



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



ALEXANDRO DIAS MARTINS VASCONCELOS

**INFLAMABILIDADE DE ESPÉCIES DA CAATINGA PARA USO EM CORTINAS
DE SEGURANÇA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Patos – Paraíba-Brasil
2019

ALEXANDRO DIAS MARTINS VASCONCELOS

**INFLAMABILIDADE DE ESPÉCIES DA CAATINGA PARA USO EM CORTINAS
DE SEGURANÇA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

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.^a. Dr.^a. Patrícia Carneiro Souto

**Patos – Paraíba-Brasil
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO CSTR

V331i

Vasconcelos, Alexandro Dias Martins

Inflamabilidade de espécies da Caatinga para uso em cortinas de segurança no semiárido paraibano / Alexandro Dias Martins Vasconcelos. – Patos, 2019.

69f. il. ; color.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, 2019.

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

Referências.

1. Incêndios florestais. 2. Silvicultura preventiva.
 3. Comportamento do fogo. 4. Material combustível florestal.
- I. Título.

CDU 574

ALEXANDRO DIAS MARTINS VASCONCELOS

**INFLAMABILIDADE DE ESPÉCIES DA CAATINGA PARA USO EM CORTINAS
DE SEGURANÇA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

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.

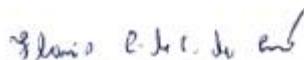
Aprovado em: 22 de fevereiro de 2019.



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



Prof. Dr. Róbson José de Oliveira
Universidade Federal do Piauí (CTT/UFPI)
(1º Examinador)



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

Somos seres em construção...

Durante a nossa vida, causamos transtornos na vida de muitas pessoas, porque somos imperfeitos.

Nas esquinas da vida, pronunciamos palavras inadequadas, falamos sem necessidade, incomodamos.

Nas relações mais próximas, agredimos sem intenção ou intencionalmente. Mas agredimos.

Não respeitamos o tempo do outro, a história do outro. Parece que o mundo gira em torno dos nossos desejos, e o outro é apenas um detalhe.

E, assim, vamos causando transtornos. Esses tantos transtornos mostram que não estamos prontos, mas em construção.

Tijolo a tijolo, o templo da nossa história vai ganhando forma. O outro também está em construção e também causa transtornos.

E, às vezes, um tijolo cai e nos machuca. Outras vezes, é a cal ou o cimento que suja nosso rosto. E quando não é um, é outro. E o tempo todo nós temos que nos limpar e cuidar das feridas, assim como os outros que convivem conosco também têm de fazer.

Os erros dos outros, os meus erros. Os meus erros, os erros dos outros.

Esta é uma conclusão essencial: todas as pessoas erram. A partir dessa conclusão, chegamos a uma necessidade humana e cristã: O PERDÃO.

Perdoar é cuidar das feridas e sujeiras. É compreender que os transtornos são muitas vezes involuntários. Que os erros dos outros são semelhantes aos meus erros e que, como caminhantes de uma jornada, é preciso olhar adiante.

Se nos preocupamos com o que passou, com a poeira, com o tijolo caído, o horizonte deixará de ser contemplado. E será um desperdício.

O convite que faço é que você experimente a beleza do perdão.
É um banho na alma! Deixa leve!

Se eu errei,
Se eu o magoei,
Se eu o julguei mal...
Desculpe-me por todos esses transtornos...

Estou em construção!

PAPA FRANCISCO

*A **DEUS**, pela Vida, por sempre abençoar o meu caminho, pois, sem a Tua Graça Senhor, nada somos e nada temos. Aos meus pais, **Alfredo e Almira**, que sempre me ajudaram, me apoiaram, me deram todo o valor da humildade e da educação, os melhores amigos da minha vida. Amo vocês. À minha esposa **Amanda Martins** a quem amo incondicionalmente, meu porto seguro para toda a vida, na saúde e na doença, na alegria e na tristeza, sempre comigo, minha companheira. Aos meus filhos: **Arthur, João Luccas e Lunna**. Amo vocês. A todos os meus irmãos. À minha sogra **Janoelma**, um anjo que DEUS me deu de sogra, a outro anjo chamado **Maria José**, o qual tenho um carinho especial em minha vida. Às minhas avós, **Amália Dias e Vetúria**. À minha orientadora, **Prof.^a Patrícia**, por acreditar em mim. À minha **família Dias**, obrigado por todo amor que vocês me deram nos momentos mais difíceis da minha vida, na minha infância, e à minha **família Vasconcelos**, pelo carinho.*

*Aos meus avós, **Manoel Silva e Lourival Vasconcelos**, à minha bisavó **Maria Dias**, a minha **Mãe Pequena** e ao meu bisavô **José Borges**, meu **pai Zé Borges** (estes in memoriam)*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela vida, pela minha família, pelas graças concedidas, pelas bênçãos e por sempre iluminar o meu caminho. Obrigado por tudo que me destes, pois o pouco com Deus é muito, e o muito sem Deus não é nada.

