balões (PEREIRA et al., 2011).

A destruição da vegetação é visualmente a consequência mais expressiva causada pelos incêndios florestais. Dependendo da intensidade, tempo de queima, a quantidade e a espessura do material combustível, é possível destruir totalmente a vegetação ou deixar as árvores com injúrias, tornando-as susceptíveis ao ataque de pragas e doenças. Além disso, causa grandes impactos sobre o solo, redução da matéria orgânica, aquecimento, erosão e efeitos nas características físicas e químicas do solo (SOARES; BATISTA, 2007).

O fogo também pode reduzir a capacidade de absorção da água de chuva pelo solo, modificar o fluxo de ciclagem de nutrientes, ocasionando a perda por volatilização e aumentar o escoamento superficial nas bacias hidrográficas, provocando a erosão e também a morte da microbiota do solo e invertebrados (PRUDENTE; ROSA, 2010).

Os efeitos dos incêndios florestais sobre a fauna podem causar danos diretos e indiretos. Os danos diretos mais provocados são a destruição do habitat de aves, mamíferos, répteis e, em muitos casos, levando à morte de animais, principalmente

aqueles com dificuldade de locomoção. Nas margens de rios e lagos, as altas temperaturas podem causar a mortalidade da biota aquática e as cinzas provenientes do material combustível queimado podem ser levadas pelas enxurradas, causando a poluição de cursos da água e, conseqüentemente, refletindo na diminuição de alimentos para a biota aquática (WADE; LUNDSFORD, 1990).

Em parques e áreas de recreação, o efeito do fogo interfere de forma negativa sobre a paisagem, prejudicando a beleza cênica e o aspecto visual durante várias décadas até a recuperação total da área. No meio rural, os incêndios florestais podem acarretar prejuízos econômicos, como a destruição de benfeitorias, cercas, mortes de animais domésticos, perdas de campos agricultáveis e, em alguns casos, até ferimentos e mortes de pessoas. No entanto, os danos indiretos atingem, na maioria das vezes, prejuízos monetários superiores às perdas diretas (SOARES; BATISTA, 2007).

Quando ocorre um incêndio florestal, vários elementos são lançados na atmosfera, como o dióxido de carbono, hidrocarbonos, monóxido de carbono, que favorecem o aumento de gases do efeito estufa e aquecimento global. Dessa forma, a combustão incompleta gera poluição do ar, dificulta a visibilidade, provoca acidentes nas estradas e, em cidades, pode causar transtornos na mobilidade dos pedestres e no trânsito (SCHUMACHER; HOPPE, 2000).

Além disso, os incêndios produzem poeiras e fuligens que geram problemas de saúde pública e favorecem o aumento de doenças respiratórias, irritações na pele e nos olhos das pessoas, principalmente nas crianças e idosos que são os mais susceptíveis à poluição do ar (CASTRO; GONÇALVES; HACON, 2009).

Segundo Araújo Filho e Barbosa (2000), o uso do fogo na limpeza de terreno provoca grandes perdas da diversidade biológica da Caatinga, como o desaparecimento de algumas espécies da fauna e da flora, intensificação do processo erosivo e assoreamento de mananciais. A ocorrência de incêndios florestais na Caatinga ocorre, em maior frequência, na época de estiagem devido às elevadas temperaturas e baixas precipitações ao longo do ano. Com isso, o material combustível tornar-se mais seco, aumentando as incidências de incêndios (WHITE; WHITE 2016).

Dessa forma, os incêndios representam uma grande preocupação como agente impactante por sua influência negativa, pois provoca distúrbios que influenciam de forma marcante na sucessão de determinadas comunidades, tornando a

composição da vegetação mais simples, devido à redução de estoque de sementes no solo (LOUZADA; MACHADO; BERG, 2003).

## **2.2 Material combustível**

Material combustível é todo tipo de matéria orgânica, vivo ou morto que está localizado no solo ou acima deste, passivo de ignição e queima. O material combustível é um dos componentes do triângulo do fogo (Figura 1) de suma importância para que o incêndio se propague, pois não há possibilidade de ocorrência de fogo sem a presença dele mesmo (BATISTA, 1990; SOARES, 1985).

Os materiais combustíveis podem ser classificados em superficiais e aéreos. Os combustíveis superficiais são todos aqueles materiais vivos ou mortos que estão disponíveis sobre, acima ou no piso florestal, até 1,80 m de altura. São constituídos por galhos, folhas, troncos caídos, ervas, arbustos, gramíneas, húmus e turfas. Os combustíveis aéreos são aqueles localizados acima de 1,80 m de altura, pode ser vivo ou morto, compreendem principalmente as copas, galhos das árvores, troncos e demais materiais neste intervalo (SOARES; BATISTA, 2007).

Segundo Soares e Batista (2007), o tipo e a quantidade de material combustível determinam a intensidade do fogo e influencia a propagação de incêndios florestais. Outro aspecto de extrema importância é a caracterização de fatores relevantes do comportamento do fogo para reconhecer e descrever características físicas e químicas do material.

Os materiais combustíveis são divididos em perigosos, semi-perigosos e verdes. Os materiais combustíveis perigosos são todos os materiais secos com diâmetro igual ou inferior a 1,0 cm, compostos por pequenos galhos, folhas, gramíneas, líquens e musgos. Geralmente esses materiais perdem a umidade de forma rápida, apresentam uma menor temperatura de ignição, facilitando o início do fogo e aceleram a propagação, queimando rapidamente com a produção de calor e chamas intensas, sendo, na maioria das vezes, totalmente consumido pelo fogo (SOARES, 1985).

Os materiais combustíveis semi-perigosos são os materiais lenhosos secos com diâmetro superior a 1,0 cm, constituídos por troncos caídos, húmus e turfa. São formados por materiais com um diâmetro maior em decomposição ou compactados que apresentam ignição e uma queima lenta, porém desenvolve intenso calor e podem

se manter em combustão latente. Os materiais combustíveis verdes são formados por toda vegetação viva da floresta, apresentam um alto teor de umidade, impedindo, assim, a sua ignição e queima e podem ser considerados como não-inflamáveis (SOARES, 1985).

A quantidade de material combustível, a umidade, dimensão e compactação são responsáveis pelos aspectos do comportamento do fogo, tais como velocidade de propagação, altura de crestamento, intensidade, altura das chamas, formação de incêndio de copa e lançamento de fagulhas. Quantificar o material combustível é um fator importante em planos de prevenção e controle de incêndios florestais (ANDREU et al., 2011).

A quantificação do material combustível é realizada por métodos diretos, utilizando metodologias que empregam o corte de amostra a ser avaliada e os métodos indiretos conhecidos por métodos não destrutivos e emprega variáveis a partir de medidas de mensuração dos combustíveis. Para aplicar os métodos de estimativa de material combustível em determinada área, é necessário o conhecimento de informações sobre densidade da vegetação, hábito de crescimento e uniformidade (MACHADO NETO, 2013).

A estimativa da quantidade de material combustível no interior do estrato florestal gera informações a respeito de como pode ser combatido o incêndio. O tipo de incêndio que poderá eventualmente ocorrer na área e as suas características essenciais podem causar influência direta no comportamento do fogo, como a intensidade e tempo de queima. Além disso, o teor de umidade do material combustível é um componente chave nos incêndios florestais, tendo efeito direto, propagação e inflamabilidade dos combustíveis florestais (NUNES; SOARES; BATISTA, 2007).

Para Skarpe (1992), o acúmulo de material combustível na época seca pode favorecer a ocorrência de incêndios, uma vez que o teor de umidade do material combustível encontra-se baixo, pode influenciar o surgimento de queimadas e, conseqüentemente, causar os incêndios florestais, aumentando, assim, o grau de dificuldade em combate aos incêndios.

Na região semiárida do nordeste brasileiro, a maioria das espécies arbóreas apresentam o mecanismo de sobrevivência. Durante a estação seca, perde as folhas e o material combustível se acumula no piso florestal. Esse aspecto, associado à irregularidade na distribuição espacial e temporal das precipitações pluviométricas,

eleva a temperatura, pois ocorre o baixo teor de umidade no material combustível, o que contribui para o aumento de ocorrência de incêndios florestais no bioma Caatinga (ASSIS et al., 2014).

### **2.3 Comportamento do fogo**

Comportamento do fogo é a maneira como o material combustível entra em ignição, isto é, a chama cresce e o fogo se propaga a partir das interações entre o combustível, topografia e variáveis meteorológicas como fatores condicionantes. Nesse sentido, o comportamento do fogo é usado para descrever as características de como o material combustível entra em ignição, como se comporta no desenvolvimento das chamas e como se propaga até o final da combustão (BATISTA, 1990).

Segundo Ribeiro et al. (2008), o comportamento do fogo é influenciado pelas condições meteorológicas e as características do material combustível. A partir dessas informações, podem-se identificar as épocas com maiores possibilidades de ocorrências de incêndios florestais e adotar medidas para prevenir e reduzir os danos que podem ocorrer durante um incêndio.

De acordo com Santos (2004), a temperatura atua diretamente sobre a umidade do material combustível. As temperaturas elevadas influenciam na secagem do combustível, o que eleva a temperatura de ignição e facilita a propagação de incêndios. Para Lemos, Justino e Rossoni (2012), a baixa umidade relativa do ar também é responsável pela secagem do combustível, o que faz com que o material perca água para a atmosfera quando seco. Entretanto, na vegetação verde, as plantas estão constantemente absorvendo água, o que dificulta propagação de incêndios florestais.

A perda de umidade do material combustível morto para a atmosfera, em dia com baixa umidade, depende principalmente do tamanho do material e do seu diâmetro (SOARES; BATISTA, 2007). O vento é uma das variáveis meteorológicas que influencia o comportamento do fogo de forma ocasional e está relacionado com a direção do fogo e a velocidade. Assim, quanto mais intenso for o vento, mais rápida a propagação do incêndio, transformando-se em incêndios de grandes dimensões, o que torna complicado o controle (NUNES, 2005).

Além disso, o grau de inclinação influencia diretamente no comportamento do fogo. Incêndios florestais queimam mais rapidamente, morro acima do que morro abaixo devido à maior velocidade de propagação do fogo, pela fácil transferência do calor através do efeito da convecção e radiação sobre o material combustível que ainda não foi queimado (LEMOS et al., 2010).

Struminski (2005) explica que o material combustível presente na encosta acima é previamente seco pela presença do calor convectivo e do oxigênio que se renova constantemente pela corrente de ar fresco absorvido pelo ar quente que sobe, proporcionando uma combustão mais rápida na montanha acima. Em algumas variáveis do comportamento, o fogo aumenta conforme o grau de inclinação.

Ferrer (2004) também afirma que o aumento da inclinação é um dos fatores que mais influenciam no comportamento do fogo, pois afeta diretamente a reação de combustão e os mecanismos de transferência de calor. Além disso, a autora menciona que, em locais com acive, torna-se mais difícil o combate de incêndios florestais devido ao surgimento de focos secundários, os quais trazem riscos para as equipes de combate, pois as chamas podem cercá-las.

O estudo do comportamento do fogo é um importante fundamento para entender os fatores que influenciam nas etapas da combustão, desde do início até a extinção do incêndio. No entanto, os fundamentos são as variáveis básicas que referenciam o comportamento do fogo: intensidade do fogo, altura das chamas, calor liberado por unidade de área, velocidade de propagação e altura de crestamento (LENTILE et al., 2006).

## **2.4 Poder calorífico da vegetação**

O poder calorífico é a quantidade de energia que é liberada quando qualquer material combustível entra em combustão. O calor liberado durante a combustão varia de acordo com as espécies florestais ou de resíduos de madeira, pelo fato de as propriedades químicas, físicas e anatômicas serem diferentes. O conhecimento do poder calorífico em diferentes espécies florestais é de suma importância, pois indica a intensidade de um incêndio florestal e também subsídios para prevenção e combate de incêndios (ALMEIDA; BRITO; PERRE, 2010).

O poder calorífico divide-se em superior, inferior e líquido. O poder calorífico superior é classificado quando o material entra em combustão completa e toda água

presente é condessada. A quantidade de calor liberada é expressa em quilocaloria/quilograma (kcal/kg) e por calorías por grama (cal/g) e, quanto maior for a quantidade de calorías liberadas, maior será a energia que contém no combustível (QUIRINO et al., 2004).

O poder calorífico inferior é quando a quantidade de calor é capaz de produzir um quilo de combustível por meio do excesso de ar e gases de descargas através da combustão. Já o poder calorífico líquido está relacionado à quantidade de calor liberado pela queima, de maneira que a água originária da queima sempre esteja em estado gasoso (CARVALHO JÚNIOR, 2010).

Segundo Soares e Batista (2007), o poder calorífico ou calor de combustão é essencial para manter a reação da combustão. O poder calorífico é variável entre espécies florestais. As coníferas possuem maior poder calorífico com média superior de 5.200 cal/g, devido à presença de um maior conteúdo de resina e lignina. Nas folhosas, o poder calorífico médio é de 4.500 cal/g. Além disso, a composição química de uma árvore varia ao longo do tronco, e esta mesma árvore apresenta variação de poder calorífico em função da idade e da estação de crescimento.

De acordo com Trugrilho (2005), o poder calorífico é afetado diretamente pelo teor de umidade, ou seja, uma maior umidade no material combustível proporciona um menor poder calorífico, porque não produz todo o calor armazenado em razão da combustão incompleta. A densidade básica também possui relação direta com a produção de matéria seca do vegetal; no entanto, os estudos são escassos para determinar se a densidade básica influencia no poder calorífico de determinada espécie.

Na Caatinga as espécies *Myracrodruon urundeuva* Allemão, *Anadenanthera colubrina*, Vell. Brenan, *Aspidosperma pyriformum* Mart, *Mimosa tenuiflora* Will, *Caesalpinia ferrea* Mart. ex (Tul), *Tabebuia aurea* Silva Manso apresentam uso tradicional para obtenção de lenha e carvão, devido essas espécies apresentarem um maior teor de lignina e extrativos e menor teor de celulose e cinzas, influenciando, assim, um maior poder calorífico (ARAÚJO; PAULO; PAES, 2007; PAES et., 2013; MEDEIROS NETO; OLIVEIRA; PAES, 2014).

Estudos que visam à determinação do poder calorífico são bastantes relevantes no sentido de diminuir a intensidade dos incêndios florestais. Além disso, é importante conhecer as espécies que proporcionam um maior poder calorífico para

assim determinar medidas de combate aos incêndios florestais (QUIRINO et al., 2005).

## **2.5 Variáveis do comportamento do fogo**

### **2.5.1 Intensidade do fogo**

Segundo Batista, Beutling e Pereira (2013), a intensidade do fogo é a mais complexa variável do comportamento do fogo, pois é responsável por descrever as principais características da magnitude da combustão em termos de energia liberada. O parâmetro, além de comparar queimadas e incêndios florestais, também avalia os danos que o incêndio causa no ambiente e determina o grau de dificuldade no combate aos incêndios florestais.

A intensidade do fogo está relacionada diretamente com a quantidade e o tipo de material combustível disponível. Em um incêndio florestal, a intensidade pode variar de 4,0 a 25.000 kcal.m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>. Os danos físicos causados nas árvores variam de acordo com a tolerância de calor de cada espécie e, em alguns casos, quando não ocorre a mortalidade ocasionada pela intensidade do fogo, a árvore fica susceptível a doenças e ataques de fungos e parasitas (CAMARGOS et al., 2015)

De acordo com Byram (1959), a intensidade do fogo é definida como a taxa de energia ou calor liberado por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente de fogo. A estimativa da intensidade do fogo pode ser realizada através do comprimento das chamas.

### **2.5.2 Altura das chamas**

Batista, Beutling e Pereira (2013) descrevem que o comprimento de chamas está relacionado com a intensidade do fogo, fato comprovado e ressaltado por vários pesquisadores, sendo um parâmetro confiável para ter uma boa estimativa da intensidade do fogo. Além disso, o comprimento das chamas não só determina a probabilidade de ocorrência de incêndio do tipo superficial ou de copa, como também ajuda no combate ou controle.

O comprimento da chama pode ser determinado entre a distância da ponta da chama e a superfície do solo. O comprimento da chama é influenciado pelo arranjo do

material combustível, declividade do terreno, vento, umidade do combustível e condições climáticas. A estimativa do comprimento da chama, na maioria das vezes, é obtida durante a ocorrência do incêndio ou através de fotografias quando há alguma referência do local (NUNES, SOARES, BATISTA, 2008).

Por ser um fenômeno rápido e ocasional, o comprimento das chamas torna-se um grande problema, já que é preciso definir com precisão seu valor (SOARES; BATISTA, 2007). Quando a inclinação das chamas é igual ou superior a  $45^\circ$ , a altura é praticamente igual ao comprimento, no entanto quando a inclinação da chama for menor do que  $45^\circ$ , posteriormente a altura será menor do que o comprimento.

Segundo Sullivan et al. (2003) e Wotton et al. (2012), as características do comprimento das chamas, como altura, largura e forma da chama, são diferentes para todos os incêndios florestais, pois dependem do tipo de material combustível presente em determinada área. A quantidade de calor liberado nos seus arredores é determinada pelo tamanho das chamas e temperatura. No entanto, há possibilidade de aquecimento do material combustível e aumento da velocidade de propagação em pontos distantes, iniciando outros focos de incêndios.

### **2.5.3 Velocidade de propagação do fogo**

Outra variável relacionada ao comportamento do fogo é a velocidade de propagação. Também conhecida como taxa de propagação do fogo, indica o progresso do fogo em um determinado local, o qual é influenciado pelas características do material combustível. Tal progresso pode ser medido por quilômetros por hora, metros por minuto e metros por segundo. Este tipo de medida depende do tamanho da área consumida pelo fogo (BATISTA, 1990).

Segundo Soares e Batista (2009), a velocidade de propagação ou taxa de propagação é um termo utilizado para descrever a velocidade em que o fogo se desenvolve e avança tanto em área quanto linearmente. É um dos parâmetros mais fáceis de se medir e pode ser obtido diretamente com uso de um cronômetro a partir de uma distância pré-estabelecida. Além de ser muito importante para determinar a velocidade do fogo que avança em uma área, também é fundamental no combate e prevenção de incêndios florestais.

De acordo com Botelho e Ventura (1990), a velocidade de propagação pode ser classificada como lenta, média, alta e extrema (Tabela 1).

**Tabela 1**– Classificação da velocidade de propagação

| Velocidade de propagação (m.s <sup>-1</sup> ) | Classificação |
|---|---------------|
| < 0,033                                       | Lenta         |
| 0,033 - 0,166                                 | Média         |
| 0,166 – 1,166                                 | Alta          |
| > 1,166                                       | Extrema       |

Fonte: Botelho e Ventura (1990).

#### 2.5.4 Calor liberado por unidade de área

A combinação entre a velocidade do fogo e a intensidade do fogo determina o calor liberado por unidade de área. A velocidade de propagação aumenta conforme a velocidade do vento e a inclinação do terreno. Quanto mais acelerada for a velocidade de propagação, proporcionará uma menor quantidade de calor liberado por área e quando ocorrer um maior tempo de permanência do fogo em um determinado local, maior será a quantidade de calor liberado por área (BATISTA, 1990; SOARES, 1985).

O calor liberado por unidade de área pode ser usado para medir os danos do fogo em determinado local. Em incêndios florestais, o calor liberado é maior quando o diâmetro do material combustível é superior a 1,0 cm, pois o tempo de queima torna-se lento e, como consequência, ocorre uma maior mortalidade de árvores (FREIRE; CARRÃO; CAETANO, 2004).

#### 2.5.5 Tempo de duração de queima

O tempo de queima ou intervalo de tempo que a frente do fogo leva para passar por determinado ponto é outra variável diferente do comportamento do fogo, que depende da quantidade de material combustível disponível da velocidade da propagação do fogo e da intensidade do fogo (McARTHUR 1967).

O tempo de queima do material combustível pode ser medido com um cronômetro, observando-se o tempo gasto pela frente de fogo para passar por um determinado ponto ou através do uso de termopares colocados na superfície do solo,

indicando o intervalo entre o aumento significativo da temperatura e o seu declínio aos níveis anteriores (SOARES, BATISTA 2007).

O estudo do tempo de residência do fogo é um importante componente do comportamento do fogo, pois se deve ao fato de que os danos causados à vegetação dependem de dois fatores: a temperatura do fogo e o tempo de exposição da vegetação a essa temperatura (SOARES, 1985).

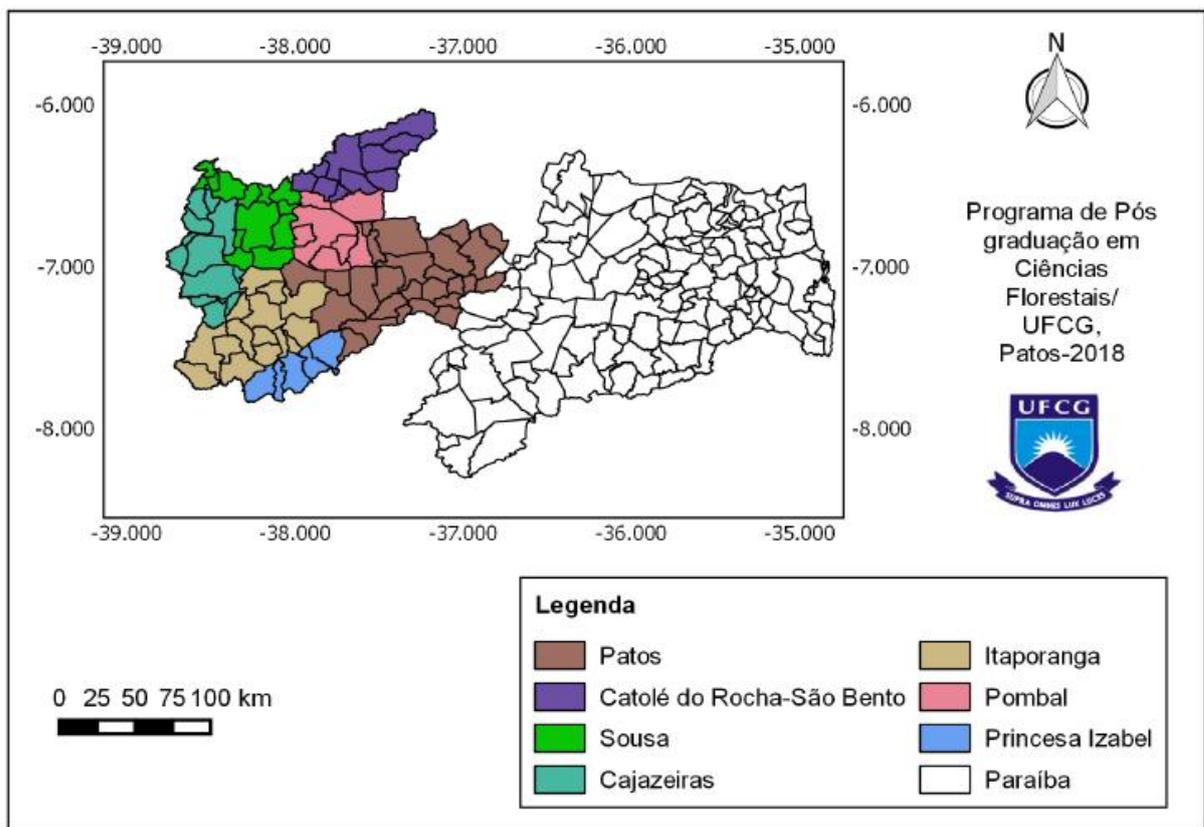
Dessa forma, conhecer as variáveis do comportamento do fogo é determinante para compreender os fatores que dificultam a extinção dos incêndios e também as medidas que devem ser empregadas para o combate aos incêndios florestais. Para isso, é fundamental a realização de pesquisa em distintas regiões e com diferentes tipos de materiais combustíveis, pois o comportamento do fogo é imprevisível e modifica conforme o tipo de material combustível, as condições climáticas e topográficas de uma área (WHITE et al., 2013).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização dos locais de coleta

A coleta do material combustível foi realizada em diferentes regiões geográficas imediatas do sertão da Paraíba, sendo elas: Patos, Pombal, Catolé do Rocha, São Bento, Sousa, Itaporanga, Cajazeiras e Princesa Isabel (Figura 3).

**Figura 1** – Localização das diferentes regiões geográficas imediatas do sertão da Paraíba, 2018.



Fonte: Justino (2020).

O clima, nessas regiões, segundo a classificação de Köppen (ÁLVARES et al., 2014), é do tipo BSh, clima quente e seco, com duas estações bem definidas. A estação chuvosa se estende de janeiro a maio, e a seca, de junho a dezembro, com uma precipitação média anual de 600 mm. Os solos predominantes nas regiões são

o Neossolos, Luvisolos e também são encontradas manchas de Vertissolos na região geográfica imediata de Sousa (EMBRAPA, 2018).

No quadro a seguir, estão descritas as características gerais das regiões geográficas imediatas do sertão paraibano.

**Quadro 1** – Características gerais das regiões geográficas imediatas do sertão paraibano. Patos 2018.

| Região imediata           | Número de municípios | Área total (km <sup>2</sup> ) | População estimada (habitantes) | Densidade (hab/km <sup>2</sup> ) |
|---------------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Patos                     | 25                   | 7.171,989                     | 268.134                         | 37,39                            |
| Pombal                    | 7                    | 2.577,488                     | 67.350                          | 26,13                            |
| Catolé do Rocha-São Bento | 10                   | 2.860,101                     | 108.704                         | 41,5                             |
| Sousa                     | 13                   | 2.492,72                      | 136.299                         | 54,68                            |
| Cajazeiras                | 12                   | 2.969,85                      | 155.339                         | 52,31                            |
| Princesa Isabel           | 5                    | 1.519,177                     | 62.980                          | 41,46                            |
| Itaporanga                | 15                   | 4.510,235                     | 123.758                         | 27,44                            |

Fonte: IBGE (2018).

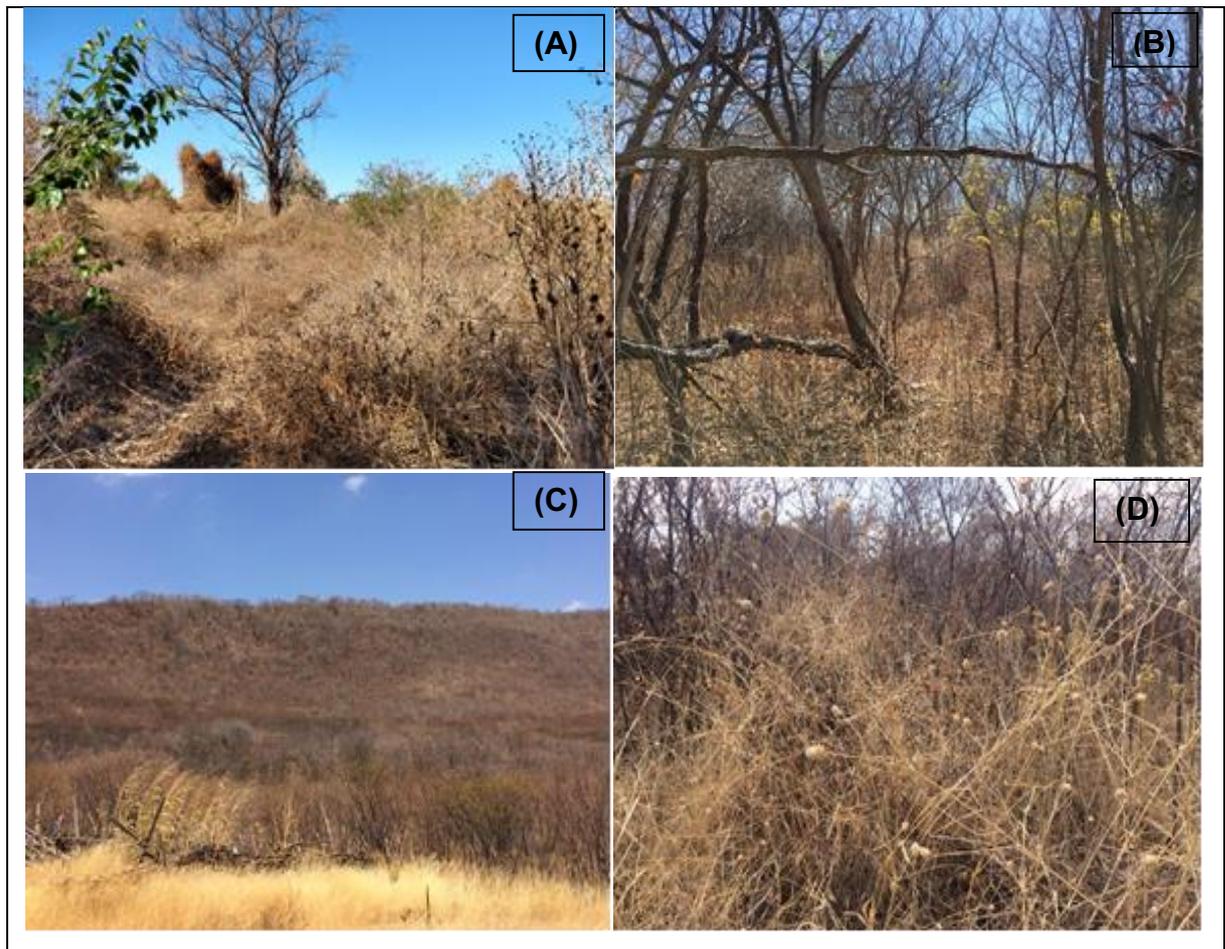
Nas regiões geográficas imediatas do sertão paraibano, a vegetação predominante é a Caatinga, com espécies de porte médio e, na época chuvosa, presença do extrato herbáceo. Há uma pequena restrição no Pico do Jabre, localizado no município de Maturéia –PB, pertencente à região imediata de Patos, o qual possui indícios de espécies de Mata Atlântica e apresenta vegetação semcaducifólia, subxerofítica, conhecida como mata serrana com temperaturas mais baixa na época chuvosa.

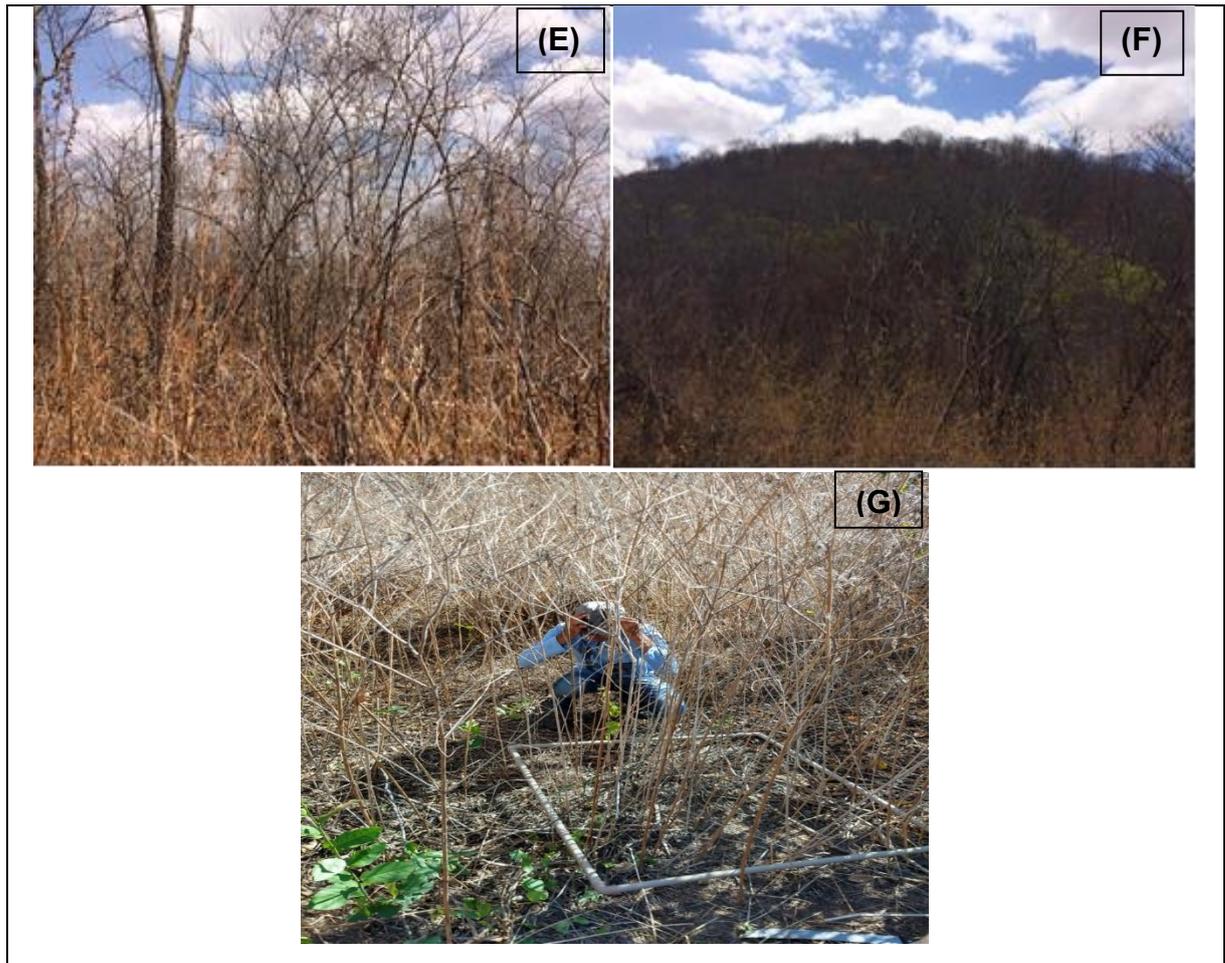
As regiões imediatas há muito tempo vêm sofrendo com aumento de devastação antrópica, devido à atividade de criação de bovinos, à limpeza de terrenos para a atividade agrícola e à exploração madeireira para os diversos fins.

### 3.2 Coleta e preparo do material combustível

As coletas do material combustível foram realizadas em áreas de caatinga preservada, por apresentarem uma maior quantidade de material vegetal e por serem mais susceptíveis aos incêndios florestais (Figura 4).

**Figura 2**— Vista geral das áreas de caatinga preservada onde foram coletados os materiais combustíveis em diferentes regiões geográficas imediatas do sertão da Paraíba: (A) Sousa, (B) Santa Terezinha, (C) Princesa Isabel, (D) Cajazeiras, (E) Itaporanga, (F) Catolé do Rocha e (G) Condado.



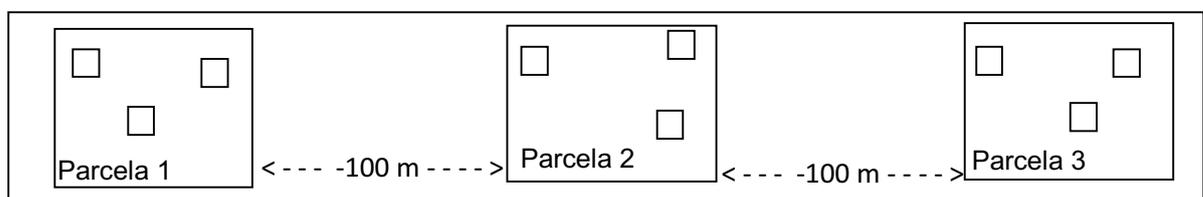


Fonte: Justino (2020)

Em cada área, foram instaladas três parcelas de 20 m x 20 m (400 m<sup>2</sup>) de forma aleatória, sendo, em seguida, georreferenciadas com um GPS (Figura 5). Para a coleta do material combustível, em cada parcela, foi lançando um gabarito com dimensões de 1,0 m x 1,0 m de forma aleatória, sendo esse procedimento realizado 3 vezes nas áreas, estabelecendo um intervalo de 100 m entre cada parcela.

Além disso, retirou-se, em cada área, uma amostra para posterior caracterização das classes diamétricas e análise química do material combustível.

**Figura 3** – Representação da distribuição das parcelas no campo para coleta do material combustível.



Fonte: Justino (2020)

As coletas do material combustível foram realizadas em setembro de 2018, início da época seca na região, estando o material combustível seco para facilitar a coleta e o manejo desse material para posterior acompanhamento das queimas.

A retirada da vegetação foi feita com a utilização de um facão e uma tesoura de poda para facilitar a remoção de todo material combustível superficial com até 1,8 m de altura que estava dentro do gabarito (Figura 6). O material coletado em cada parcela foi acondicionado em sacos de náilon devidamente etiquetados.

**Figura 4** — Gabarito utilizado para coleta do material combustível nas parcelas experimentais.



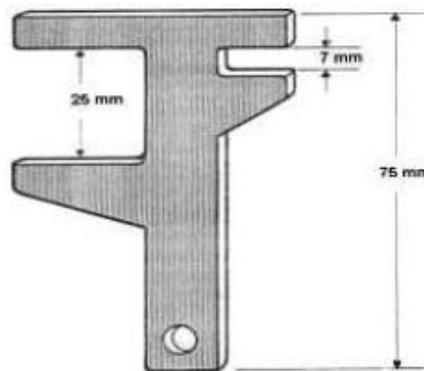
Fonte: Justino, (2020).

### 3.2.1 Caracterização do material combustível

Após a coleta no campo, o material combustível foi levado para o Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas (LabNut) da Universidade Federal de Campina Grande, *campus* de Patos – PB, sendo determinado o peso médio das seis amostras

por área. Esse material foi colocado para secagem ao ar para posteriormente queimado. A amostra de material combustível coletado para fins de análise foi inicialmente triada de acordo com a classe diamétrica, sendo, para isso, utilizado um calibrador de diâmetro (Figura 7).

**Figura 5** – Calibrador de diâmetro para determinação das classes diamétricas do material combustível.



Fonte: Adaptado de White (2014).

Após a separação, o material combustível coletado nas diferentes regiões foi separado de acordo com Brown, Oberheu e Johnston (1982) nas seguintes classes diamétricas (Tabela 2).