Ao nosso Senhor Jesus Cristo, Obrigado por me manter firme nas horas mais difíceis da minha vida. Toda honra e toda glória da minha vida sejam dadas a Ti Senhor.

Aos meus pais, Almira e Alfredo, por todo amor, carinho, por todo esforço que vocês fizeram para me educar e por acreditarem em mim. Eu amo vocês e obrigado por tudo, meus guerreiros.

À minha esposa e companheira, Amanda, que sempre esteve ao meu lado, ajudando e me apoiando em todos os momentos da minha vida, obrigado, meu amor, te amo!

À minha sogra, Janoelma, um anjo de pessoa que sempre esteve pronta para me ajudar e ajudar a minha família, não importasse o problema, obrigado por todo amor, todo carinho e toda confiança. À Dona Maria José, por todo apoio, por todo carinho, atenção, pelas ajudas, pelos ensinamentos, por sempre nos acolher quando precisamos, obrigado por tudo!

Aos meus irmãos, em especial Aline, Marquinhos e Márcio, por acreditarem em mim, por me ajudarem sempre, por serem meus parceiros, meus amigos. Amo vocês. À minha cunhada Kelly, obrigado, minha cunhada, pela amizade, por todas as ajudas.

À minha orientadora, Professora Patrícia, por toda paciência, pela orientação e pelos ensinamentos, pela amizade, pelo carinho, pela confiança a mim dada e por ter concedido a minha permanência com a minha família, sou muito grato professora, MUITO OBRIGADO!

Aos meus amigos do PPGCF: Ramom, Géssica, Rosivânia, Ikallo, Pedro Jorge, Whenderson, Erik, Francisco e Gabriela.

Aos meus amigos César Henrique, Romualdo Cortês e Maílson Pereira, pelo apoio dado, pela amizade e companheirismo.

Ao Professor Francisco de Assis Pereira Leonardo, pelas contribuições dadas, sempre estive a postos para ajudar, obrigado por tudo Chicão.

Aos professores da Pós Graduação: Dr.^a Naelza de Araújo Wanderley, Dr. Olaf Andreas Bakke, Dr.^a Ivonete Alves Bakke, Dr. Antônio Lucineudo de Oliveira Freire e ao professor Dr. Jacob Silva Souto, pelos ensinamentos, pelo carinho e pela compreensão, meu muito obrigado!

Aos meus familiares em Picos-PI, minha prima Vilani e seus esposo Francisco, meus primos Neinha, Leinha e Francislames, que, nas viagens entre Piauí-Paraíba e vice-versa, sempre me acolheram com maior carinho, não importando se era de dia ou nas madrugadas. O sorriso de vocês me recebendo foi um dos maiores presentes que recebi na minha vida, obrigado por tudo.

Aos professores da banca examinadora, Prof. Dr. Flávio Cipriano de Assis do Carmo e Prof. Dr. Robson José de Oliveira, por aceitarem a participação e pelas contribuições e sugestões dadas.

Aos meus amigos Arliston, Valdirene, Ramom, Erik, Géssica e Whenderson que me ajudaram muito na condução desta pesquisa em campo. Sou muito agradecido pela ajuda de vocês, pela disposição, pelo carinho, MUITO OBRIGADO!

Ao Prof. Dr. Robson José de Oliveira pelo companheirismo, pela amizade e pelo apoio, muito obrigado!

Ao Prof. Dr. Jacob Silva Souto, pelas conversas, incentivos, conhecimentos repassados. Aos amigos do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, obrigado!

Ao pessoal do Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais, pelo apoio e pela confiança.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, na pessoa do Prof. Moraes e ao secretário Ari, pelo apoio, pela cooperação.

À Andreza, Seu Otávio e ao André, pela ajuda no procedimento desenvolvido no Laboratório de Nutrição Animal. Como vocês são humanos! Muito obrigado por tudo!

Agradeço ao Seu Walter e o Seu João Bode, sempre me ajudaram no viveiro florestal da UFCG, por cuidarem dos meus materiais, muito obrigado!

À Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Patos, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, por proporcionar desenvolvimento profissional.

Ao Secretário da Pós Graduação, Paulo Cesar Gomes da Silva, pelas ajudas, pela compreensão, pela paciência, pelos conselhos, pelo favores, muito obrigado, meu amigo!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - (CAPES), pelo apoio financeiro imprescindível neste estudo e na formação dos profissionais brasileiros.

Ao Luciano Cavalcante de Jesus França, pela ajuda na elaboração do mapa.

Aos meus tios (as), primos (as) que sempre me apoiaram. Ao meu amigo Ramom, pelas estadias em Patos, pela confiança, por todo carinho.

Ao Alexandre, que me acolheu quando cheguei a Patos, muito obrigado! E a todos que me ajudaram direta e indiretamente, meu Muito Obrigado!