**Tabela 2** – Material orgânico componente das classes de material combustível.

| Classe       | Descrição   |
|--------------|---|
| < 0,7 cm     | Material orgânico menor que 7 mm de espessura ou diâmetro     |
| 0,7 – 2,5 cm | Material de espessura ou diâmetro entre 7 e 25 mm             |
| 2,5 – 7,5 cm | Material lenhoso cujo diâmetro encontrava-se entre 25 e 75 mm |
| > 7,5 cm     | Material lenhoso cujo diâmetro era superior a 75 mm           |

Fonte: Brown (1982).

Após a separação das classes, o material combustível de cada amostra foi encaminhado para uma sala do Viveiro Florestal/UFCG, *campus* de Patos – PB, onde foi espalhado separadamente para facilitar a secagem, permanecendo assim por 48 horas.

O material combustível de cada amostra foi pesado em balança para determinar a quantidade de material disponível em 1 m<sup>2</sup>; em seguida, foi estimada a quantidade por toneladas por hectare (t ha<sup>-1</sup>).

### 3.3 Determinação do conteúdo de água no material combustível

Concomitantemente, em cada área, foi coletada uma amostra do material combustível para a determinação do conteúdo de água e para a análise do poder calorífico. Para a determinação do conteúdo de água, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e encaminhadas ao LabNut, onde foram pesadas em balança de precisão de 0,01, obtendo-se, assim, o peso úmido. Em seguida, as amostras foram colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 65° até atingir massa constante. Em seguida, foi calculado o teor de umidade através da fórmula apresentada a seguir (BATISTA, 1990).

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Sendo que:

U = Umidade do material combustível (%);

M<sub>u</sub> = massa do material úmido (g);

M<sub>s</sub> = massa do material seco (g).

De acordo com a metodologia de Reys (2017), foi calculada a massa total de material combustível coletado para todas as classes após a determinação da umidade das sub amostras. Posteriormente, os dados foram expressos em gramas por metro quadrado (g m<sup>-2</sup>).

### 3.4 Análise do poder calorífico no material combustível

Inicialmente o material combustível foi triturado e moído em moinho de facas do tipo Willey, com malha de 1mm. As amostras (50g) foram armazenadas em recipientes plásticos com tampa e posteriormente identificados. Em seguida, as amostras foram conduzidas para o Laboratório de Nutrição Animal/CSTR/ UFCG,

Campus de Patos-PB, para os procedimentos laboratoriais. Em cada tratamento, foram realizadas três repetições, totalizando 21 repetições.

O poder calorífico nas amostras do material combustível foi determinado no Laboratório de Nutrição Animal/UFPG, *campus* de Patos-PB, usando o calorímetro adiabático de Parr. A determinação do poder calorífico superior foi realizada com auxílio da bomba calorimétrica de Parr. Pesou-se, em cada cápsula metálica, cerca de 0,600 gramas do material para cada amostra, em balança analítica de aproximadamente 0,1 mg. As cápsulas, contendo as amostras, foram colocadas dentro de um vaso de pressão, adicionando 1ml de água destilada.

Pressurizou-se o vaso com oxigênio, com vinte e cinco a trinta atmosferas de oxigênio, mergulhando-o num recipiente contendo 2.000 ml de água destilada, em condições adiabáticas, realizando a combustão do material em um ambiente fechado.

A combustão foi realizada através de um circuito elétrico que determina a queima de um fusível que se encontra em contato com a amostra, liberando uma faísca elétrica para início da combustão. Essa combustão da amostra provoca a elevação da temperatura da água em que a bomba está imersa. Em seguida, mediu-se a elevação da temperatura da água em condições adiabáticas e, conhecendo-se o equivalente a hidrotérmico da bomba (2,453), calculou-se o poder calorífico dos materiais combustíveis de acordo com a equação (2).

$$\text{PCS} = \frac{(\text{TF} - \text{TI}) \times 2,453}{\text{ASA}} \quad (2)$$

Sendo que:

PCS = Poder calorífico superior do combustível (kcal kg<sup>-1</sup>);

TF = Temperatura final;

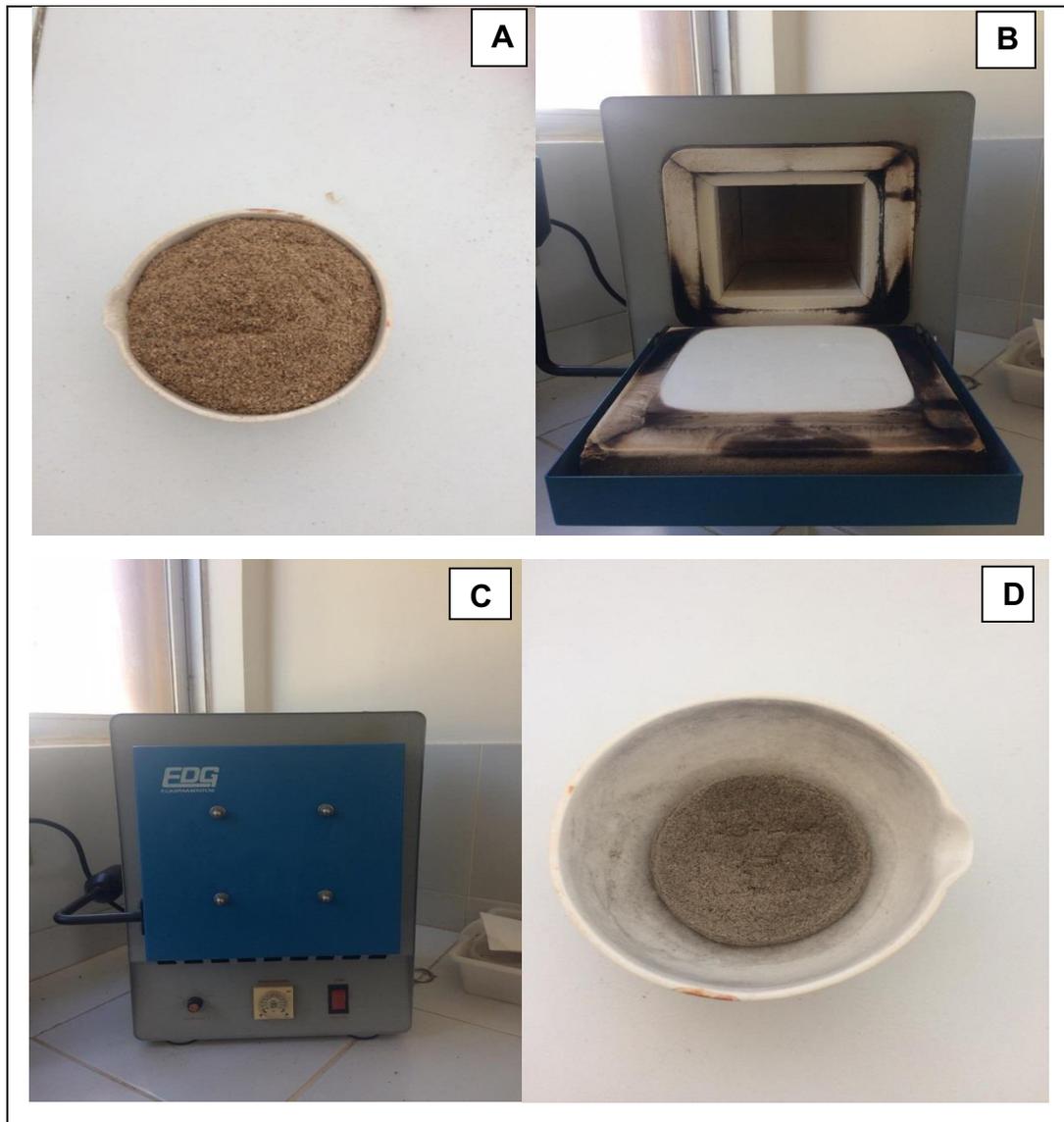
TI = Temperatura inicial;

ASA = Peso da amostra em cadinho pré-seca moída;

Para obtenção do teor de cinzas, inicialmente foram pesados, em cada cadinho, 1,6 g de cada amostra em uma balança analítica de precisão de 0,01 g. Em seguida, colocou-se em uma estufa a 105° C, durante 24 horas. Após esse procedimento, os mesmos cadinhos com material foram acondicionados em forno tipo mufla a uma temperatura de 600° C durante período de 6h40min. Os cadinhos foram

retirados, colocando-os em um dessecador por uma hora aproximadamente, até a estabilização com a temperatura ambiente (Figura 10).

**Figura 6** – Queima do material combustível moído (A), utilizando a mufla (B e C) para obtenção do teor de cinzas (D). Patos 2019.



Fonte: Justino (2020)

Em seguida, as amostras foram pesadas e os valores anotados para determinação do teor de cinzas conforme equação abaixo:

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{\text{Peso (cinzas de mufla)}}{\text{Peso (amostra da mufla a 105^\circ)}} \times 100 \quad (3)$$

A matéria orgânica foi determinada a partir da diferença entre o peso da amostra da mufla a 105°, menos o peso das cinzas.

### 3.5 Organização e queima do material combustível

Para avaliar o comportamento do fogo, foram confeccionadas três mesas de combustão, com dimensões de 1,0 m X 1,0 m, modelo adaptado de Beutling (2012) e White et al. (2016). A mesa consiste em uma base plana de metal com pinos laterais espaçados a cada 10 cm, para facilitar o monitoramento da velocidade de propagação e para que não ocorra a queda do material quando este for depositado conforme apresentado na Figura 8.

**Figura 7** — Mesa de combustão para realizar a queima do material combustível em laboratório.



Fonte: Justino (2020).

Nessa mesa de combustão, o material combustível foi distribuído e medida a espessura da pilha com uma trena em cinco pontos aleatórios para posterior cálculo da média. Para determinar o grau de inclinação a 25° da mesa de combustão, utilizou-se a fórmula trigonométrica ( $\text{tg } 25^\circ = \text{cateto oposto/adjacente}$ )

As queimas foram realizadas com a mesa plana e a 25° de inclinação, simulando áreas planas e com elevação, sendo confeccionados os suportes que fossem regulados na inclinação de 25° em uma das extremidades da mesa. As mesas

de combustão foram colocadas em ambiente com portas e janelas que, durante a queima, foram fechadas para evitar a interferência do vento. Ao final de cada queima, as portas e janelas foram abertas para permitir a dissipação da fumaça. Quando o ambiente ficou livre da fumaça, este foi fechado e realizada a próxima queima.

### 3.6 Avaliação do comportamento do fogo

Para avaliar o comportamento do fogo, foram realizadas queimas experimentais com o material coletado em cada área, sendo 21 queimas com a mesa de combustão a 0° (plano) e 21 queimas com a mesa de combustão a 25° (inclinado), totalizando 42 queimas.

As variáveis analisadas durante a queima dos materiais foram: duração da queima (DQ) – tempo que a chama ficará acesa; velocidade de propagação (VP) – tempo que o fogo leva para queimar um metro do material combustível; altura das chamas.

O material combustível pertencente a cada área de coleta foi organizado em parcelas de 1,0 m<sup>2</sup> de área (1,0 m x 1,0 m). Para a ignição do material combustível presente na mesa de combustão, foi utilizado “pinga fogo”, contendo líquido inflamável composto de mistura de óleo diesel com gasolina, sendo o acendimento realizado no mesmo sentido para todas as queimas. Foram demarcadas quatro linhas de 25 cm na parcela e utilizado duas réguas de madeira graduadas cada 10 cm, que foram instaladas perpendicularmente à mesa de combustão para auxiliar na mensuração dos comprimentos das chamas de acordo com a inclinação e altura do fogo.

Para o monitoramento das variáveis do comportamento do fogo, foram adotados procedimentos descritos e recomendados por diversos autores (BATISTA; BEUTLING; PEREIRA, 2013; SERGUER et al., 2013; KUÇUK et al., 2008). Os procedimentos descritos foram monitorados por três observadores. O primeiro observador ficou próximo, isto é, na lateral da linha de combustão; o segundo observador foi responsável pelos registros fotográficos e o terceiro observador registrou os dados em ficha de campo das seguintes variáveis:

**Tempo para ignição:** Tempo que o material combustível leva para iniciar a combustão, determinado da cronometragem em segundos.

**Velocidade de propagação:** Calculada mediante cronometragem do tempo gasto para a linha de fogo percorrer a distância compreendida entre as réguas fixas,

previamente instaladas no sentido do comprimento da mesa de combustão, com valores expressos em  $\text{m s}^{-1}$ ;

**Duração da queima (DQ)** - tempo que a chama permaneceu acesa, medida com auxílio de um cronômetro;

**Altura das chamas:** Determinada visualmente e com auxílio de uma régua, que foi posicionada próximo ao fogo para auxiliar na média das quatro medições realizadas no exato momento em que o fogo atingir a segunda, terceira, quarta e a linha final, com valores expressos em metros.

**Figura 8** – Medição da altura das chamas, do material combustível, utilizando régua graduada, 2018.



Fonte: Justino, (2020)

**Intensidade do fogo:** A intensidade do fogo foi estimada conforme Byran (1959); Soares e Batista (2007), conforme a fórmula abaixo:

$$I = H \cdot w \cdot r \quad (4)$$

Sendo:

I= intensidade do fogo ( $\text{kcal m}^{-1} \text{s}^{-1}$ );

H= poder calorífico do combustível ( $\text{kcal kg}^{-1}$ );

w = peso do combustível disponível ( $\text{kg m}^{-2}$ );

r = velocidade de propagação do fogo ( $\text{m s}^{-1}$ ).

**Calor liberado por unidade de área:** Obtido a partir da combinação entre a velocidade de propagação do fogo e sua intensidade:

$$Ha = I/r \quad (5)$$

Sendo:

Ha = calor liberado em kcal m<sup>-2</sup>

I = intensidade do fogo em kcal m s<sup>-1</sup>

r = velocidade de propagação do fogo em m s<sup>-1</sup>

**Índice de combustibilidade (IC):** Determinado através da altura média das chamas, sendo classificado segundo os índices apresentados na tabela 3, adaptado por Petriccione (2006). De acordo com pesquisas desenvolvidas na Caatinga por Bakke (2014), Ribeiro et. al, (2008), Silva Neto (2017), foi possível a determinação de um índice de combustibilidade para experimento de campo na vegetação de caatinga. A partir desse índice, foi possível avaliar a capacidade do fogo de consumir o material combustível e manter a aptidão de sustentabilidade da queima.

**Tabela 3** – Índice de combustibilidade (IC) para vegetação de Caatinga.

| Índice de combustão (IC) | Designação do IC | Comprimento da chama (cm) |
|--------------------------|------------------|---------------------------|
| IC1                      | Muito baixa      | < 10                      |
| IC2                      | Baixa            | 11 – 30                   |
| IC3                      | Média            | 31 – 60                   |
| IC4                      | Alta             | 61 – 120                  |
| IC5                      | Muito Alta       | > 120                     |

Fonte: Adaptado de Petriccione, 2006.

### 3.7 Análise química do material combustível

Para a caracterização química do material vegetal, este foi triturado e moído em moinho de facas do tipo Willey, com malha de 1mm. As amostras (50 g) foram armazenadas em recipientes plásticos com tampa e, posteriormente, identificados. Em seguida, foram conduzidas para o Laboratório de Nutrição Animal/CSTR/ UFCG, Campus de Patos-PB. Depois foram pesados 6 gramas de cada amostra e

aconicionados em sacos plásticos. O restante do material moído foi colocado em cadinhos e conduzidos para o forno tipo mufla durante 6h40min. Após este procedimento, foi acondicionado em sacos plásticos.

Em seguida, foi encaminhado ao Laboratório de análise agronômica e ambiental (FULLIN), Linhares ES, para a quantificação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), antes e após a queima de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997; 1999 e 2009); (RAIJ, ANDRADE, QUAGGIO, 2001); (MALAVOLTA, VITTI, OLIVEIRA, 1997).

### **3.8 Delineamento experimental e análise estatística**

O delineamento utilizado para avaliar o comportamento do fogo foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial 7 x 2 (7 regiões de coleta x 2 tipos de inclinação) com três repetições por tratamento, totalizando 42 repetições.

Para o poder calorífico, teor de cinzas, matéria orgânica e análise química, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com três repetições, totalizando 21 repetições.

Os dados das variáveis do comportamento do fogo obtidos durante as queimas experimentais para cada região geográfica imediata foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e às médias comparadas pelo teste Tukey empregando o *software* ASSISTAT versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009).

Os dados relacionados ao poder calorífico, ao teor de cinzas e à matéria orgânica foram submetidos à análise de variância e aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

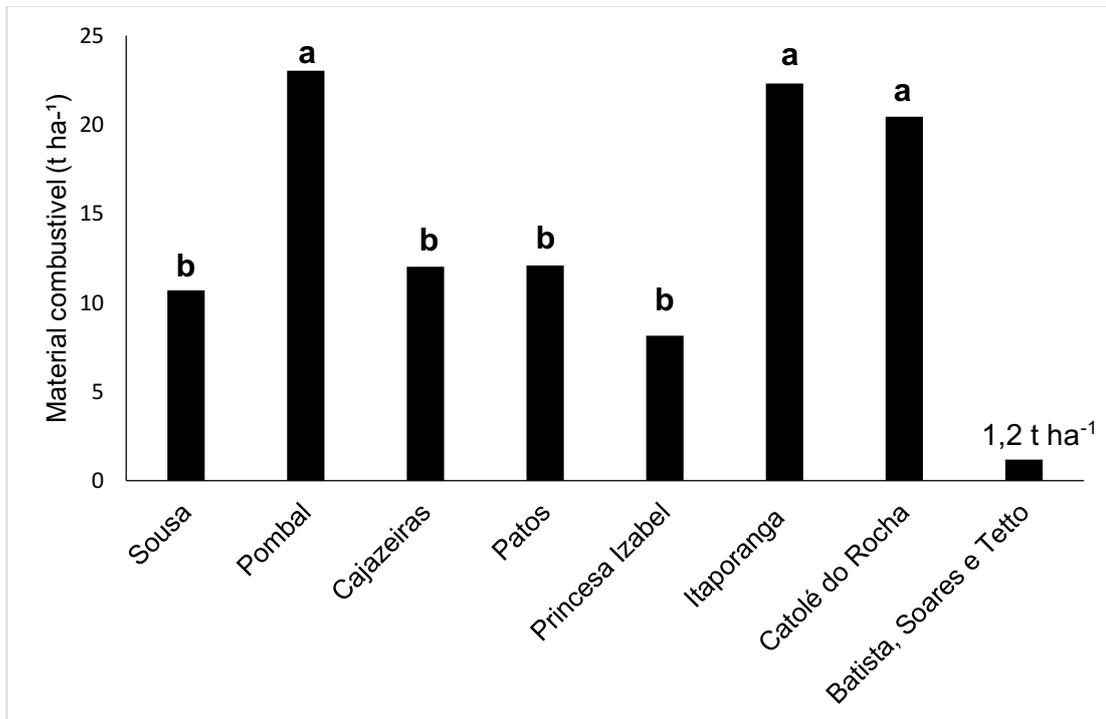
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Material combustível e teor de umidade

Em relação ao peso médio do material combustível disponível (Figura 9), foi constatado que houve diferença entre as regiões avaliadas. As áreas preservadas da região de Pombal, Itaporanga e Catolé do Rocha apresentaram maiores quantidades de material combustível em relação às outras áreas avaliadas.