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Incêndios florestais e seus impactos no meio	14
2.2 Material combustível e sua relação com a propagação dos incêndios florestais	16
2.3 Comportamento do fogo e suas características.....	17
2.4 Cortinas de segurança na prevenção e proteção contra incêndios florestais	19
2.5 Características da inflamabilidade da vegetação	20
2.6 Poder calorífico da vegetação	22
3 MATERIAL E MÉTODO	23
3.1 Caracterização da área de estudo	23
3.2 Delineamento e Procedimento Experimental.....	23
3.3 Coleta do material vegetal	25
3.4 Determinação da umidade do material combustível	26
3.5 Características avaliadas do comportamento do fogo	27
3.6 Determinação do poder calorífico	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Condições Meteorológicas.....	36
4.2 Teor de Umidade	36
4.3 Comportamento do fogo	38
4.4 Poder calorífico superior.....	58
5 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS	61

VASCONCELOS, Alexandro Dias Martins. **Inflamabilidade de espécies da Caatinga para uso em cortinas de segurança no semiárido paraibano**. 2019. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos – PB. 2019. 69p.

RESUMO

Os incêndios florestais causam inúmeros impactos socioambientais no Brasil e no mundo. A origem dos incêndios florestais pode ocorrer de forma intencional, acidental ou natural, consumindo o material combustível presente no ambiente. A implantação de cortinas de segurança impede a propagação de um incêndio na propriedade e auxilia nas técnicas de combate pela brigada. Assim, objetivou-se nesta pesquisa, avaliar a inflamabilidade de plantas da Caatinga e sua eficiência como cortinas de segurança na prevenção de incêndios florestais no semiárido paraibano. Foram testados os seguintes materiais combustíveis: T1- Palma, T2- Pinus (testemunha), T3- Mandacaru, T4- Pereiro, T5- Catingueira, T6- Xique-xique e T7- Faveleira. Coletaram-se materiais combustíveis das folhosas, galhos com diâmetros $\leq 0,7$ cm e folhas a 50% de proporcionalidade. Para cactáceas, levou-se em consideração o porte vegetativo. As folhosas e o tratamento testemunha foram coletados e acondicionados em sacos de 60 kg, devidamente identificados e postos a secagem durante 90 dias. As cactáceas foram coletadas e postas em galpão por 15 dias, apenas para diminuição da umidade. A avaliação da inflamabilidade foi realizada por meio da queima de 2,0 kg em 28 parcelas com dimensões de 1m², onde se utilizaram quatro repetições em blocos ao acaso. Posteriormente, determinou-se a espessura e volume da manta, umidade do material, frequência e tempo de ignição, tempo de queima, altura da chama, velocidade de propagação, intensidade do fogo, índice de combustibilidade e de severidade, temperatura do material combustível e do solo, energia liberada, teor de cinzas e poder calorífico. As condições meteorológicas apresentaram valores relativamente homogêneos durante a realização da queima em todas as parcelas, cujos valores médios foram 32,82%, 26°C e de 2,99 m s⁻¹, Norte, para a umidade relativa do ar, a temperatura e a velocidade do vento, respectivamente. As cactáceas (*Opuntia sp.*, *Cereus jamacaru*, *Pilosocereus gounellei*) apresentaram maiores tempos de ignição e menores tempos de combustão, sendo queimados somente os espinhos. A faveleira (*Cnidoscolus quercifolius*) não deferiu das cactáceas com relação ao tempo de combustão, apresentaram menores índices de combustibilidade e de severidade do fogo. O pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) e a Catingueira (*Poincianella pyramidalis*) apresentaram índice de severidade modernamente alto, em função do elevado poder calorífico do lenho. O pereiro apresentou maior temperatura e intensidade do fogo. As cactáceas e a faveleira apresentaram menores valores de poder calorífico, confirmando e indicando inflamabilidade nula nas cactáceas e da baixa inflamabilidade da faveleira, sendo recomendadas para uso como cortinas de segurança. O pereiro e a catingueira apresentaram diferenças na inflamabilidade entre as partes constituintes das plantas, mas com elevado poder calorífico no lenho, não sendo recomendadas como cortinas de segurança. As espécies da Caatinga respondem de maneira diferenciada à ação do fogo, principalmente entre as partes constituintes das plantas.

Palavras-chave: Incêndios florestais. Silvicultura Preventiva. Comportamento do fogo. Material combustível florestal.

VASCONCELOS, Alexandro Dias Martins. **Flammability of Caatinga species for use in safety curtains in the paraiban semiarid**. 2019. Master's Dissertation in Forest Sciences. CSTR / UFCG Patos - PB. 2019. 69pgs.

ABSTRACT

Forest fires cause numerous social and environmental impacts in Brazil and worldwide. The origin of forest fires can occur intentionally, accidentally or naturally, consuming the combustible material present in the environment. The implementation of safety curtains prevents the spread of a fire on the property and assists in fighting techniques by the firefighters. Thus, the objective of this research was to evaluate the flammability of Caatinga plants and their efficiency as safety curtains in the prevention of forest fires in the Paraiba semiarid. The following combustible materials were tested: T1- Palma, T2- Pinus (control), T3- Mandacaru, T4- Pereiro, T5- Catingueira, T6-Xique-xique and T7-Faveleira. Fuel materials from hardwoods, branches with diameters ≤ 0.7 cm and leaves at 50% proportionality were collected. For cactaceae, the vegetative size was considered. The hardwoods and the control treatment were collected and packed in 60 kg bags, properly identified and dried for 90 days. The cacti were collected and put in shed for 15 days, only to decrease the humidity. The flammability evaluation was performed by burning 2.0 kg in 28 plots with dimensions of 1m², using four repetitions in randomized blocks. Subsequently, the thickness and volume of the blanket, the material humidity, the frequency and time of ignition, the burning time, the flame height, the propagation velocity, the fire intensity, the combustibility and severity index, the temperature of the combustible material and the soil temperature, released energy, ash content and calorific value were determined. The meteorological conditions presented relatively homogeneous values during the burning in all plots, which average values were 32.82%, 26°C and 2.99ms⁻¹, North, for relative humidity, temperature and wind speed, respectively. The cactaceae (*Opuntia sp*, *Cereus jamacaru*, *Pilosocereus gounellei*) presented longer ignition times and shorter combustion times, being burned only the thorns. The faveleira (*Cnidocolus quercifolius*) did not differ from the cactaceae in terms of combustion time, which presented lower combustibility and fire severity indexes. The Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) and the Catingueira (*Poincianella pyramidalis*) presented modern severity index, due to the high calorific value of the wood. The Pereiro showed higher temperature and intensity of fire. Cactaceae and faveleira showed lower values of calorific value, confirming and indicating zero flammability in cactaceae and low flammability of the faveleira, being recommended for use as safety curtains. The Pereiro and catingueira showed differences in flammability between the constituent parts of the plants, but with high calorific value in the wood, not being recommended as safety curtains. Caatinga species respond differently to the action of fire, especially among the constituent parts of plants. The combustibility and severity indices methodology are efficient in the evaluation of fire behavior.

Keywords: Forest fire. Preventive Forestry. Fire behavior. Forest fuel material.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os incêndios florestais causam inúmeros impactos socioambientais no Brasil e no mundo, contribuindo com aumento nas emissões de CO₂, com o surgimento de doenças respiratórias, perda da fertilidade e desaparecimento dos microrganismos do solo, eliminação da matéria orgânica, alteração da paisagem, mortalidade de árvores e demais componentes vegetacionais, diminuição do fluxo gênico no meio e também interferência no setor econômico.

A origem dos incêndios florestais pode ocorrer de forma intencional, acidental ou natural, consumindo o material combustível presente no ambiente. O fogo origina-se da combinação de três elementos: o oxigênio, o material combustível e o calor, que constituem o triângulo do fogo e que juntos iniciam o processo de combustão; caso contrário, não se origina a combustão ou a mesma pode ser interrompida (SOARES; BATISTA, 2007). Desta forma, denomina-se incêndio florestal a ocorrência do fogo sem controle, originado de forma conhecida ou não sobre a vegetação, com ampla ocorrência e intensidade capaz de provocar desastres no meio.

As condições climáticas, como a umidade relativa do ar, a temperatura, a velocidade do vento estão inteiramente relacionadas à ocorrência e propagação dos incêndios florestais, tornando-se, por tanto, fatores essenciais na prevenção e combate dos mesmos (NUNES, 2005). Esses fatores contribuem para uma maior ocorrência de incêndios na Caatinga, uma vez que estão associados ao longo período de seca na maior parte do ano. Acrescente-se a esse aspecto o tipo de vegetação caducifólia, que se transforma em material combustível seco e propício à ocorrência de incêndio florestal.

As cortinas de vegetação, ou cortinas de segurança, são medidas silviculturais importantes na prevenção ou impedimento da propagação do fogo, principalmente em áreas de vulnerabilidade aos incêndios florestais, como, por exemplo, as áreas que acumulam material combustível em determinadas épocas do ano. Essa técnica consiste em dispor no campo o plantio, em fileiras ou em faixas, de uma ou mais espécies de baixa inflamabilidade que impeça, retarde ou dificulte a propagação do fogo, evitando danos econômicos e ambientais (SOARES, 2000).

Dessa forma, surgem os seguintes questionamentos acerca do uso de cactáceas e de folhosas como cortinas de segurança na prevenção dos incêndios florestais na Caatinga: Cactáceas e folhosas presentes na Caatinga podem ser eficientes na redução da velocidade de propagação do fogo? A Caatinga possui espécies arbóreas de baixa inflamabilidade com potencial de uso em cortinas de segurança?