A área preservada de Pombal obteve uma quantidade de 23 t ha<sup>-1</sup> de material combustível, seguida pela área de Itaporanga (22,3 t ha<sup>-1</sup>), Catolé do Rocha 20,42 t ha<sup>-1</sup>, e as demais apresentaram uma quantidade inferior a 12 t ha<sup>-1</sup>.

**Figura 9** – Peso médio do material combustível (t ha), disponível, superficialmente, em diferentes áreas preservadas nas regiões geográficas no sertão paraibano, 2019.



\*\*Medias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

A maior quantidade de material combustível nas áreas preservadas de Catolé do Rocha, Itaporanga e Pombal pode estar relacionada ao tipo de solo. Segundo a Embrapa (2018), no sertão da Paraíba, encontra-se uma grande diversidade de solo,

o que favorece, em alguns locais, o maior desenvolvimento da vegetação tanto do estrato herbáceo como da parte aérea. Além disso, essas áreas podem estar em maior equilíbrio ecológico em relação às outras áreas avaliadas.

Mesmo apresentando estas diferenças na quantidade de material combustível, todas as áreas preservadas apresentaram uma grande quantidade de material combustível disponível na superfície. Esta alta disponibilidade de material está relacionada ao período de coleta, pois a vegetação de caatinga apresenta o mecanismo de caducifolia, em que as plantas perdem as folhas durante a estação seca, favorecendo, assim, o aumento na quantidade de material combustível no piso florestal.

Santana (2005), Alves et al. (2006) e Souto et al. (2009) explicam que a perda de folhagem da vegetação Caatinga se dá através do comportamento caducifólio para evitar a perda de água no início do período seco e imediata abscisão das folhas.

O aumento da quantidade de material combustível no piso florestal em todas as regiões geográficas também está associado à precipitação. Segundo os dados da AESA (2019), no ano de 2018, quase todos os municípios das regiões geográficas imediatas do sertão da Paraíba apresentaram precipitações acima de 700 mm anual. A quantidade de material combustível presente nas áreas estudadas determina que todas estão propícias à ocorrências de incêndios florestais devido à distribuição contínua no piso florestal. Segundo Soares Batista e Tetto (2017), para que um incêndio superficial possa se propagar em grandes intensidades, é necessário que haja, no mínimo,  $1,2 \text{ t ha}^{-1}$  de material combustível fino e seco.

A determinação da quantidade de material combustível por unidade de área é de fundamental importância para indicar as medidas de prevenção contra incêndios florestais, além de constituírem informações importantes para planejamento de combate e estimar algumas variáveis do comportamento do fogo a partir da quantidade material disponível. De acordo com Soares e Batista (2007), a estrutura das chamas, da duração e da intensidade do fogo está diretamente relacionada à quantidade de material combustível presente, pois, à medida que aumenta a disponibilidade de material, dificulta o combate através da abertura de aceiros.

Morais et al (2019), em estudo realizado em área de caatinga preservada na região geográfica imediata de Patos, observou, de agosto de 2016 a julho de 2017, um acúmulo de  $18,32 \text{ t ha}^{-1}$  de material no piso florestal.

Resultados inferiores a esta pesquisa foram constatados por Alves (2011) em área de Caatinga preservada no município de Floresta- PE, em que se registrou uma produção de material combustível no piso florestal de 10 t ha<sup>-1</sup>. Amorim (2009), avaliando o estoque de material combustível no piso florestal na estação experimental da Embrapa Semiárido, em Petrolina-PE, encontrou valores médio de 7,0 t ha<sup>-1</sup>.

Comparando as áreas do presente estudo com uma área de Mata Atlântica no estado de Sergipe, estas foram superiores na quantidade de material combustível. Oliveira, White e Ribeiro (2018), em área de Mata Atlântica, observaram uma produção de 7,02 t ha<sup>-1</sup> de material combustível.

Esta diferença encontrada entre o bioma Caatinga e a Mata Atlântica está relacionada à maior competição das espécies da Mata Atlântica por Luz, água e nutrientes, o que interfere diretamente na produção de material. Segundo Alonso et al. (2015), um dos fatores que mais influenciam na quantidade de material combustível entre diferentes ambientes refere-se à densidade das espécies.

Na Tabela 4, verifica-se a distribuição do material combustível por classes diamétricas, observando que somente o material combustível presente na área preservada de Catolé do Rocha está distribuído nas quatro classes.

**Tabela 4** – Carga do material combustível (g m<sup>2</sup>), categorizado por classes diamétrica, em diferentes áreas preservadas, 2019.

| Local           | g m <sup>2</sup> |              |              |          | Peso total (g m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|------------------|--------------|--------------|----------|--------------------------------|
|                 | > 0,7 cm         | 0,7 – 2,5 cm | 2,5 – 7,5 cm | > 7,5 cm |                                |
| Sousa           | 670,00           | 435,00       | 185          | -        | 1290,00                        |
| Patos           | 1065,92          | 99,60        | -            | -        | 1165,00                        |
| Cajazeiras      | 946,63           | -            | -            | -        | 946,63                         |
| Princesa Isabel | 811,56           | 152,88       | -            | -        | 964,44                         |
| Pombal          | 1381,54          | -            | -            | -        | 1381,54                        |
| Itaporanga      | 1360,00          | 510,00       | 87,00        | -        | 1957,00                        |
| Católé do Rocha | 850,00           | 465,00       | 310,0        | 260,00   | 1885,00                        |

Presença de hífen (-) significa que não houve presença de material combustível na respectiva classe diamétrica.

Nas áreas de Cajazeiras e Pombal, o material foi categorizado somente na primeira classe. Nas áreas de Sousa e Itaporanga, não apresentou material combustível na última classe e nas áreas de Patos e Princesa Isabel, somente nas duas primeiras classes.

Esta distribuição em todas as classes na área preservada de Catolé do Rocha pode estar ligada ao tipo de fitofisionomia, pois esta área apresentava uma vegetação muito densa, com pouco desenvolvimento do estrato herbáceo e grande acúmulo de galhos, cascas e folhas provenientes das árvores.

O material combustível das regiões de Pombal e Cajazeiras caracterizou-se por conter presença abundante de espécies herbáceas na superfície e, em alguns locais, presença de árvores muito espaçadas, o que favoreceu o diâmetro inferior a 0,7 cm. Nas regiões de Sousa e Itaporanga, destacou-se o material com grande desenvolvimento do estrato herbáceo; há presença de árvores mais espaçadas, o que influenciou a queda de galhos e folhas na superfície.

Em relação ao material combustível das regiões de Patos e Princesa Isabel, o material apresentou desenvolvimento do estrato herbáceo, com muita presença de capim panasco (*Aristida adscensionis* L.) ervas, folhas e galhos, o que beneficiou somente as duas primeiras classes.

Observou-se que o material presente nas áreas de Catolé do Rocha, Sousa, Itaporanga, Patos e Princesa Isabel é classificado, de acordo com Soares e Batista (2007), como perigoso e semi-perigoso. Na categoria de materiais combustíveis perigosos, estão incluídos pequenos galhos de diâmetro inferior a 1,0 cm e folhas em estado seco. E os semi-perigosos são constituídos por galhos acima de 1,0 cm de diâmetro, favorecendo assim uma queima lenta e com intensa liberação de calor.

Nas áreas preservadas de Cajazeiras e Pombal, o material combustível caracteriza fácil início de propagação, liberando muito calor e chamas intensas devido ser um material com diâmetro inferior a 1,0 cm. Para Garcia et al. (2015), material combustível com diâmetro fino apresenta alta inflamabilidade e facilita a ignição de incêndios.

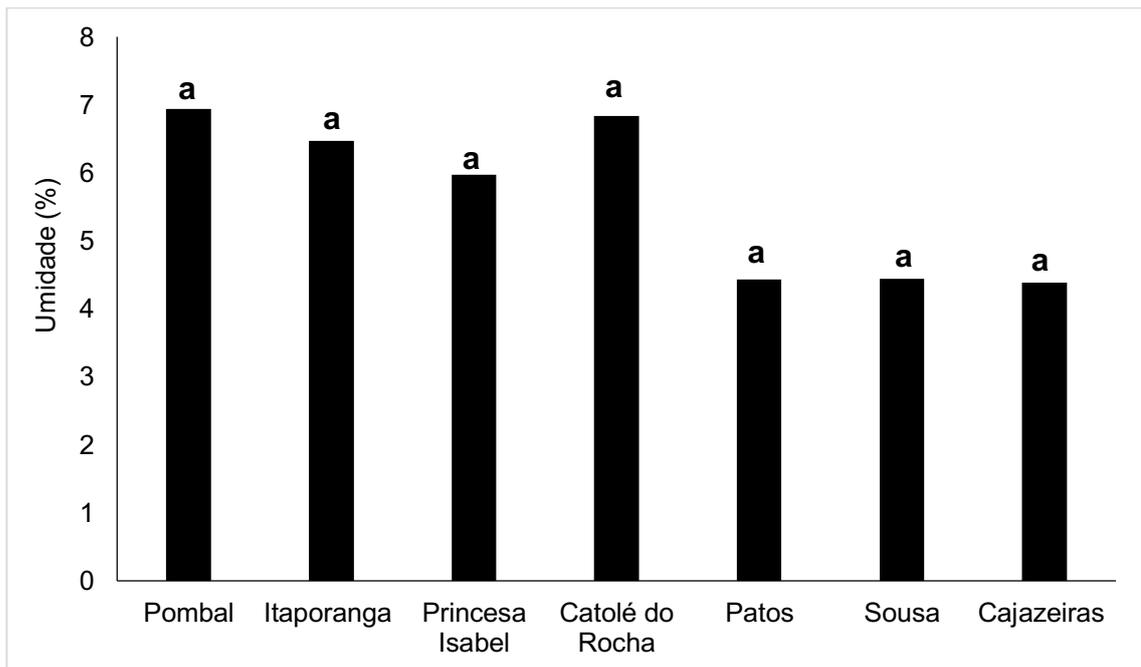
Resultados semelhantes à distribuição por classes diamétricas foram constatados por Reyes (2017), que, avaliando a vegetação do Cerrado sensu stricto, observou a distribuição do material combustível nas quatro classes, no entanto, a primeira classe destacou-se com a maior quantidade de material. White et al. (2014), estudando a caracterização do material combustível de Floresta Tropical sazonal em

Itabaiana-SE, constataram material combustível em todas as classes, com maior quantidade na primeira classe.

A categorização do material combustível por classes diamétricas torna-se importante para descrever as formas iniciais do comportamento do fogo em diferentes tipos de vegetação e também identifica as medidas mais apropriadas para prevenção e combate de incêndios florestais.

Quanto aos valores do teor de umidade, os materiais combustíveis não apresentaram diferenças significativas entre a média dos tratamentos avaliados (Figura 10). A umidade do material variou de 6,94 a 4,43%, apresentando baixos valores de teor de umidade no material em todas as regiões geográficas.

**Figura 10**– Umidade do material combustível em diferentes áreas preservadas nas regiões geográficas no sertão paraibano, 2019.



\*Médias seguidas de mesma letra são iguais entre si pelo teste de F ( $P < 0,05$ ).

O baixo valor de teor de umidade em todos os materiais combustíveis das áreas preservadas estudadas está relacionado às elevadas temperaturas e baixa umidade relativa do ar na época de coleta, favorecendo a secagem do material naturalmente. Além disso, entre os meses de julho a dezembro, a probabilidade de ocorrência de precipitações é mínima, o que interfere também no baixo teor de

umidade do solo, favorecendo a mortalidade das espécies herbáceas e a queda de folhas e galhos com teores de umidade muito baixos.

No entanto, o baixo teor de umidade tem grande influência na combustão do material combustível, pois a energia requerida para vaporizar a água existente será mínima, ou seja, ocorrerá uma redução na quantidade de calor disponível para que ocorra o início do fogo.

Para Fenner e Lima (1992), quando os teores de umidade do material combustível estão abaixo de 25 a 30%, são considerados propícios a ocorrências de incêndios florestais. Isso vem justificar que todos os materiais combustíveis ocorrentes nas áreas preservadas no presente estudo são considerados perigosos, pois estão abaixo do percentual; com isso, há uma alta probabilidade de ignição.

Segundo Weir e Lamb (2014), o teor de umidade do material combustível é reflexo do clima e das condições atmosféricas e pode variar rapidamente. Assim, no presente estudo, percebeu-se que, em todas as áreas, a maioria do material combustível apresentou diâmetro inferior a 1,0 cm, facilitando a perda da umidade para a atmosfera.

Silva Neto (2017), avaliando o teor de umidade de materiais combustíveis de diferentes fitofisionomias na Paraíba, examinou valores que variaram de 0,06% a 24,67%. Bakke (2014) também constatou valores baixos de teor de umidades em diferentes fitofisionomias na Caatinga que variaram de 10 a 20%.

Resultado semelhante ao teor de umidade desse estudo foi examinado por Oliveira, White e Ribeiro (2018), que, no bioma Mata Atlântica, encontraram o teor médio de umidade acima 30%, indicando que a probabilidade de ocorrências de incêndios florestais nessas áreas é reduzida por causa do maior gasto de calor para aquecer o material.

## **4.2 Poder calorífico**

Na Tabela 5, observa-se que os valores de matéria orgânica, teor de cinzas e poder calorífico, em média, constituem parâmetros importantes na estimativa da inflamabilidade dos vegetais. Na matéria orgânica, não houve diferença significativa entre os materiais combustíveis das regiões avaliadas. Os valores de matéria orgânica variaram de 94,86 a 89,52%.

**Tabela 5** – Matéria orgânica (%), teor cinzas (%) e poder calorífico superior (PCS) dos materiais combustíveis, coletados em diferentes regiões.

| Regiões geográficas | Matéria orgânica (%) | Cinzas (%) | PCS (Kcal kg <sup>-1</sup> ) |
|---------------------|----------------------|------------|------------------------------|
| Sousa               | 89,51                | 10,49      | 4389,6                       |
| Pombal              | 93,18                | 6,82       | 4 277,0                      |
| Cajazeiras          | 93,75                | 6,25       | 5182,6                       |
| Patos               | 94,86                | 5,14       | 4359,6                       |
| Princesa Isabel     | 92,07                | 7,93       | 4283,6                       |
| Itaporanga          | 93,54                | 6,46       | 4567,0                       |
| Catolé do Rocha     | 91,60                | 8,4        | 4742,6                       |
| CV (%)              | 2,34                 | 2,25       | 9,25                         |

\*\*Medias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de F, a nível de significância de 5%.

Os elevados valores de matéria orgânica dos materiais combustíveis evidenciam que, em caso de incêndios florestais de baixa intensidade, pode ocorrer o enriquecimento superficial do solo em curto prazo devido à transformação da matéria inorgânica em mineral. Contudo, em caso de incêndio com alta intensidade, pode ocorrer o empobrecimento do solo das regiões estudadas, pois este degrada quase toda a matéria orgânica e, com isso, a maior parte do estoque dos nutrientes é reduzida sem permitir a sua recomposição.

Os resultados da intensidade do fogo em todas as áreas preservadas permitem descrever que a matéria orgânica pode ser consumida totalmente pelo fogo e acarretar vários danos a essas regiões, como, por exemplo, a redução da taxa de infiltração de água devido à ausência de cobertura vegetal. Com isso, o solo torna-se mais vulnerável à erosão.

Em relação ao teor de cinzas (Tabela 5), foi constatado que não houve diferença entre os valores que variaram de 10,49% a 6,25%. O baixo teor de cinzas no material avaliado neste estudo justifica que todos os materiais combustíveis das regiões geográficas são propícios para a geração de energia, ou seja, quanto menor o valor de teor de cinzas maior o poder de queima.

White e Zipperer (2010) afirmam que, se o material combustível apresentar alto teor de cinzas, favorecerá a resistência da planta contra o fogo. Diante disso, quanto maior for esse teor, menor o teor de voláteis e carbono fixo que são os

combustíveis. Caso contrário, quanto menor for o teor de cinzas, este proporcionará maior capacidade de reação de combustão.

Para Hoffmann (2010), o teor de cinzas está diretamente relacionado com o poder calorífico. Quando em alta concentração, pode diminuir o poder calorífico devido à perda de energia através da transferência de calor. O mesmo autor relata que a composição química das cinzas varia de acordo com as espécies que compõe o material combustível, podendo ser compostos por silício (Si), potássio (K), magnésio (Mg), ferro (Fe), cálcio (Ca), sódio (Na), enxofre (S) e fósforo (P).

No poder calorífico (Tabela 5), não houve diferença nos valores dos materiais avaliados. Os valores obtidos foram altos e variaram de 4.2770 Kcal kg<sup>-1</sup> a 5.1826 Kcal kg<sup>-1</sup>, o que comprova que, em caso de incêndios florestais nessas áreas, a energia que mantém a reação da combustão é alta, o que favorece uma maior intensidade do fogo.

O baixo teor de umidade do material combustível influenciou diretamente no aumento do poder calorífico. Isso está relacionado à baixa necessidade de energia para a evaporação dos gases de combustão sob forma de vapor d'água. Porém, se o material combustível apresentar elevado teor de umidade, maior será o gasto de energia para evaporação dos gases de vapor d'água e, com isso, diminuirá a reação da combustão. Müzel et al. (2014) afirmam que o teor de umidade influencia diretamente no potencial energético, uma vez que, quanto menor a umidade, maior será o poder calorífico.

Para Soares e Batista (2007), o estudo do poder calorífico em laboratório é de suma importância para determinar a quantidade de calor liberado com precisão. Os mesmos autores descrevem que, em condições naturais, a combustão não é completa devido à perda de calor por radiação e à perda de energia para a evaporação da umidade.

Como a variação do poder calorífico entre os diversos tipos de materiais combustíveis não é grande, recomenda-se em alguns casos o uso da constante que é 4.000 Kcal kg<sup>-1</sup>, o que comprova que os valores desse estudo são próximos da constante recomendada.

Os valores encontrados nesses estudos, referentes ao teor de cinzas e ao poder calorífico, podem ser comparados com o estudo de Santos et. al., (2013), que, avaliando o potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte, constataram teor de cinzas e poder

calorífico em catingueira (*Cenostigma bracteosum*) 1,6% teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.400 kcal kg<sup>-1</sup>, Marmeleiro (*Croton sonderianus*) 0,3% teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.400 kcal kg<sup>-1</sup>, Mororó (*Bauhinia cheilantha*) 1,7% teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.600 kcal kg<sup>-1</sup>, Jurema Preta Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora*) 0,45% de cinzas e com poder calorífico acima de 4.800 kcal kg<sup>-1</sup>, Imburana (*Commiphora leptophloeos*) 1,4% teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.400 kcal kg<sup>-1</sup> e , Pereiro (*Aspidosperma pyriformium*) 0,5% teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.700 kcal kg<sup>-1</sup>.