A implantação das cortinas de segurança impede a propagação de um incêndio na propriedade e auxilia nas técnicas de combate pela brigada. Por esse motivo, torna-se

importante conhecer a inflamabilidade das espécies, uma vez que as mesmas podem proporcionar um controle sobre os incêndios florestais, tornando-se fundamental estudar as principais características das espécies como o poder calorífico, a inflamabilidade e o comportamento do fogo.

As cortinas de segurança também podem proporcionar, além de proteção às propriedades rurais, proteção às áreas de restauração, experimentos científicos com plantios perenes ou anuais, áreas de preservação permanente, reservas legais e áreas de preservação ambiental, desde que as espécies não prejudiquem o equilíbrio natural dessas áreas.

Batista e Biondi (2009) avaliaram inflamabilidade e o potencial da espécie *Ligustrum lucidum* Aiton como cortina de vegetação, levando em consideração a rusticidade, facilidade de brotação e sua utilização como quebra-ventos e compararam com a espécie testemunha *Pinus taeda*, considerada altamente inflamável. Por meio da análise do comportamento do fogo em experimentos de campo, os autores verificaram que a espécie estudada possui inflamabilidade baixa, sendo indicada para uso em cortinas de segurança, demonstrando eficiência no uso das técnicas empregadas na pesquisa.

Kovalski et al (2016) avaliaram em laboratório a inflamabilidade das espécies arbóreas *Psidium cattleianum* Sabine, *Ligustrum lucidum* W. T. Aiton, *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Bougainvillea glabra* Choisy, no sul do Brasil e verificaram a baixa inflamabilidade das mesmas, sendo recomendadas para uso de cortinas de vegetação. No entanto, os autores recomendam que as espécies sejam submetidas a estudos mais avançados de combustibilidade e calorimetria, com objetivos de confirmar os resultados do estudo.

No Brasil, estudos relacionados com avaliação do potencial de espécies como cortinas de segurança ainda são “insólitos”. Na região nordeste do Brasil, sobretudo nas regiões semiáridas, esse tipo de estudo pode estabelecer resultados importantes e evidenciar espécies para uso em cortinas de segurança, podendo garantir a proteção de empreendimentos e de áreas vulneráveis aos incêndios florestais, contribuindo para o manejo sustentável dos recursos naturais.

Assim, objetivou-se, nesta pesquisa, avaliar a inflamabilidade de plantas da Caatinga e sua eficiência como cortinas de segurança na prevenção de incêndios florestais no semiárido paraibano.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Incêndios florestais e seus impactos no meio

Incêndio Florestal é classificado, de acordo com Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio (2010), como “todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo tanto ser provocado pelo homem (intencional ou negligência) como por causa natural (raios).”

As florestas e os diversos tipos de vegetação sofrem danos consideráveis por conta dos incêndios florestais. No entanto, existem diversas técnicas que podem ser usadas para evitar os danos às florestas e vegetações causados pelos incêndios florestais (BATISTA, 2009). Os incêndios podem ser originados por fatores naturais, antrópicos e acidentais. Os incêndios causados de formas naturais podem ser oriundos de raios e aquecimento do material combustível seco. Os acidentais podem ser causados por faíscas oriundas de algum fator, como por exemplo, as linhas de transmissão de energia elétrica. E os antrópicos, que são causados por atividades negligenciosas, como a queima de terrenos baldios, queima de propriedades rurais, queima de lixo (PEREIRA et al., 2011).

Os danos causados pelos incêndios florestais, dependendo do tipo de combustível e do clima podem ter efeitos consideráveis no meio. Como exemplo disso, pode-se relacionar a diminuição da matéria orgânica que provoca erosão (dano ao solo), a diminuição da resistência das árvores e/ou a morte das mesmas, tornando-as mais susceptíveis às pragas e doenças, ocasionando a redução da fauna, à recreação, pois esta impossibilitado pela alteração do aspecto agradável da floresta, e também à vida humana (SOARES; BATISTA, 2007).

O clima possui efeitos diretos e importantes com relação ao comportamento do fogo. A temperatura do local ou região, precipitação e disponibilidade hídrica são aspectos que, em conjunto, atuam diretamente ou mesmo influenciam na ignição, propagação e má manutenção dos incêndios. O período seco proporciona uma maior ocorrência de incêndios florestais, que, por sua vez, interfere na ciclagem de nutrientes, no escoamento superficial, infiltração e na erosão. (PRUDENTE; ROSA, 2010).

Souza (2015) enfatiza que o fogo pode destruir toda biota do solo e da floresta e os sistemas ali envolvidos, causando a morte da microbiota do solo, invertebrados, da fauna terrestre, bem como da flora. Os incêndios ainda aumentam as emissões de CO₂ na atmosfera, contribuindo assim, para o aquecimento global e aumento do efeito estufa. Desta forma, os

incêndios provocam a poluição do ar, podem atingir edificações e provocar acidentes em estradas.