Observa-se que, no estudo de Santos et al. (2013), os valores do teor de cinzas de todas as espécies foram inferiores aos desse estudo. Quanto ao poder calorífico, os resultados dos autores supracitados foram próximos aos dos materiais combustíveis das regiões estudadas.

Medeiros Neto et al. (2014), avaliando as características da madeira e do carvão vegetal de duas espécies da Caatinga, observaram que, na catingueira (*Cenostigma bracteosum*), o teor de cinzas foi de 5,27%, poder calorífico em torno de 6.247,80 kcal kg<sup>-1</sup>, enquanto no Pau D'arco (*Handroanthus impertiginosus*) o teor de cinzas foi 1,96%, e poder calorífico 6.977,40 kcal kg<sup>-1</sup>.

O estudo do poder calorífico e do teor de cinzas no material combustível é de suma importância em experimentos laboratoriais, pois fornece maior comprovação dos resultados observados em campo. No entanto, as pesquisas relacionadas a esses parâmetros no comportamento do fogo ainda são escassas, principalmente na Caatinga, mas, a partir desse estudo, foi possível impulsionar o desenvolvimento de novas pesquisas na vegetação Caatinga.

### **4.3 Comportamento do fogo**

#### **4.3.1 Velocidade de propagação do fogo**

Em relação à velocidade de propagação do fogo em superfície plana e acline (Tabela 6), verificou-se que não houve interação entre o grau de inclinação e as regiões geográficas, no entanto somente as regiões geográficas exerceram influência sobre a velocidade de propagação. A velocidade de propagação na região de Catolé do Rocha apresentou o maior resultado com 0,096 m s<sup>-1</sup>, diferindo-se estatisticamente

das demais regiões geográficas. Contudo, na região de Cajazeiras, foi registrado o menor valor médio com 0,017 m s<sup>-1</sup>.

**Tabela 6** – Velocidade de propagação do fogo (m s<sup>-1</sup>), em média, para superfície plana e aclave com 25° de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019.

| Regiões         | 0°    | 25°   | Média   | Classificação |
|-----------------|-------|-------|---------|---------------|
| Sousa           | 0,054 | 0,045 | 0,049 B | Média         |
| Pombal          | 0,044 | 0,043 | 0,043 B | Média         |
| Cajazeiras      | 0,021 | 0,012 | 0,017 C | Lenta         |
| Patos           | 0,037 | 0,024 | 0,031 B | Média         |
| Princesa Isabel | 0,036 | 0,031 | 0,034 B | Média         |
| Itaporanga      | 0,034 | 0,035 | 0,034 B | Média         |
| Catolé do Rocha | 0,089 | 0,102 | 0,096 A | Média         |
| Média           | 0,045 | 0,042 |         |               |

Letras maiúscula são fatores de comparação entre as áreas. Médias seguidas de mesma letra são iguais entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

A velocidade de propagação do fogo foi maior na região de Catolé do Rocha devido ao tipo de material presente na área que apresentou galhos categorizados em várias classes diamétricas e também a presença de folhas e cascas, o que permite uma velocidade de propagação mais lenta. Em relação às classes diamétricas do material combustível da região de Cajazeiras, estas apresentam diâmetro inferior a 0,7 cm sendo composto por muitas folhas, que acomodam entre si, o que influencia a velocidade de propagação rápida, devido, provavelmente, à menor ação do comburente durante a queima.

A região de Pombal apresentou a mesma classe diamétrica do material combustível da região de Cajazeiras. No entanto, a velocidade de propagação de Pombal foi maior e isso pode estar relacionado à maior quantidade de material combustível presente na área e também ao tipo de material, com presença de mais galhos finos, possibilitando maior entrada do combustível.

As velocidades de propagação do fogo, em média, encontradas neste estudo podem ser classificadas de acordo com a escala de Botelho e Ventura (1990); como média, nas regiões geográficas de Catolé do Rocha, Itaporanga, Princesa Isabel,

Patos, Pombal e Sousa, por estarem no intervalo de 0,033 a 0,116 m s<sup>-1</sup> e somente a área preservada da região de Cajazeiras é classificada como lenta, pois apresentou valor inferior a 0,033 m s<sup>-1</sup>.

Verifica-se que o grau de inclinação não influenciou a velocidade de propagação, podendo ser atribuído à ausência de vento no momento da queima que foi em local fechado, o que diferiu da hipótese de que a inclinação constitui um dos elementos que influenciam o aumento da velocidade de propagação.

De acordo com Veléz (2000), a convecção influencia diretamente na velocidade de um incêndio, especialmente em terrenos inclinados, o que pode explicar que a ausência do vento, no momento da queima, interferiu na transferência de calor do material combustível localizado na parte inferior da mesa de combustão para a parte superior.

Para Brown e Davis (1973), em terrenos com aclives acentuados, a velocidade do vento e a topografia são fatores que controlam o início de ignição e a velocidade de propagação dos incêndios florestais. Com a ausência de um desses fatores, favorece uma queima mais lenta do material. Morvan, Frangieh (2018) também reforçam que teor de umidade de combustível, inclinação, a velocidade do vento são alguns dos principais parâmetros físicos que mais afetam o comportamento de incêndios florestais.

Segundo Soares e Batista (2007), a velocidade de propagação é muito importante para a previsão do comportamento do fogo, pois determina o tempo que o fogo leva para percorrer uma determinada distância e ressalta que a velocidade da propagação é um dos parâmetros mais fáceis de se medir, influenciando diretamente a intensidade do fogo.

O resultado de velocidade de propagação desse estudo se difere do trabalho de Jordain (2015) que, avaliando comportamento do fogo sob diferentes declividades em combustíveis provenientes de um povoamento de *Eucalyptus grandis*, observou que a maior velocidade de propagação foi obtida na inclinação de 30° e a menor velocidade, na declividade de 0°. Beutling (2009), ao avaliar o comportamento do fogo em acículas de *Pinus*, observou que o acréscimo da declividade de 0 para 20° aumentou a velocidade de propagação em 3,3 vezes.

Observa-se que, nos estudos de Jordain e Beutling, em cada experimento, utilizou-se material combustível de apenas uma única espécie e com mesmo peso para cada queima; isso pode ter influenciado o aumento da velocidade de propagação

de acordo com a inclinação. Ao contrário, o material combustível utilizado neste estudo era composto por várias espécies e cada queima com diferentes pesos de combustível, o que justifica o fato de a inclinação não influenciar o aumento da velocidade de propagação em experimentos laboratoriais. Para se observarem possíveis alterações, recomenda-se o uso de um mesmo tipo de material combustível, com mesmo peso e a presença de vento.

#### 4.3.2 Intensidade do fogo

Na tabela 7, observa-se que não houve interação entre as regiões geográficas e o grau de Inclinação para a intensidade do fogo. Entretanto, somente o material combustível das regiões geográficas exerceram influência sobre a intensidade do fogo.

**Tabela 7** — Intensidade do fogo ( $\text{kcal m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ), em média, para superfície plana e alicive com  $25^\circ$  de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019.

| Regiões         | $0^\circ$ | $25^\circ$ | Média    |
|-----------------|-----------|------------|----------|
| Sousa           | 316,5     | 182,9      | 249,7 BC |
| Pombal          | 474,7     | 379,0      | 426,8 B  |
| Cajazeiras      | 128,6     | 75,9       | 102,3 C  |
| Patos           | 175,0     | 144,6      | 159,8 BC |
| Princesa Isabel | 128,2     | 106,6      | 117,4 C  |
| Itaporanga      | 371,7     | 326,5      | 349,1 BC |
| Catolé do Rocha | 987,2     | 866,3      | 926,8 A  |
| Média           | 368,8     | 297,4      | 333,1    |

Letras maiúscula são fatores de comparação das áreas. Médias seguidas de mesma letra são iguais entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A intensidade do fogo do material combustível, advinda da região de catolé do Rocha, foi estatisticamente superior aos demais, com uma média de  $926,8 \text{ kcal m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , e os material combustíveis das regiões de Cajazeiras e Princesa Isabel registraram os menores valores, com  $102,3 \text{ kcal m}^{-1} \text{ s}^{-1}$  e  $117,4 \text{ kcal m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

A maior intensidade do fogo no material combustível da região de Catolé do Rocha está relacionada ao maior tempo de duração de queima e quantidade de material combustível, visto que quanto maior for o tempo de permanência do fogo em um determinado lugar, maior será a liberação de calor. Isso influencia a intensidade do fogo em incêndios florestais. Além disso, outro fator que influenciou diretamente na intensidade do fogo foi o tipo de material combustível presente nesta área.

Segundo Soares e Batista (2007), quanto maior a quantidade de material combustível disponível e a espessura de diâmetro for superior a 1 cm, maior a capacidade de permanência do fogo em determinado local. Com isso, o calor gerado é intenso devido ao consumo lento do material combustível. Rossi et al. (2017) relata que a intensidade do fogo é influenciada principalmente pela combinação de porcentagem de material combustível morto e carga de combustível.

Neste estudo, destacam-se também os altos valores de intensidade do fogo nas regiões de Pombal e Itaporanga, evidência que as diferentes fitofisionomias encontradas nas áreas preservadas influencia diretamente a intensidade do fogo e outras variáveis do comportamento do fogo.

No entanto, o material combustível de todas as regiões apresentou intensidade superior a  $100 \text{ kcal m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , sendo que esses valores podem provocar danos severos ao meio ambiente porque a vegetação caatinga não apresenta mecanismo que suporta alta intensidade do fogo e, com isso, é necessário intensificar o monitoramento e a vigilância em áreas de Caatinga em períodos de estiagem.

De acordo com estudos realizados por Ribeiro et. al (2008), Bakke (2014), Silva Neto (2017), os limites de severidade para danos aceitáveis em espécies florestais da Caatinga são de até  $81 \text{ kcal m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . Para povoamentos comerciais de Eucalipto, o limite de intensidade de fogo para danos aceitáveis é em torno de 59 a  $83 \text{ kcal m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

Alguns autores relatam que, quando um incêndio ultrapassa a intensidade de  $500 \text{ kcal m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , a atividade de fagulhamento torna-se bastante intensa, dificultando o controle do fogo. Se a taxa da intensidade ultrapassar  $800 \text{ kcal m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , tornar-se-á incontrolável o combate de incêndios florestais.

Para Batista; Beatling; Ribeiro (2013), a variável intensidade do fogo é a mais importante quando se estuda o comportamento do fogo, uma vez que esta evidencia a reação da combustão, tornando um parâmetro indispensável para a avaliação dos efeitos do fogo no ecossistema.

Keely (2009) ressalta que a intensidade do fogo constitui um parâmetro necessário para os diferentes ecossistemas, o que pode fornecer uma descrição preliminar da gravidade do fogo e estimar os danos aos ecossistemas.

A inclinação não influenciou o aumento da intensidade do fogo, fato que se difere do estudo de Battaglin (2012), pois, em queimas experimentais com material combustível proveniente de Povoamento de Pinus, em três tipos de inclinações (0°, 22,5° e 45°) e com mesmo peso combustível para cada queima, observou-se a maior intensidade do fogo na inclinação de 45° e a menor intensidade na inclinação de 0°.

Mesmo não tendo influência de inclinação, os valores de intensidade do fogo foram superiores quando comparados com o estudo de Batista, Beutling e Ribeiro (2013), em queimas experimentais sob povoamento de *Pinus elliotii*, encontraram resultado de intensidade média do fogo de 63,791 kcal m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>. Coneglian et al. (2018), estudando os danos do fogo causados a um povoamento de *Eucalyptus urophylla*, verificou uma intensidade média de 423,48 a 630 kcal m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>.

Em um experimento de campo na Califórnia, Kobziar, Mcbride, Stephens (2009) mostraram intensidades de linha de fogo em duas queimadas prescritas em combustíveis em uma plantação de Pinheiros de Serra Nevada de 116 e 313 kcal m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente.

Wanthongchai et al. (2013), avaliando as características do comportamento do fogo em florestas dominadas por Pinheiros no Parque Nacional de Nam Nao, Tailândia, encontraram intensidade média de 627 kcal m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>. Valores de baixa à média intensidade do fogo foram verificados por Kreye et al. (2012) em florestas de Pinheiros no norte da Flórida, os quais constataram resultados que variaram de 43,73 a 184,63 kcal m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>.

#### **4.3.3 Tempo de Ignição**

Em relação ao tempo de ignição (Tabela 8), nota-se que houve interação entre o grau de inclinação e as regiões geográficas. Na inclinação 0°, as regiões de Pombal, Sousa, Cajazeiras, Patos e Itaporanga apresentaram o menor tempo de ignição, variando de 1,7 s a 2,2 s. O material combustível da região de Catolé do Rocha necessitou de um maior tempo para entrar em ignição com uma média de 3 s, por repetição.

**Tabela 8** – Tempo ignição (s), em média, para superfície plana e aclave com 25° de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019.

| Regiões         | 0°      | 25°     |
|-----------------|---------|---------|
| Sousa           | 2 Aba   | 2 Ba    |
| Pombal          | 1,7 Aa  | 1,5 ABa |
| Cajazeiras      | 2,2 ABb | 1 Aa    |
| Patos           | 2,2 ABb | 1,7 Ba  |
| Princesa Isabel | 2,3 Bb  | 1,8 Ba  |
| Itaporanga      | 2 Aba   | 2 Ba    |
| Catolé do Rocha | 3 Ca    | 3,2 Ca  |
| Média           | 2,2     | 1,9     |

Letras maiúscula são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra são iguais entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Na inclinação de 25°, o material combustível das regiões de Cajazeiras e Pombal foram estatisticamente superiores às demais, apresentando o tempo de ignição de 1 s e 1,5 s. Comportamento semelhante à inclinação 0° foi constatado na inclinação de 25°, sendo que o material combustível da região de Catolé do Rocha necessitou de maior tempo para entrar em ignição com o valor médio de 3,2 s.

Somente os materiais combustíveis provenientes das regiões de Cajazeiras, Patos e Princesa Isabel registraram diminuição no tempo de ignição, de acordo com o aumento da inclinação, principalmente o material combustível da região de Cajazeiras que diminuiu 1,2 s na inclinação de 25°. O material combustível das demais regiões não apresentou diminuição no tempo de ignição com o aumento da inclinação. Os resultados médios do tempo de ignição na superfície plana na região de Pombal (1,7 s) e na inclinação de 25° na região de Cajazeiras (1 s) apresentaram os menores valores de forma em geral.

Os menores valores do tempo de ignição no material combustível proveniente das regiões de Cajazeiras e Pombal podem estar relacionados ao diâmetro do material, que apresentou valores inferior a 0,7 cm, o que favorece o rápido desenvolvimento das chamas. Já na região de Catolé do Rocha, o material apresentou diâmetro mais elevado, dificultando o início da ignição do material combustível.

Segundo Gill e Zylstra (2005), o tempo de ignição do material combustível varia de acordo com a composição das espécies, espessura do material e o teor de umidade, o que justifica que o material combustível presente em todas as regiões geográficas se difere, principalmente, na composição das espécies. Apesar de pertencerem ao mesmo bioma, as espécies podem variar de uma região para outra, produzindo material combustível de medidas variáveis e teor de umidade diferenciado.

Mesmo apresentando essas diferenças significativas tanto na inclinação 0° como na de 25°, examinou-se que a frequência de ignição foi de apenas uma vez para que o material combustível desenvolvesse a combustão em todas as regiões geográficas.

A frequência de ignição de apenas uma vez para o material combustível de cada região geográfica confirma que o tempo médio de ignição tem grande correlação com o teor de umidade e, conseqüentemente, quanto menor a frequência de tentativa de ignição, maior o desenvolvimento das variáveis do comportamento do fogo, dificultando, assim, a prevenção e o combate de incêndios florestais nas regiões geográficas do sertão da Paraíba.

Vasconcelos (2019), avaliando a inflamabilidade de espécies da Caatinga para uso em cortinas de segurança no semiárido paraibano, constatou que as cactáceas e favela proporcionaram a não ignição e sua inflamabilidade foi nula devido ao alto teor de umidade do material mesmo no período seco.

Dimitrakopoulos, Mitsopoulos e Gatoulas (2010), avaliando a probabilidade de ignição e a umidade de extinção em materiais combustíveis no Mediterrâneo, observaram que o teor de umidade acima de 30% interferiu significativamente na ignição do material.

#### **4.3.4 Duração da queima**

Na tabela 9, pode-se observar a interação entre as regiões geográficas e o grau de inclinação. Na inclinação 0°, não houve diferença para a duração da queima no material combustível em cada região avaliada. No entanto, na inclinação de 25°, registrou-se diferença, sendo o material combustível proveniente de Catolé do Rocha e Itaporanga, onde se registrou, em média, maior duração da queima, com 929,6 s e 927,6 s, respectivamente.

**Tabela 9** – Duração da queima (s), em média, para superfície plana e aclave com 25° de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019.

| Regiões         | 0°       | 25°      |
|-----------------|----------|----------|
| Sousa           | 359 Aa   | 482,2 Aa |
| Pombal          | 364,2 Aa | 266,8 Aa |
| Cajazeiras      | 379,2 Aa | 277,8 Aa |
| Patos           | 313,6 Aa | 438,6 Aa |
| Princesa Isabel | 181,6 Aa | 495,6 Ab |
| Itaporanga      | 224,4 Aa | 927,6 Bb |
| Catolé do Rocha | 269,4 Aa | 929,6 Bb |
| Média           | 298,8    | 545,5    |

Letras maiúscula são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra são iguais entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

O ocorreu um aumento na duração de queima na inclinação de 25° no material combustível das regiões de Princesa Isabel, Itaporanga e Catolé do Rocha e, no material combustível das demais regiões, o aumento ou diminuição não foi significativo. Este aumento na duração de queima contradiz com alguns estudos, pois, de acordo com Soares e Batista (2007), à medida que o grau de inclinação aumenta, diminui a duração da queima. Isso acontece devido à maior liberação de calor, desidratando mais rapidamente o material combustível da parte superior, promovendo uma propagação mais intensa.

Contudo, esse aumento da duração da queima na inclinação de 25° pode estar relacionado à ausência de vento no momento da queima, interferindo na transferência de calor do material localizado na parte inferior da mesa para a parte superior. Além disso, os materiais combustíveis das regiões de Itaporanga e Catolé do Rocha foram distribuídos em todas as classes diamétricas, o que pode ter influenciado também o aumento da duração do tempo de queima.

Segundo McArthur (1967), o tempo de duração de queima está relacionado com a quantidade de material combustível disponível e da intensidade do fogo. Além disso, pode-se justificar que todas as áreas preservadas das regiões geográficas estão propícias ao consumo do total do material combustível no piso florestal. Isso

causa severos danos ao caule e às copas das árvores das espécies arbóreas presentes nas áreas.

Para o meio ecológico, quanto maior o tempo de permanência do fogo em determinada área, maiores serão os danos causados à vegetação, biota do solo e aos animais silvestres. Além disso, a vegetação da caatinga é classificada como ecossistema independente do fogo, onde o fogo normalmente exerce um pequeno papel ou é desnecessário, uma vez que a maioria das espécies presentes nesse bioma não apresentam adaptações de resistência ao fogo, podendo causar uma alta mortalidade ou danos severos à vegetação.