O clima, precipitação, a topografia, o tipo de vegetação, a quantidade e umidade do material combustível, o conteúdo e umidade da matéria orgânica do solo, a intensidade e duração da combustão, se houve ou não outros incêndios na área, são fatores ligados ao grau de severidade do fogo no ecossistema e também a uma medida qualitativa dos efeitos do fogo sobre os recursos naturais. O fogo também provoca problemas na estrutura do solo, reduz a retenção de água e umidade, modifica o fluxo da ciclagem de nutrientes, ocasionando perdas por volatilização, erosão, perda da liteira, conseqüentemente provoca também a redução da matéria orgânica do solo, acarretando, assim, perdas da biota do solo (NEARY et al., 1999).

Os incêndios ainda constituem um problema de saúde pública, pois a poluição atmosférica causada pelos incêndios favorece o aumento de doenças respiratórias nas pessoas, principalmente em crianças e idosos que, por sua vez, são os mais susceptíveis aos efeitos dos poluentes atmosféricos (CASTRO et al., 2009).

No tocante aos sistemas ambientais, em especial, os fragilizados no que diz respeito aos seus aspectos físicos, químicos e biológicos, nota-se que estes, associados a fatores antrópicos e naturais ocasionam riscos à manutenção e ao equilíbrio existentes desses meios. Os incêndios florestais estão ligados a esses fatores e contribuem para a instabilidade desses sistemas, na resiliência ambiental, e, assim, provocam riscos consideráveis à sustentabilidade do meio. A região do semiárido brasileiro encontra-se relacionada à essa fragilidade diretamente, com a irregularidade da distribuição espacial e temporal das precipitações pluviométricas. Outros aspectos importantes são as elevadas temperaturas ao longo do ano e a forte prática da agricultura familiar intensiva e sua relação com as queimadas, o que favorece para a ocorrência dos incêndios florestais (ASSIS et al., 2013).

Araújo e Barbosa (2000) enfatizam que o uso indiscriminado do fogo provoca o desaparecimento de plantas e animais, resultando na perda considerável da biota da Caatinga, conseqüentemente resultando no esgotamento dos recursos naturais. Conforme ICMBIO, (2010), o uso da terra é um fator influente, pois suas mudanças, como, por exemplo, a área de floresta para agrícola utiliza o fogo para a limpeza do terreno, que, na maioria das vezes, é feito de forma não controlada, e por conta disso, causa os incêndios florestais. Isso favorece e contribui para o aumento ou agravamento de degradação ambiental e ainda influencia as mudanças climáticas, afetando a qualidade ambiental e as populações principalmente, as de baixa renda.

Para Castro et al. (2009), os incêndios florestais e o uso do fogo em sistemas agrícolas afetam o equilíbrio dos ecossistemas, a saúde humana e, conseqüentemente, o planeta.

Desta forma, o fogo constitui um agente impactante por sua influência negativa, pois provoca quebra ou descontinuidade do retorno sucessional, tornando a composição da vegetação mais simples, tanto em termos de estrutura vegetacional quanto nas espécies ali inseridas. Vale ressaltar que cada ecossistema possui um histórico evolutivo de interações com o fogo e características peculiares, e isso pode variar no grau de impacto sofrido pela ação do fogo (LOUZADA et al., 2003).

2.2 Material combustível e sua relação com a propagação dos incêndios florestais

Constitui material combustível florestal todo e qualquer material orgânico no solo, e na sua superfície, que possui capacidade de queima ou de entrar em ignição, que podem estar distribuídos no meio sob diferentes tamanhos, quantidades, formas, tipos, e com teor de umidade variável (SOARES; BATISTA; NUNES, 2008).

A quantidade de material combustível é um fator determinante para propagação do fogo, bem como na quantidade de calor liberada. (SOARES; BATISTA, 2007). Outro aspecto que merece destaque é a umidade dos materiais combustíveis, pois este fator é essencial na estimativa dos parâmetros relacionados ao comportamento do fogo, tais como a velocidade de propagação e a intensidade que são parâmetros importantes na estimativa de um incêndio florestal (YEBRA et al., 2006).

Os combustíveis florestais podem ser classificados como perigosos, semiperigosos e verdes. Os perigosos são aqueles em estado seco, finos, como galhos com diâmetros menores que 1,0 cm, folhas, gramíneas, líquens. Os materiais semiperigosos são os materiais lenhosos, como troncos e/ou tocos de árvores, galhos com diâmetros maiores que 1,0 cm, incluindo ainda o húmus e a turfa. Os materiais verdes são compostos pela vegetação viva, sendo mais difíceis de serem queimados, pois possuem alto teor de umidade. Com exceção das coníferas, podem ser consideradas não inflamáveis, no entanto a liberação de calor da queima de materiais combustíveis próximos, podem secar esses materiais, tornando-os inflamáveis (SOARES; BATISTA; NUNES, 2008).