Trabalhos escassos relacionados às espécies da Caatinga são resistentes ao tempo de queima e podem ser utilizados como cortinas de segurança contra incêndios florestais. Vale ressaltar que algumas espécies na Caatinga contêm mecanismo de armazenamento de água, o que dificulta a permanência do fogo em determinado lugar. Dupuy et al. (2010), em queimas experimentais em laboratório, utilizando material combustível de *Pinus halepensis* ( $1 \text{ kg m}^{-2}$ ) sob diferentes tipos de inclinações ( $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ), verificaram que o tempo de residência das chamas aumentou nas inclinações de  $20^\circ$  e  $30^\circ$ .

Silva Neto (2017), avaliando o comportamento do fogo em diferentes espécies da Caatinga, encontrou tempo médio de queima que variou de 320 s a 700 s em queimas experimentais de  $1 \text{ m}^2$ . Oliveiro (2016), estudando as variáveis do comportamento do fogo em área de vereda, Cerrado e Plantio de Eucalipto, examinou o tempo total de combustão de 336 s para o material de vereda seca, 546 s para o material de Cerrado e 496 s para o material proveniente de Eucalipto. Mesmo sendo pesquisas em outros tipos de vegetação, observam-se algumas similaridades do tempo de queima com material combustível do presente estudo.

#### **4.3.5 Altura das chamas**

Em relação à altura das chamas (Tabela 10), ocorreu uma interação entre o grau de inclinação e as regiões geográficas. Na inclinação plana, o material combustível da região de Pombal e o da região de Itaporanga apresentaram altura média das chamas de 1,23 m e 1,09 m, respectivamente, diferindo-se estatisticamente das demais regiões. Já o material combustível da região de Catolé do Rocha destacou-se com a menor altura das chamas com 0,45 m.

**Tabela 10** — Altura das chamas (m), em média, para superfície plana e aclave com 25° de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019.

| Regiões         | 0°       | Classificação | 25°      | Classificação |
|-----------------|----------|---------------|----------|---------------|
| Sousa           | 0,73 Ca  | Alta          | 0,78 CDa | Alta          |
| Pombal          | 1,23 Ab  | Alta          | 1,51 Aa  | Muito alta    |
| Cajazeiras      | 0,81 Cb  | Alta          | 0,97 Ba  | Alta          |
| Patos           | 1,03 Ba  | Alta          | 1,01 Ba  | Alta          |
| Princesa Isabel | 0,82 Ca  | Alta          | 0,69 Db  | Alta          |
| Itaporanga      | 1,09 ABa | Alta          | 0,91 BCb | Alta          |
| Catolé do Rocha | 0,45 Db  | Média         | 0,62 Da  | Alta          |
| Média           | 0,88     |               | 0,93     |               |

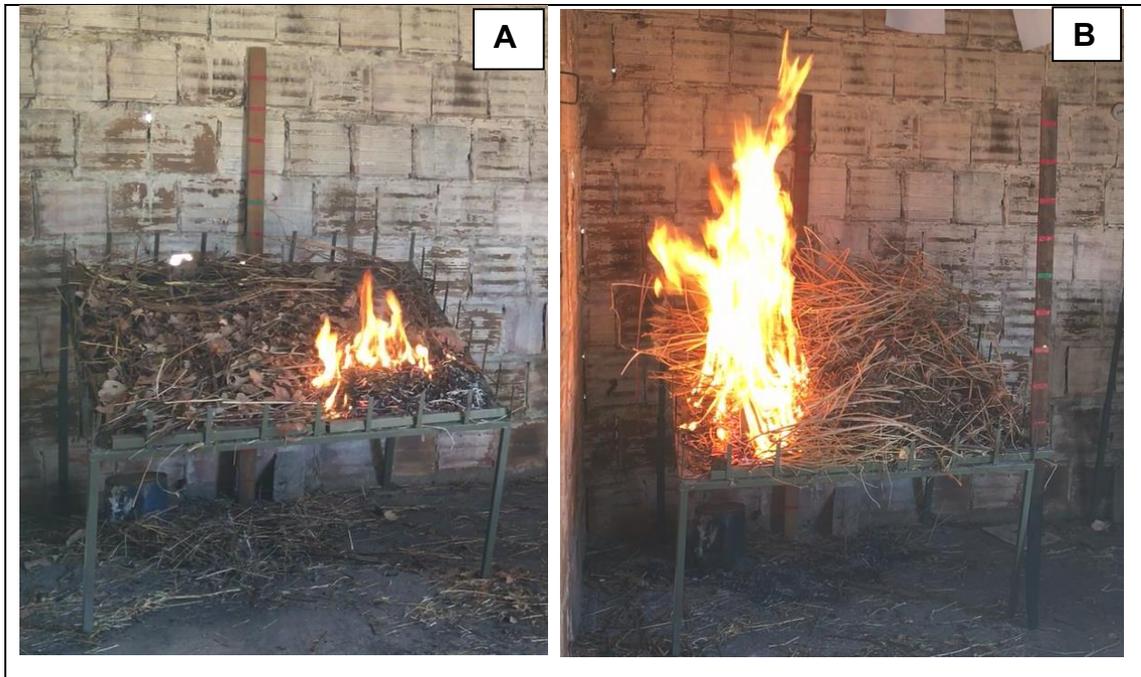
Letras maiúscula são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra são iguais entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Ressalva-se que, na inclinação de 25°, a altura das chamas do material combustível da região de Pombal foi estatisticamente superior, com o valor médio de 1,51 m, e a altura da chama nos materiais combustíveis provenientes das regiões de Princesa Isabel, Catolé do Rocha e Sousa apresentaram os menores valores, em média, com 0,69 m, 0,62 m e 0,78 m, respectivamente.

Somente no material combustível das regiões de Pombal, Cajazeiras e Catolé do Rocha foi constatado aumento na altura das chamas na inclinação de 25°. No material combustível da região de Pombal, houve um aumento de quase 30 cm na altura das chamas na inclinação de 25°. Em contrapartida, o material combustível das regiões de Sousa e Patos não apresentou aumento ou diminuição significativa nas duas inclinações.

Mesmo apresentando o aumento na altura das chamas na inclinação de 25°, o material combustível da região de Catolé do Rocha (Figura 11) registrou o menor valor médio de altura das chamas. Isso pode ter ocorrido por causa do tipo de material combustível, pois, quando foi distribuído na mesa de combustão, apontou uma compactação do material combustível, dificultando a transferência de calor de uma partícula para outra, principalmente no início da propagação.

**Figura 11** – Altura das chamas do material do combustível coletado na região de Catolé do Rocha (A) e da região de Pombal (B).



Fonte: Justino (2020).

Entretanto, com base nos resultados, na inclinação de 25°, o material combustível da região de Pombal apresentou valor médio da altura das chamas superior aos demais. Isso justifica que a quantidade de material combustível e inclinação, mesmo com a ausência do vento, influenciou diretamente o aumento das chamas desse material.

As diferenças nas alturas das chamas avaliadas nesse estudo podem estar associadas ao arranjo e à carga do material combustível. Conforme Serger (2015), essas características no material combustível provocam distribuição heterogênea do fogo na área de ocorrência e altera a altura das chamas.

Para Soares e Batista (2007), é de fundamental importância a obtenção da altura das chamas em estudos do comportamento do fogo, pois proporciona uma boa estimativa da intensidade do fogo e da combustibilidade. O mesmo autor relata que sua obtenção é difícil por ser um fenômeno pulsante, extremamente transitório e ocasional.

De acordo com a classificação do índice de combustibilidade adaptado por Petriccione (2006), na superfície 0°, somente o material combustível da região de Catolé do Rocha apresentou média combustibilidade por estar na escala de 0,31 m a

0,60 m, as demais foram classificadas de alta combustibilidade, pois encontram-se no intervalo entre 0,61 a 1,20 m. Na inclinação de 25°, somente o material combustível da região de Pombal foi classificada de combustibilidade “muito alta”, visto que a altura das chamas foi maior que 1,20 m, e as demais foram classificadas de alta combustibilidade.

Observa-se que o material combustível de todas as regiões avaliadas apresentou índice de combustibilidade de média a muito alta. Isso justifica que os materiais combustíveis referentes às regiões do presente estudo são propícios a severos danos, ocasionando o consumo parcial ou total das árvores jovens, liberando grande quantidade de calor. Além disso, a espessura da manta do material combustível na mesa de combustão não ultrapassou 15 cm e, mesmo assim, provocou altura elevada das chamas.

O material combustível coletado em todas as regiões apresenta a capacidade de manter a sustentabilidade de queima e a combustibilidade dos materiais, podendo causar intensos incêndios florestais, sendo difíceis de serem combatidos. Por se tratar de uma região que utiliza o fogo na limpeza de áreas para a agricultura, em muitos casos, o fogo sai do controle devido à fácil capacidade de sustentabilidade e combustibilidade.

O mesmo comportamento da interação entre a declividade e o material combustível foi encontrado por Battaglin (2012), que, estudando queimas experimentais de material de *Pinus*, observou que à medida que a inclinação aumentava, proporcionava o maior desenvolvimento das chamas. Jordain (2015), avaliando o comportamento do fogo sob diferentes declividades em combustíveis de povoamento de *Eucalyptus grandis*, observou que não existiu uma relação direta entre a declividade e a altura das chamas, ou seja, inclinações maiores proporcionaram menores alturas das chamas.

Kreye, Varner e Knapp (2011), estudando o comportamento do fogo em materiais combustíveis compostos por *Arctostaphylos manzanita* Parry e *Ceanothus velutinus* Dougl em queimais laboratoriais nos Estados Unidos, verificaram que a altura das chamas variou de 0,54 a 0,95 m.

Parsons et al. (2015), analisando o comportamento do fogo de 17 espécies mais abundantes em uma floresta de transição em Mato Grosso, Brasil, ratificaram a altura máxima das chamas de alcance 0,52 a 1,08 m.

#### 4.3.6 Calor liberado por unidade de área

Os valores médios de calor liberado por unidade de área (Tabela 11) apresentou o mesmo comportamento da intensidade do fogo e foi constatado que esta não possui interação significativa entre o grau de inclinação e as regiões geográficas. Contudo, somente o material combustível das regiões geográficas influenciou o calor liberado.

**Tabela 11** — Calor liberado por unidade de área (kcal m<sup>-2</sup>), em média, para superfície plana e aclave com 25° de inclinação, em queimas com materiais de diferentes regiões geográficas no sertão paraibano, 2019.

| Regiões         | 0°      | 25°    | Média     |
|-----------------|---------|--------|-----------|
| Sousa           | 5319,2  | 4068,1 | 4693,6 B  |
| Pombal          | 10813,7 | 8867,6 | 9840,7 A  |
| Cajazeiras      | 6468,9  | 5864,3 | 6166,6 B  |
| Patos           | 4389,1  | 5947,0 | 5168,1 B  |
| Princesa Isabel | 3612,8  | 3355,8 | 3484,3 B  |
| Itaporanga      | 10991,2 | 9377,6 | 10184,4 A |
| Catolé do Rocha | 10932,6 | 8442,5 | 9687,6 A  |
| Média           | 7503,9  | 6560,4 | 7032,2    |

Letras maiúscula são fatores de comparação das áreas. Médias seguidas de mesma letra são iguais entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Foi constatada uma diferença significativa, sendo que o material combustível das regiões de Itaporanga, Pombal e Catolé do Rocha apresentaram os maiores valores, diferente dos demais. O material combustível da região de Itaporanga liberou em torno 10184,4 kcal m<sup>-2</sup>, seguido da região de Pombal com 9840,7 kcal m<sup>-2</sup> e Catolé do Rocha com 9687,6 kcal m<sup>-2</sup>.

Os maiores valores nas regiões de Itaporanga, Pombal e Catolé Rocha estão relacionados com a intensidade do fogo, pois essas regiões apresentaram os maiores valores de intensidade do fogo. Além disso, a velocidade de propagação influenciou diretamente o calor liberado, pois essas mesmas regiões proporcionaram valores médios de velocidade de propagação.

Já nos materiais combustíveis das regiões de Sousa, Cajazeiras, Patos e Princesa Isabel observaram-se valores inferiores, comparado com as outras três regiões. Mesmo assim, a quantidade de calor liberado nessas áreas é considerada alta. Vale destacar que, quanto maior o calor liberado por unidade de área, maior serão os danos causados ao ecossistema.

Os elevados valores de calor liberado por unidade de área, observados nos materiais combustíveis de todas as regiões geográficas, estão relacionados ao baixo teor de umidade do material combustível. Possell e Bell (2012), avaliando a influência do teor de umidade do combustível na combustão da folhagem de três espécies de *Eucalyptus*, observaram que, à medida que aumentava o teor de umidade, reduzia o pico de liberação de calor e o calor efetivo de combustão.

Quando avaliada a intensidade do fogo, o material combustível das regiões de Sousa, Cajazeiras, Patos e Princesa Isabel apresentou valores inferiores em relação às demais regiões. No entanto, ocorreu um aumento no calor liberado por unidade de área, o que está relacionado à velocidade de propagação. Johnson (1982) relata que, quanto menor a velocidade de propagação do fogo, maior a quantidade de calor retido por unidade de área.

Segundo Ribeiro (1997), a energia liberada por unidade de área é responsável pelos efeitos imediatos sobre as plantas e deve ser usada para medir os efeitos do fogo provocados na superfície e relacioná-los com os produzidos no solo e na camada de matéria orgânica.

Houve dificuldade de comparar os resultados do calor liberado por unidade de área com outros trabalhos realizados na Caatinga, devido a não existência de pesquisas que avaliassem este parâmetro. No entanto, conhecer a quantidade de calor liberado durante a queima permite estimar a magnitude dos danos que podem causar ao ecossistema e determinar medidas preventivas que auxiliam no manejo dos recursos naturais.

Os valores encontrados nesta pesquisa são considerados altos quando comparados ao estudo de Camargos et al. (2015) que, em um trecho de floresta estacional semidecídua, no município de Viçosa, Minas Gerais, observaram uma variação de calor liberado por unidade de área de 1063 kcal m<sup>-2</sup> a 3789 kcal m<sup>-2</sup>, sendo semelhante somente com a região de Princesa Isabel.

Serger et al (2013), avaliando o comportamento do fogo em queimas controladas de vegetação de estepe no município de Palmeira, no estado do Paraná,

constatarem valores de 4.030,88 kcal m<sup>-2</sup> nas queimas a favor do vento e de 4.373,45 kcal m<sup>-2</sup> contra o vento, sendo esses resultados superiores ao da região de Princesa Isabel.

Resultados semelhantes aos das regiões de Itaporanga, Pombal e Catolé do Rocha foram constatados por Grodzki (2000) em uma floresta de bracatinga (*Mimosa scabrella* BENTH.) manejada sob o sistema agroflorestal, em Colombo, PR, que encontrou resultados de calor liberado por unidade por área que variaram entre 8.851 e 10.396 Kcal m<sup>-2</sup>. Torres et al (2018), avaliando o comportamento do fogo em área de híbridos de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* com 10 anos de idade, observaram uma média de calor liberado de 6282,8 Kcal m<sup>-2</sup>.

Os resultados de todas as regiões do presente estudo foram superiores quando comparados com Butler et al. (2015), que verificaram baixos valores de calor liberado em queimas na Floresta de Pinheiros, localizada em Missoula (EUA), com resultados de 66,33 Kcal m<sup>-2</sup>.

A queima do material combustível nas regiões estudadas, apresentou destaque nas variáveis da velocidade de propagação do fogo, altura das chamas e intensidade do fogo. Com isso, de acordo com a classificação de Shakesby e Doerr (2006), somente a região de Catolé do Rocha foi de moderada severidade e as demais, de baixa severidade (Tabela 12).

**Tabela 12** – Severidade para o material combustível das diferentes regiões do estado da Paraíba, 2019.

|            | Velocidade do fogo   |       | Intensidade                             |       | Altura das chamas |      | Severidade |          |
|------------|----------------------|-------|---|-------|-------------------|------|------------|----------|
|            | (m s <sup>-1</sup> ) |       | (kcal m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) |       | (m)               |      |            |          |
|            | 0°                   | 25°   | 0°                                      | 25°   | 0                 | 25   | 0          | 25       |
| Sousa      | 0,054                | 0,045 | 316,5                                   | 182,9 | 0,73              | 0,78 | Baixa      | Baixa    |
| Pombal     | 0,044                | 0,043 | 474,7                                   | 379   | 1,23              | 1,51 | Baixa      | Baixa    |
| Cajazeiras | 0,021                | 0,012 | 128,6                                   | 75,9  | 0,81              | 0,97 | Baixa      | Baixa    |
| Patos      | 0,037                | 0,024 | 175                                     | 144,6 | 1,03              | 1,01 | Baixa      | Baixa    |
| Princesa   | 0,036                | 0,031 | 128,2                                   | 106,6 | 0,82              | 0,69 | Baixa      | Baixa    |
| Itaporanga | 0,034                | 0,035 | 371,7                                   | 326,5 | 1,09              | 0,91 | Baixa      | Baixa    |
| Católé     | 0,089                | 0,102 | 987,2                                   | 866,3 | 0,45              | 0,62 | Moderada   | Moderada |

A vegetação da região de Catolé do Rocha na superfície plana e na inclinação de 25° está sujeita ao consumo total do material combustível na superfície como também ao consumo da vegetação arbustiva até 4 metros de altura. Isso indica que, em caso de incêndio florestal, são necessários métodos de combate indireto, pois apresentou alta intensidade; em caso de combate direto, pode ocasionar danos às equipes de combate.

Para que haja queima controlada para agricultura ou pastagem na região de Catolé do Rocha, é necessário realizar aceiros com largura máxima para o controle do fogo no momento da queima. Além disso, torna-se urgente a prevenção de incêndios para evitar sérios danos à flora e à fauna dessa região e também conscientizar a população residente próximo às áreas preservadas para o uso da queimada controlada de forma correta.

As demais regiões estão sujeitas ao consumo total do material combustível localizado na superfície e também os arbustos com altura inferior a 2 metros. O método de combate de incêndios nestas áreas pode ser realizado de forma indireta, com uso de aceiros e equipamentos para bombeamento de água e máquinas mecanizadas para construções de aceiros.

A queima controlada, principalmente na região de Patos e Cajazeiras, requer cuidados devido ao maior número de habitantes. Com isso, é necessário que haja construções de aceiros, monitoramento no momento da queima e técnicas de combate de forma eficiente caso o fogo fuja do controle.

#### **4.4 Análise química**

As variações entre as concentrações de cada nutriente, determinadas antes e depois da queima, foram pouco evidentes para os teores de N e Mg e acentuadas para os de P, K e Ca (Tabela 13).