O material combustível florestal influencia no comportamento do fogo, no grau de ocorrência, associados a fatores como topografia e condições climáticas. Quantificar o material combustível constitui uma importante ferramenta de avaliação dos riscos de incêndios, pois

proporciona saber qual pode ser a potencialidade dos efeitos do incêndio (ANDREU et al., 2011).

Os combustíveis florestais podem ser estudados quanto a sua localização no interior do estrato florestal, ou seja, dentro do mesmo, o que dá informações de como pode ser o tipo de incêndio que poderá eventualmente ocorrer na área e as suas características essenciais, que podem causar interferência direta no comportamento do fogo. O material combustível é o único controlável se levarmos em consideração o triângulo do fogo (calor, oxigênio e material combustível), uma vez que este é caracterizado pelo tipo, pela quantidade e como este se encontra distribuído em determinado local (BEUTLING, 2005).

Segundo Soares (1979), o material combustível é um componente essencial no triângulo do fogo e, com a sua ausência, não há combustão, conseqüentemente, não poderá ocorrer a propagação dos incêndios florestais. Fosberg et al. (1981) afirmam que podem ocorrer várias combinações da forma, tamanho e arranjo dos materiais combustíveis no solo e que o clima e a umidade dos materiais diversificam o comportamento do fogo. Para Skarpe (1992), o acúmulo de material combustível e o período seco podem favorecer a ocorrência de incêndios, uma vez que, os relâmpagos podem influenciar no surgimento de focos e, conseqüentemente, causar os incêndios florestais.

Em estudos sob ambientes florestais de Mata Atlântica e em plantios de pinus e teca no Estado da Paraíba, Souto et al. (2009) constataram que, em área de Mata Atlântica, houve uma maior quantidade de material combustível, o que aumenta os riscos, bem como a dificuldade de controlar um incêndio florestal. Nos plantios de pinus, o material combustível ocorreu em equilíbrio entre as frações lenhosas, tendo destaque com relação às demais, pois houve a necessidade de reduzir a quantidade do material combustível a fim de diminuir os riscos dos incêndios na área. E nas áreas de teca, o material combustível vivo está propício e sob risco de incêndios. Os autores ainda destacam que o material combustível morto possui maior inflamabilidade, uma vez que se encontra seco e responde mais rapidamente às condições climáticas, sendo assim considerado o principal fator responsável pela propagação dos incêndios florestais.

2.3 Comportamento do fogo e suas características

As características da floresta e dos fatores ambientais causam efeitos diversificados pelo fogo em um devido local, em função do comportamento do fogo. Usado para descrever as principais características da queima ou de um incêndio florestal, o comportamento do fogo

refere-se à maneira que o fogo se manifesta desde o início da combustão, no desenvolvimento das chamas, na propagação e sua relação com fatores externos (BATISTA et al., 2013).

Macedo e Sardinha (1985) enfatizam que o comportamento do fogo resulta da união de fenômenos que podem apresentar grandes amplitudes de variação, isto devido ao fogo possuir características que agem em escalas muito amplas. Soares e Batista (2007) realçam que o comportamento do fogo indica sua ação, isto é, evidencia as características como velocidade e intensidade de queima. O tempo, o material, o calor liberado e a umidade podem influenciar no modo como o fogo age, consolidando a forte relação entre clima e condições de combustível, topografia, a técnica de queima e sua forma de ignição.

O comportamento do fogo durante a queima é governado pelos princípios da combustão, e seus efeitos variam de acordo com as condições ambientais. Isso está intrínseco com o triângulo do fogo e das fases da combustão, o que permite estimar alguns componentes do fogo com razoável precisão (SOARES; BATISTA, 2007)

Segundo Seger et al. (2012), o material combustível formado pela biomassa vegetal e que se encontra propício para a queima influencia os incêndios florestais. Rodrigues (2009) evidencia que a ignição e a propagação do fogo também são influenciadas pelas variações das características no tempo e no espaço, bem como pela distribuição espacial. Assim, segundo Rego e Botelho (1990), quanto maior quantidade de combustível, maior a intensidade da combustão.

A partir do estudo de sua tese de Doutorado, White (2014) desenvolveu no Brasil o software que avalia o comportamento do fogo, o Eucalyptus Fire Safety System 1.0 (EFSS), que realiza modelagens de risco e do comportamento do fogo. Existem outros softwares que avaliam o comportamento do fogo, porém estes não estão em consonância com a realidade climática do Brasil. No entanto, é válido ressaltar que os modelos empíricos de avaliação do comportamento do fogo ainda são métodos importantes de compreensão do fogo nos diversos ambientes e nos ecossistemas florestais, visto que contribuem para o manejo do fogo a partir de experimentos de queima (BILGILI; SAGLAM, 2003; KÜÇÜK et al, 2008; MENDES-LOPES et al., 2003; FERNANDES, 2001).

A intensidade do fogo e a velocidade de propagação constituem os parâmetros que expressam o comportamento do fogo, sendo estas as variáveis de maior importância nos planejamos de combate aos incêndios florestais (BEUTLING, 2009; BATISTA, 2009).