Observa-se que o nitrogênio, mesmo após a queima do material combustível, não houve aumento nas concentrações em todos os materiais das regiões estudadas. Essa diminuição da quantidade de nitrogênio após a queima está relacionada à fácil volatilização e transferência desse material para a atmosfera pela combustão do material. Para Soares e Batista (2007), isto não significa que a quantidade disponível

de N para as plantas diminua, pois a maior parte do nitrogênio perdida na queima seria também perdida na decomposição natural devido ao lento processo.

O fósforo apresentou variação diferente entre a condição antes e depois da queima. Em todas as regiões, ocorreu o aumento significativo desse elemento após a queima, destacando a região de Cajazeiras onde a concentração aumentou de 0,21% para 50,33%, ou seja, aumentou mais 50% na disponibilidade do Fósforo.

**Tabela 13** – Teores de N, P, K, Ca e Mg em %, em média, resultantes da análise química realizada para o material combustível, antes e depois da queima.

|            |        | Pombal             | Itaporanga         | Catolé             | Patos              | Princesa           | Sousa              | Cajazeiras         |
|------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Nitrogênio | Antes  | 0,83 <sup>ns</sup> | 0,60 <sup>ns</sup> | 0,85 <sup>ns</sup> | 0,46 <sup>ns</sup> | 1,03 <sup>ns</sup> | 0,81 <sup>ns</sup> | 1,02 <sup>ns</sup> |
|            | Depois | 0,30 <sup>ns</sup> | 0,55 <sup>ns</sup> | 2,94 <sup>ns</sup> | 0,20 <sup>ns</sup> | 0,42 <sup>ns</sup> | 0,15 <sup>ns</sup> | 0,42 <sup>ns</sup> |
| Fósforo    | Antes  | 0,30*              | 0,04*              | 0,07*              | 0,08*              | 0,07*              | 0,12*              | 0,21*              |
|            | Depois | 1,00*              | 0,45*              | 0,35*              | 0,16*              | 0,44*              | 0,41*              | 50,33*             |
| Potássio   | Antes  | 0,94*              | 0,79 <sup>ns</sup> | 0,44*              | 0,81*              | 1,15 <sup>ns</sup> | 0,67 <sup>ns</sup> | 1,10*              |
|            | Depois | 3,48*              | 2,23 <sup>ns</sup> | 3,06*              | 3,44*              | 2,83 <sup>ns</sup> | 1,12 <sup>ns</sup> | 5,10*              |
| Cálcio     | Antes  | 0,98*              | 1,25*              | 2,21*              | 0,78*              | 1,30*              | 0,70 <sup>ns</sup> | 1,12*              |
|            | Depois | 8,90*              | 11,07*             | 7,58*              | 5,71*              | 6,24*              | 2,27 <sup>ns</sup> | 7,30*              |
| Magnésio   | Antes  | 0,14 <sup>ns</sup> | 0,13 <sup>ns</sup> | 0,14 <sup>ns</sup> | 0,12 <sup>ns</sup> | 0,23*              | 0,14 <sup>ns</sup> | 0,21*              |
|            | Depois | 1,26 <sup>ns</sup> | 1,07 <sup>ns</sup> | 0,96 <sup>ns</sup> | 1,78 <sup>ns</sup> | 2,09*              | 0,63 <sup>ns</sup> | 2,05*              |

Pares de média para cada elemento, seguidas de “\*” diferem estatisticamente pelo teste de T ao nível de significância de 5% (compara situação antes e depois da queima).

Em relação ao potássio, somente o material das regiões de Itaporanga, Princesa Isabel e Sousa não apresentaram aumento significativo na concentração após a queima. Nas regiões de Pombal, Catolé do Rocha e Patos, a disponibilidade de potássio aumentou em torno de 2,5%, enquanto que, na região de Cajazeiras, o aumento foi de 4%.

Segundo Soares, Batista e Tetto (2017), fósforo e potássio são elementos trocáveis de difícil volatilização, são mais abundantes por um certo período de tempo depois da queima do material combustível e podem estimular o desenvolvimento da vegetação desde que não sejam lixiviados. Para Rheinheimer et al. (2003), ocorre aumento subsequente desses dois elementos após a queima, seguido de um

decréscimo abrupto de dias após a queima; em alguns casos, podem ser lixiviados ou carregados pelas enxurradas.

Somente no material da região de Sousa foi constatado que não houve aumento significativo na concentração de cálcio após a queima; as demais regiões apresentaram aumento significativo. Nas regiões de Patos, Princesa Isabel, Catolé do Rocha e Cajazeiras, o aumento foi em torno de 5 a 6% e as regiões de Pombal e Itaporanga destacaram-se com o maior aumento na concentração, acima de 8%. O aumento de cálcio depois da queima está relacionado à liberação de óxidos nas cinzas, já que é um elemento de difícil volatilização, o que influencia o aumento desse elemento.

O magnésio apresentou aumento significativo após a queima. Apenas nas regiões de Princesa Isabel e Cajazeiras esse aumento foi em torno de 2%. Nas outras regiões, os teores de magnésio não tiveram diminuição, e sim um pequeno acréscimo após a queima; isso significa disponibilidade do nutriente a curto prazo de tempo. Para Coutinho (1990), após a queima, ocorre aumento na concentração de magnésio, devido ser elemento catiônico, de difícil volatilização no momento da queima e pode permanecer por um certo período de tempo, dependendo das condições do solo.

Estudos realizados por Taiz et al. (2017) indicam que a concentração média de elementos essenciais da matéria seca de um vegetal varia de 2,0 a 3,5% para o nitrogênio, 0,12 % a 0,22% fósforo, 1,5 a 3,0% potássio, 1,0 a 2,5% cálcio e 0,2 a 0,4% para o magnésio. Isto indica que as concentrações de nitrogênio, fosforo, encontradas nos materiais de todas as regiões antes da queima estão fora da faixa essencial.

Contudo, o potássio mostrou valores dentro da faixa apenas no material das regiões de Cajazeiras e Princesa Isabel e nas demais regiões encontrava-se abaixo da faixa essencial. Em relação ao cálcio, somente o material das regiões de Pombal, Sousa e Patos apresentou valores abaixo de 1%, e a concentração do Magnésio foi somente essencial no material das regiões de Princesa Isabel e Cajazeiras.

Observa-se que, no material, após a queima, as concentrações de potássio, Cálcio e Magnésio de todas as regiões foram superiores quando comparadas com a faixa indicada pela Embrapa. Já a concentração de nitrogênio não atendeu a faixa essencial mesmo depois da queima, e o fósforo foi somente superior na região de Cajazeiras.

O aumento da quantidade de nutrientes, após a queima do material combustível, está relacionado principalmente à intensidade do fogo, pois quanto menor a intensidade, maior a quantidade de nutrientes disponível no solo para as plantas. Redin et al. (2011) explicam que o aumento na mineralização da matéria orgânica depende do tipo de material combustível, intensidade do fogo e duração da queima em curto intervalo de tempo. O mesmo autor relata que incêndios constantes em uma mesma área com alta intensidade provoca sérios distúrbios à ciclagem de nutrientes devido à falta de vegetação na área queimada.

No entanto, o efeito químico imediato da queima é a liberação de elementos da forma inorgânica para mineral tornar-se disponível para as plantas. Mas o aproveitamento pode ser pouco devido à fácil perda por percolação ou lixiviação através do solo pelas chuvas, como também pelo escoamento superficial. Os resultados do comportamento do fogo de todas as regiões estudadas comprovam que essas áreas preservadas estão sujeitas a grandes perdas de nutrientes devido à alta intensidade e elevado tempo de duração da queima do material combustível.

Os resultados da análise química desse estudo foram semelhantes ao estudo de Ribeiro e Soares (1998), que, avaliando o efeito do fogo, antes e após a queima em um povoamento de *Eucalyptus viminalis*, observaram que os teores de nitrogênio, Fósforo e Magnésio diminuíram após a queima, e o cálcio e potássio aumentaram após a queima do material.

Dick et al. (2008), medindo a concentração de nitrogênio em pastagem queimada, encontraram valores muito baixos semelhantes à quantidade de nitrogênio desse estudo. Estudos realizados por Melo et al. (2006), em área sob diferentes usos e após a queima, observaram maior quantidade de cálcio, magnésio e potássio após a queima do material combustível na camada superficial do solo.

Resultados da concentração de Nitrogênio do estudo de Fierro e Castaldi (2011) se diferem desse estudo. Em solo no Mediterrâneo, perturbado por incêndios experimentais, verificou-se o aumento significativo de nitrogênio do solo após a queima. O mesmo autor constatou um efeito prejudicial do fogo nas atividades microbianas depois da queima e, após três meses, haviam recuperado as atividades biológicas na camada superficial do solo. Kim et al. (2017), analisando o impacto do manejo tradicional do fogo nos reservatórios de carbono e nitrogênio do solo em uma floresta montanhosa no sul da Etiópia, constataram que o nitrogênio foi significativamente maior na área queimada.

A queima da vegetação caatinga em áreas preservadas para práticas de agricultura e pastagem podem favorecer o desenvolvimento do estrato herbáceo para a pecuária e o cultivo de plantas agrícolas no primeiro ano. No entanto, para longo prazo, essa disponibilidade de nutrientes diminui e, conseqüentemente, provoca redução da produção agrícola e do pastejo.

## 5 CONCLUSÃO

As áreas de caatinga preservada nas diferentes regiões geográficas do sertão da Paraíba responderam, de maneira diferenciada, ao comportamento do fogo devido aos diferentes tipos de materiais e quantidade de material combustível disponível, com destaque para o maior acúmulo de material nas regiões de Pombal, Itaporanga e Catolé do Rocha.

Quanto ao comportamento do fogo, mesmo não detectando interação entre o material combustível e o grau de inclinação na queima, todas as áreas avaliadas estão sujeitas a incêndios de alta intensidade, devido ao baixo teor de umidade e alto poder calorífico do material combustível.

O material combustível das regiões geográficas apresentou maior distribuição diamétrica na primeira classe, indicando que o material dessas regiões está propício à fácil ignição e propagação dos incêndios florestais. No entanto, a região de Catolé do Rocha destacou-se, pois apresentou distribuição do material em todas as classes, comprovando que, nesta área, podem ocorrer maiores danos à vegetação.

A queima do material combustível da região de Catolé do Rocha necessitou de um maior tempo de ignição e menores valores de altura das chamas, contudo tal material destacou-se com maiores valores na velocidade de propagação do fogo, intensidade do fogo e calor liberado por unidade de área.

O baixo teor de cinzas e o poder calorífico acima de  $4.000 \text{ Kcal kg}^{-1}$  no material avaliado neste estudo justifica que todos os materiais combustíveis das regiões geográficas são propícios para a geração de energia e alta reação da combustão, favorecendo uma maior intensidade do fogo.

Os altos teores dos nutrientes P, K e Ca, após a queima, comprovam a disponibilidade a curto prazo no solo, justificando que as queimas para pastagem e agricultura no primeiro ano são eficientes, mas, a longo prazo, causam empobrecimento do solo.

Medidas urgentes devem ser tomadas para evitar os incêndios florestais nas áreas preservadas, a partir da conscientização da população que reside próximo a estas áreas, como também o desenvolvimento de novos estudos que busquem medidas de prevenção e combate aos incêndios florestais.

## REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2019. **Meteorologia-chuvas**. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=2018-06-15&produto=municipio&periodo=anual> > Acesso em: 17 de junho de 2019.
- ALONSO, J. M.; LELES, P. S. S.; FERREIRA, L. do N.; OLIVEIRA, N. S. A. Aporte de serrapilheira em plantio de recomposição florestal em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 25, n.1, p.1-11, 2015.
- ALMEIDA, G.; BRITO, J. O.; PERRE, P. Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: the potential of mass loss as a synthetic indicator. **Bioresource Technology**, Essex, v.101, n.24, p.9778-9784, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410012149> > Acesso em: 25 de maio de 2018.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES, J. L.; GONÇALVES, J. L. M.; Gerd Sparovek. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Gebruder Borntraegerv. 22, n. 6, p.711–728, 2014. Disponível em: < [http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares\\_etal\\_2014.pdf](http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf) > Acesso em: 20 de maio de 2018.
- ALVES, A. R. **Quantificação de biomassa e ciclagem de nutrientes em áreas de vegetação de caatinga no município de Floresta, Pernambuco**. 2011, 116f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.
- ALVES, A. R.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; HOLANDA, A. C. Aporte e decomposição de serrapilheira em área de Caatinga, na Paraíba. **Revista de biologia e ciência da terra**. João Pessoa, v. 6, n. 2, p. 194-203, 2006.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustiva- arbórea de uma área de caatinga do Sertão, RN, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 615-623, 2009.
- ARAÚJO FILHO, J.A.; BARBOSA, T.M.L. Manejo agroflorestal de Caatinga: uma proposta de sistema de produção. In: OLIVEIRA, T.S.; ASSIS JUNIOR, R.N.; ROMERO, R.E.; SILVA, J.R.C. **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Fortaleza: UFC, p. 47-57, 2000.
- ARAÚJO, L. V. C.; PAULO, M.C.S.; PAES, J. B. Características dendrométricas e densidade básica da jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir.) de duas regiões do estado da Paraíba. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v.20, n.1, p.89-96, 2007. Disponível em: < <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/423/pdf> > Acesso em: 20 de junho de 2018.

ASSIS, F. R. V.; MENDONÇA, I. F. C.; SILVA, J. E. R.; LIMA, J. R. Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. **Floresta**. Paraná, v. 44, n. 1, p. 133 - 142, 2014. Disponível em:

<[http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/14636/Revista\\_Floresta\\_v44\\_n1\\_p133-142\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/14636/Revista_Floresta_v44_n1_p133-142_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 12 de maio de 2018.

ANDREU, A. G.; SHEA, D. PARRESOL, B. R.; OTTMAR, R. D. Evaluating fuel complexes for fire hazard mitigation planning in the southeastern United States. **Forest Ecology and Management**. Melbourne v. 262, n. 9, p. 1659 - 1894, 2011.

Disponível em:

<[https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2012/ja\\_2012\\_andreu\\_001.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2012/ja_2012_andreu_001.pdf)>. Acesso: 11 de abril de 2018.

BATISTA, A. C. **Incêndios florestais**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1990. 115p. Disponível em: <<http://www.floresta.ufpr.br/firelab/wp-content/uploads/2013/09/artigo07.pdf>>. Acesso em: 15 de maio de 2018.

BATISTA, A.C.; BEUTLING, A.; PEREIRA, J.F. Estimativa do Comportamento do Fogo em Queimas Experimentais Sob Povoamentos de *pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.5, p.779-787, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v37n5/01.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2018.

BAKKE, E. A. **Quantificação do material combustível florestal e comportamento do fogo de diferentes ambientes na Paraíba**. 2014. 34f. Monografia (Graduação) Curso de Engenharia Florestal. CSTR/UFCG, Patos – PB, 2014.

BATTAGLIN, D. **Combate a incêndio florestal**: influência da inclinação do terreno na propagação do incêndio em condições de laboratório. 2012. 64 f. Monografia (Curso de formação de Oficiais do Corpo de Bombeiro Militar) – Centro de Ensino Bombeiro Militar, Academia Bombeiro Militar, Santa Catarina.

BEUTLING, A. Fire behavior modeling based on simulated field plots. **Forest Fire**, London, v. 158, p. 27-37, 2012.

BEUTLING, A. **Modelagem do comportamento do fogo com base em experimentos laboratoriais e de campo**. 2009. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

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.

BYRAM, G. M. **Combustion of forest fuels**. In: Davis, Kenneth P., ed. Forest fire control and use. New York: McGraw-Hill Book Co. 1959. Disponível em:<[https://www.frames.gov/documents/behavplus/publications/Byram\\_1959\\_CombustionOfForestFuels.pdf](https://www.frames.gov/documents/behavplus/publications/Byram_1959_CombustionOfForestFuels.pdf)> Acesso em: 29 de maio de 2018.

BROWN, A. A.; DAVIS, K. P. **Forest fire: control and use**. 2. ed. New York: McGraw Hill Book, 1973.

BROWN, J. K.; OBERHEU, R. D.; JOHNSTON, C. M. **Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West**. Odgen, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1982. 48p. (General Technical Report INT-129). Disponível: < [https://www.fs.fed.us/rm/pubs\\_int/int\\_gtr129.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr129.pdf)> Acesso em 09 de abril de 2018.

BUTLER B.; TESKE C.; JIMENEZ D.; O'BRIEN, J.; SOPKO, P.; WOLD ,C.; VOSBURGH, M.; HORNSBY, B.; LOUDERMILK, E. Observations of energy transport and rate of spreads from low-intensity fires in longleaf pine habitat – RxCADRE 2012. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 25, n.1, p.76-89, 2015.

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, 2015. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v25n3/1980-5098-cflo-25-03-00537.pdf>> Acesso em 20 de junho de 2018.

CARVALHO JÚNIOR, R.M. **Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise *in situ***. 2010. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <[https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24046/Dissertacao%20Final\\_%20Rui%20Miguel%20de%20Carvalho%20Junior.pdf;sequence=1](https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24046/Dissertacao%20Final_%20Rui%20Miguel%20de%20Carvalho%20Junior.pdf;sequence=1)> Acesso em 31 de maio de 2018.

CASTRO, H. A.; GONÇALVES, K. S.; HACON, S. Tendência da mortalidade por doenças respiratórias em idosos e as queimadas no Estado de Rondônia/Brasil – período entre 1998 e 2005. **Ciência & Saúde Coletiva**. Rio de Janeiro, v. 14, n. 6, 2009. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63012431013>>. Acesso em: 09 de maio 2018.

CONEGLIAN, A.; BARBOZA, F. S.; COSTA, D. B.; PEREIRA, I. M.; INTERAMNENSES, M. T. Danos do fogo causados a um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, em Ipameri-Go. **Agrarian academy**, Goiânia, v.5, n.9; p. 347-357, 2018.

COUTINHO, L.M. O cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, Brasília, v.12, n.68, p.22-30, 1990.

DICK, D. P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R. S. D.; JACQUES, A. V. A.; MIELNICZUK, J. ROSA, A. S. Impacto da queima nos atributos químicos e na composição química da matéria orgânica do solo e na vegetação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p.633-640, 2008

DIMITRAKOPOULOS, A. P.; MITSOPOULOS, I. D.; GATOULAS K.; Assessing ignition probability and moisture of extinction in a Mediterranean grass fuel. **International Journal of Wildland Fire**. Melbourne, v. 19, n. 1, p.29-34, 2010.

DUPUY J. L.; MARÉCHAL J.; PORTIER D.; VALETTE J.C. The effects of slope and fuel bed width on laboratory fire behaviour. **International Journal of Wildland Fire**. Melbourne, v. 20, n. 2, p. 272-288, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 412p.

EMBRAPA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999. p. 370.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª edição, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2018. 590 p. Disponível em: < [http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio\\_Attila/1s2018/livros/Sistema\\_Brasileiro\\_Classificacao\\_de\\_Solo-2018.pdf](http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Attila/1s2018/livros/Sistema_Brasileiro_Classificacao_de_Solo-2018.pdf) > Acesso em 29 de outubro de 2018.

FENNER, P. T.; LIMA, G. S. Características e modelagem de materiais combustíveis florestais. In: I ENCONTRO SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 1, Botucatu, 1992. **Anais...** Botucatu, SP. p. 87–96.

FERRER, E, P. **Contribució A L'estudi Dels Efectes Dels Retardants En L'extinció D'incêndis Forestals**. Memória de Tesi Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, 2004. 304p.

FIERRO, A.; CASTALDI, S. Soil N<sub>2</sub>O emissions in a Mediterranean shrubland disturbed by experimental fires. **International Journal of Wildland Fire**. Melbourne, v. 20, n. 2, p. 847-855, 2011.

FREIRE, S.; CARRÃO, H.; CAETANO, M.R. Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares. **Instituto Geográfico Português**, Lisboa, Portugal, p.15, 2004.

GARCÍA, R. A., ENGLER, M. L.; PEÑA, E. POLLNAC, F. W., PAUCHARD, A. FUEL characteristics of the invasive shrub *Teline monspessulana* (L.) K. Koch. **International Journal of Wildland Fire**. Melbourne, v.24, n. 3, p.372-379, 2015.

GRODZKI, L. **Efeitos do fogo sobre variáveis micrometeorológicas em uma floresta de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth) manejada sob o sistema**

**agroflorestal em Colombo, PR.** 130f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

GILL, A. M.; ZYLSTRA, P. (2005). Flammability of Australian forests. **Australian Forestry**, Canberra, v. 68, n. 23, p. 87–9.

HOFFMAN, B. S. **O ciclo Combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO<sub>2</sub>: Uma Solução para mitigar as emissões de CO<sub>2</sub> em Termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo?** 2010, 180 f. Dissertação (mestrado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão regional do Brasil.** 2017. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>> Acesso em: 28 de maio de 2018.

ICMBIO- Instituto Chico Mendes da Conservação e da Biodiversidade. **Manual de Formação de Brigadistas de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais.** 2010. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/servicos/sejaumbrigadista.pdf>> Acesso: 10 de maio 2018.

JOHNSON, VON J. The dilemma of flame length and intensity. **Fire Management Notes**, Washington, v. 43, a 4, p. 3-7, 1982.

JORDAIM, R. B. **Comportamento do fogo sob diferentes declividades, em combustíveis provenientes de um povoamento de *Eucalyptus grandis*.** 2015. 36f. Monografia (Graduação), curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo Centro de Ciências Agrárias Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Jerônimo Monteiro Espírito Santo, 2015.

KEELY, J. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**. Melbourne, v. 18, n.1, p. 116-126, 2009.

KIM, D.G, TADDESE, H.; BELAY, A.; KOLKA R. The impact of traditional fire management on soil carbon and nitrogen pools in a montane forest, southern Ethiopia. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v.25, n.10, p.1110-1116, 2017.

KOBZIAR, L.N., MCBRIDE, J.R., STEPHENS, S.L. The efficacy of fire and fuels reduction treatments in a Sierra Nevada Pine plantation. Int. J. **International Journal of Wildland Fire**. Melbourne, v.18, n. 6, p.791–801, 2009.

KREYE J. K.; VARNER, J.; KNAPP, E. E. Effects of particle fracturing and moisture content on fire behaviour in masticated fuelbeds burned in a laboratory.

**International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 20, n.2, p.308-317, 2011.

KREYE, J. K., KOBZIAR, L. N., ZIPPERER, W. C. MORGAN, T.; Effects of fuel load and moisture content on fire behaviour and heating in masticated litter-dominated fuels. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v.22, n.4, p.440-445, 2012.

KUÇUK, O.; BILGILI, E.; SAGLAM, B.; BASKAYA, S.; DINÇ DURMAZ, N. Some parameters affecting fire behavior in Anatolian black pine slash. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**. Erzurum, v.32, n.2, p.121-129, 2008.

LENTILE, L. B.; HOLDEN, Z. A.; SMITH, A. M., S.; FALKOWSKI, HUDAK, A. T.; MORGAN, P.; LEWIS, S. A.; GESSLER, P. E.; BENSON, N.C. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**. Melbourne, v. 15, p. 319 - 345, 2006. Disponível em: <[https://www.fs.fed.us/rm/pubs\\_other/rmrs\\_2006\\_lentile\\_1001.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2006_lentile_1001.pdf)> Acesso em: 20 de maio de 2018.

LEMOS, C.F.; JUSTINO, F.; ROSSONI, H.A. Comparação entre métodos de risco de queimadas pelo índice de Haines, Angström, Monte Alegre e o Hidrotermométrico na região de Viçosa-MG no período de 01 a 30 de setembro de 2003. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. Viçosa, v. 2, n. 2, p. 196-208. 2012. Disponível em: <<http://www.rbas.ufv.br/index.php/rbas/article/view/179/176>>. Acesso em: 15 de maio de 2018.

LEMOS, A. F.; ELIAS JUNIOR, E. BEZERRA, F. W. B.; ZALUAR, H. L. T.; DAU, J. Z. R.; FARIA, L. P.; FARIA, L. P.; MOTTA, M. S.; WILLMERSDORF, O. R. **Manual para formação de brigadista de prevenção e combate aos incêndios florestais**. Brasília: Instituto Chico Mendes para Conservação da Biodiversidade, 2010.

LOUZADA, J. N. C.; MACHADO, F. S.; BERG, E. D. O fogo como instrumento de manejo em agroecossistemas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, n. 220, p. 29-36, 2003. Disponível em: <<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=152974&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22LOUZADA,%20J.%22&qFacets=autoria:%22LOUZADA,%20J.%22&sort=&paginaAtual=1>> Acesso em: 16 de junho de 2018.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A. S. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2a ed. Piracicaba: Potafós, p. 231-305, 1997.

MACHADO NETO, A. P. **Parâmetros climáticos e da vegetação em áreas de caatinga e cerrado, como base para prevenção de incêndios florestais, sob linhas de transmissão de energia**. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013. Disponível em: <<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede/handle/tede2/5451>>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

MCARTHUR, A. G. **Fire behaviour in eucalypt forests**. Canberra: Forestry and Timber Bureau, leaflet nº 107, 1967.

MEDEIROS NETO, P.N.; OLIVEIRA, E.; PAES, J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas espécies da caatinga. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v.21, n.4, p.484-493, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2179-80872014000400008&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872014000400008&lng=pt&tlng=pt)> Acesso em: 20 de junho de 2018.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C, E, G, R.; FONTES, L. E, F.; CHAGAS, A. C.; LEMOS JUNIOR, J. B.; ANDRADE, R. P. Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 1039-1050, 2006.

MORVAN, D.; FRANGIEH, N. Wildland fires behaviour: wind effect versus Byram's convective number and consequences upon the regime of propagation. **International Journal of Wildland Fire**. Melbourne, v.27, n. 9 p. 636-641, 2018.

MORAIS, Y. Y. G. A.; SOUTO, P. C.; JUSTINO, S. T. P.; NUNES, V. H; MONTE, A. A. M.; SOUTO, J. S.; BORGES, C. H. A. Synchronism of Production and Degradation of Litter in Fragment of Dry Tropical Forest in Paraíba, Brazil. **Journal of Agricultural Science**. Montreal, v. 11, p. 308-319, 2019.

MÜZEL, S.D.; OLIVEIRA, K. A.; HANSTED, F. A. S.; PRATES, G. A.; GOVEIA, D. Poder calorífico da madeira de *Eucalyptus grandis* e da *Hevea brasiliensis*. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. Tupã, v. 8 n.2, p.166-172, 2014.

NUNES, J. R. S. **FMA**: um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná- Brasil. 2005. 108 f. Tese (Doutorado em Ciências florestais) - Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba

NUNES, J. R. S, SOARES, R. V; BATISTA, A. C. Estimativa da umidade relativa das 13:00 h, com base nos dados das 9:00 h e das 15:00 h, para o estado do Paraná. **Revista Floresta**. Curitiba, v. 35, n. 2 p. 247 – 258, 2008. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/4612/3573>>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

OLIVERIO, E. R. **Comportamento do fogo em três fitofisionomias florestais para proteção contra incêndios florestais na fazenda água limpa**. 2015. 53f. Monografia (Graduação), curso de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2015.

OLIVEIRA, M. V. N.; WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T. Quantificação do material combustível em fragmento de Mata Atlântica no nordeste brasileiro. **Pesquisa florestal brasileira**, Brasília. v. 38, n. 93, p. 2-8, 2018.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; OLIVEIRA, E.; MEDEIROS NETO, P. N. Características Físico-Química, Energética e Dimensões das Fibras de Três Espécies Florestais do Semiárido Brasileiro. **Floresta e ambiente**, Seropédica- RJ, v.20 n.4 p.550-555, 2013. Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/host-article-assets/floram/588e2271e710ab87018b479f/fulltext.pdf>> Acesso em: 30 de junho de 2018.

PARSONS, A. L.; BALCH, J. K.; ANDRADE, R. B.; BRANDO, P. M. The role of leaf traits in determining litter flammability of south-eastern Amazon tree species. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 24, n.8, p.1143-1153, 2015.

PEREIRA, A. M. M.; CATTANEO, A. C. M.; LACERDA, F. S.; MEDEIROS, F. C.; WILLMERSDORF, O. R.; AVELAR, P. S. C. 2011. **Investigação de incêndios florestais**: Prevfogo/Ibama. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/investigacaodeincendiosflorestaisdigital.pdf>>. Acesso em: 08 de maio de 2018.

PETRICCIONE, M. **Infiammabilità della lettiera di diverse specie vegetali di ambiente Mediterraneo**. 2006. 48 f. Tese (Doutorado em Biologia Aplicada) - Dipartimento di Biologia Strutturale e Funzionale, Università Degli Studi Di Napoli Federico II, Napoli.

POSSELL, M.; BELL, T. L. The influence of fuel moisture content on the combustion of Eucalyptus foliage. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v.22, n.3, p.343-352, 2012.

PRUDENTE, T. D.; ROSA, R. Detecção de incêndios florestais no parque nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno. **Caminhos da geografia**, v. 11, n. 35, 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16162/9098>> Acesso em: 08 de maio de 2018.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**. Curitiba, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/06-B&E-v1-n2-2004-173-182.pdf>>. Acesso: 01 de junho de 2018.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, Piracicaba, n.89. p. 100-106, 2005. Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/podercalorifico.pdf>>. Acesso em: 01 de junho de 2018.

RAIJ, B. V. ; QUAGGIO, J. A. ; CANTARELLA, H. ; ABREU, C. A.. **Os métodos de análise química do sistema IAC de análise de solo no contexto nacional**. Em: B. van Raij; J.C. de Andrade; H. Cantarella; J.A. Quaggio. (Org.). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 5-39, 2001.

REDIN, M.; SANTOS, G. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

REYS, R. R. **Avaliação do comportamento do fogo em áreas de pastagem e Cerrado submetidas a queimas controladas**. 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Gurupi, Gurupi – TO. Disponível em: <<https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/585/1/Rosemberg%20Rodriguez%20Reyes%20-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 09 de abril de 2018.

RIBEIRO, G. A. **Estudo do comportamento do fogo e de alguns efeitos da queima controlada em povoamentos de *Eucalyptus viminalis* LABILL em Três Barras, Santa Catarina**. 1997. 151f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

RIBEIRO, A. R.; BONFIM, V. R. Incêndio florestal x queimada. **Revista Ação Ambiental**, Viçosa, v.2, n.12, p.8-11, 2000.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, J. C. P.; FERNANDES, V. B. B.; MAFRA, A. L.; ALMEIDA, J. A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.49-55, 2003.

RIBEIRO, N.S.; SHUGART, H.H.; SWAP, R.J; OKIN, G.S. Five-years period of fire regime in the Miombo woodlands of Niassa Reserve, Mozambique. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, p. 101-103, 2008.

RIBEIRO, G. A.; SOARES, R. V. caracterização do material combustível superficial e efeitos da queima controlada sobre sua redução em um povoamento de *Eucalyptus viminalis*. **Cerne**, Lavras, v.4, N.1 p.058-072, 1998.

SANTANA, J. A. S. **Estrutura fitossociológica, produção d serapilheira e ciclagem de nutrientes em uma área de Caatinga no Seridó do Rio Grande do Norte**. 2005. 184f. Tese- (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2005.

SANTOS, J. F. **Estatísticas de incêndios florestais em áreas protegidas no período de 1998 a 2002**. Dissertação 97f. (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: <[http://www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf\\_ms/2004/d397\\_0553-M.pdf](http://www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf_ms/2004/d397_0553-M.pdf)> Acesso em: 21 de abril.

SANTOS, R.C.; CARNERO, A.C.O.; PIMENTAS, A.S.; CASTRO, R, V, O.; MARINHO, I.V.; TRUGRILHO, P.F.; ALVES, I.C.N.; CSTRO, A.F.N.M. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 491-502, 2013.

SERGER, 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**. Paraná, v. 43, n. 4, p. 547 - 558, 2013.

SERGER, C.D. **Material combustível e comportamento do fogo em vegetação de estepe gramíneo-lenhosa na RPPN Caminho das Tropas, Palmeira, Paraná**. 2005. 195 f. Tese (Doutorado) Engenharia Florestal. UFPR, Curitiba-PR, 2015.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C. A. V. **Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno – NV – USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA NETO, F. R. G. **Quantificação do material combustível florestal e comportamento do fogo de diferentes ambientes na Paraíba**. 2017. 46f. Monografia (Graduação) Curso de Engenharia Florestal. CSTR/UCFG, Patos – PB, 2017.

SOARES, R. V. **Incêndios florestais: controle e uso do fogo**. Curitiba: FUPEF, 1985. 2 13 p. Disponível em: < <http://www.floresta.ufpr.br/firelab/wp-content/uploads/2013/09/artigo03.pdf>> Acesso em 30 de abril de 2018.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Curso de prevenção e controle de incêndios florestais: o problema do fogo na floresta e meteorologia aplicada aos incêndios florestais: modulo 1**. Brasília: ABEAS/UFPR, 1998. 32 p.

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

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba, p.250, 2009. Disponível em:< [https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=253739&biblioteca=vazio&busca=autoria:","%20A."&qFacets=autoria:","%20A."&sort=&paginacao=t&paginaAtual=41](https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=253739&biblioteca=vazio&busca=autoria:) > Acesso em: 15 de maio de 2018.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. **Incêndios florestais no Brasil – o estado da arte**. Curitiba: Independentes, 2009. 246p.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. 2.Ed. Revisada. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; SANTOS, R. V.; BAKKE, I. A. Características Químicas da Serrapilheira Depositada em Área de caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.1, p.264-272, 2009.

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.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. **A floresta e o ar**. Porto Alegre: Pallotti, 2000. 108 p. Disponível em:

<<http://andorinha.epagri.sc.gov.br/consultawebsite/busca?b=ad&id=27286&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22SCHUMACHER,%20M.V.%22&qFacets=autoria:%22SCHUMACHER,%20M.V.%22&sort=&paginaAtual=1>> Acesso em: 20 de abril de 2018.

SKARPE, C. Dynamics of savanna ecosystems. **Journal of Vegetation Science**. Melbourne, v. 3, n. 3, p. 293-300, 1992. Disponível em:

<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/3235754>> Acesso em: 15 de abril 2018.

SHAKESBY, R.A.; DOERR, S. H. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. **Earth Science Reviews**. n.74, p. 269-307, 2006.

STRUMINSKI, Edson. **Manual para curso de combate a incêndios florestais em montanha**. Federação Paranaense de Montanhismo. Quatro Barras/PR, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento sustentável**. 6ªed. Porto Alegre: Artmed, p. 858.

TORRES, F. T. P.; ROMEIRO, J. M. N.; SANTOS, A. C. A.; OLIVEIRA NETO, R. R.; LIMA, G. S.; ZANUNCIO, J. C. Fire danger index efficiency as a function of fuel moisture and fire behavior. **Science of the Total Environment**, Melbourne, v. 631–632, p. 1304–1310, 2018.

TRUGRILHO, P.F. **Energia da biomassa florestal**. 2005. Disponível em:

<<http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf>>. Acesso em: 31 de maio de 2017.

VASCONCELOS, A. D. M. **Inflamabilidade de espécies da Caatinga para uso em cortinas de segurança no semiárido paraibano**. 2019. 70f. Dissertação (mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Campina Grande, Patos-PB, 2019.

VÉLEZ, R. **La Defensa Contra Incendios Forestales**. Fundamentos y experiencias. Editado por A. García. Madrid, España. Mc. Graw Hill. 2000.

WANTHONGCHAI K., TARUSADAMRONGDET V., CHINNAWONG K., SOOKSAWAT K. Fuel properties and fire behaviour characteristics of prescribed fire in pine-dominated forests at Nam Nao National Park, Thailand. **International Journal of Wildland Fire**. Melbourne, v.22, n.5, p. 615-624, 2013.

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.

Disponível em: <<https://research.cnr.ncsu.edu/sites/woodlandstewardseries/wp-content/uploads/sites/15/2015/01/Fireasaforestrytool.pdf>>. Acesso em: 02 de junho de 2018.

WELLS, C. G. Effects of prescribed burning on soil chemical properties and nutrient availability. In: PRESCRIBED BURNING SYMPOSIUM, 1971. **Proceedings...** Asheville: Southeastern Forest Exp. Station. 160 p.

WEIR, J.R.; LAMB, R.F, Seasonal variation in flammability characteristics of *Quercus marilandica* and *Quercus stellata* leaf litter burned in the laboratory. **Fire Ecol.** v. 9, p. 80–8, 2014.

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.** Melbourne, v. 21, p.270 – 281, 2012. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/253843700\\_Flame\\_temperature\\_and\\_residence\\_time\\_of\\_fires\\_in\\_dry\\_eucalypt\\_forest](https://www.researchgate.net/publication/253843700_Flame_temperature_and_residence_time_of_fires_in_dry_eucalypt_forest)> Acesso em: 23 de maio de 2018.

WHITE, B. L. A. **Modelagem matemática e avaliação do comportamento do fogo em liteira de eucalipto.** 2014. 190f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Núcleo de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. S.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T. Caracterização do material combustível superficial no Parque Nacional Serra de Itabaiana – Sergipe, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 699-706, 2014

WHITE, R.H; ZIPPERER, W. C. Testing and classification of individual plants for fire behaviour: plant selection for the wildland–urban interface. **International Journal of Wildland Fire**, Melbourne, v. 19 n. 2, p. 213–22, 2010.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; MELO; SOUZA, R. O uso do Behave Plus como ferramenta para modelagem do comportamento e efeito do fogo. **Pesquisa Florestal Brasileira.** Brasília, v. 33, p. 73-83, 2013. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/409>>. Acesso: 15 de maio de 2018.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S. Queimadas controladas e incêndios florestais no estado de Sergipe, Brasil, entre 1999 e 2015. **Revista Floresta.** Curitiba, PR, v. 46, n. 4, p. 561-570, 2016. Disponível em:<<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/47036/30156>> Acesso em: 29 de maio de 2018.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. Empirical models for describing fire behavior in Brazilian commercial eucalypt plantations. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 4, p. 397-406, 2016. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/cerne/v22n4/2317-6342-cerne-22-04-00389.pdf>> Acesso em 10 de abril de 2018.