A real expressão da queima do material combustível é dada pelo comprimento das chamas que são influenciadas pelo arranjo do material combustível, o vento, o clima, topografia. Determinar com precisão os valores de comprimento das chamas é uma complexa a ser

definida, pois estes são obtidos durante a ocorrência do incêndio, e as chamas ocorrem de forma rápida e transitória (SOARES; BATISTA, 2007).

Conhecer o comportamento do fogo é fundamental para tomada de decisão. Para tanto, é necessária a compreensão do material combustível, pois proporciona o manejo adequado das condições ambientais, contribuindo para conter e controlar os incêndios, mantendo as condições essenciais nos ambientes manejados pelo homem (WHITE et al., 2013).

2.4 Cortinas de segurança na prevenção e proteção contra incêndios florestais

A silvicultura preventiva é uma prática que modifica o material combustível do ambiente, visando à proteção contra os incêndios florestais (HALTENHOFF, 2006). Pereira et al. (2007) evidenciaram técnicas da silvicultura preventiva como meio de prevenção da propagação do fogo, com objetivo de intervir na continuidade, quantidade e qualidade dos combustíveis florestais. O uso de espécies resistentes e que proporcionem a redução da propagação do fogo, dispostas e/ou implantadas perpendicularmente à direção dos ventos, é uma técnica de conservação também conhecida como aceiros verdes, cerca viva ou quebra ventos.

Técnicas de proteção contra o fogo como silviculturais preventiva são importantes para diminuir a ocorrência dos incêndios. Outro fator importante para adotar essas técnicas é na implantação dos povoamentos, já que estes são suscetíveis aos incêndios (SOARES, 2000). Em trabalhos realizados por Ribeiro et al. (2007), constataram que o sansão do campo e o hibisco foram as espécies dentre as estudadas que apresentaram melhores resultados como barreiras contra o fogo, sendo indicadas como cercas vivas. Para Soares (2000), manejar o material combustível utilizando plantas como cortinas de segurança é considerado ponto fundamental da silvicultura preventiva.

Batista et al. (2012) afirmam que técnicas silviculturais como os aceiros verdes são implantados com a finalidade de proteger ativos sob risco de fogo. Para isso, leva-se em consideração a topografia, o solo, a direção do vento, a insolação e especialmente a inflamabilidade das espécies utilizadas nos aceiros. Os autores ainda evidenciam outro aspecto importante em relação aos aceiros verdes: evitar os incêndios de copa, reduzindo a intensidade das chamas do incêndio e reduzindo a propagação do mesmo.

Outra técnica silvicultural eficaz recomendável na proteção contra o fogo é a diversificação da massa florestal, uma vez que a diversificação quebra a continuidade de uma única vegetação, principalmente se esta tiver elevada inflamabilidade. Isso proporciona heterogeneidade na área e no material combustível, com áreas de inflamabilidade

diversificadas, o que altera a intensidade de propagação do fogo, proporcionando maior sucesso no combate ao mesmo (MOTTA, 2008).

Batista e Biondi (2009) realçam que, no planejamento de implantação de cortinas de segurança como barreiras de proteção contra o fogo, a avaliação da inflamabilidade da copa torna-se de extrema importância, pois é pela queda de folhas e galhos da copa que se forma o material combustível superficial. Em experimentos utilizando partes constituintes da copa de *L. lucium*, demonstraram que a mesma é de baixa inflamabilidade, sendo esta recomendável para tal fim.

As cortinas de segurança são estabelecidas com a utilização de espécies menos inflamáveis, em faixas sempre perpendiculares ao vento e que podem ser implantadas nas margens de estradas, nas bordas de propriedades, em plantios, proporcionando a diversificação no material vegetal. Assim, é sempre apropriada a utilização da mistura de espécies no uso como cortinas de vegetação, pois estas contribuem para diversificar o material combustível (SOARES, 2000).

Para uma espécie ser considerada eficiente como cortina de segurança, espera-se os valores encontrados na frequência de ignição, duração da chama e da altura da chama, sejam inferiores, esses comparados aos valores apresentados por *P. taeda*, e superiores para o valor de tempo de ignição (KOVALSKI et al., 2016).

2.5 Características da inflamabilidade da vegetação

Determinar as características com relação à inflamabilidade é um fator essencial para contribuir na explicação das respostas das espécies em relação ao fogo (BOWMAN et al., 2014). A capacidade de um material combustível vegetal de inflamar e sustentar o fogo é considerada um dos pontos-chave na compreensão da inflamabilidade vegetação-fogo. (ANDERSON, 1970; VARNER et al., 2015).

Anderson (1970) inclui três componentes no conceito de inflamabilidade: o tempo de ignição, ou seja, tempo em que a primeira chama aparece; o sustento da combustão, ou seja, do aparecimento da primeira chama até o apagamento do fogo; e, por fechamento, o terceiro fator, a combustibilidade, que está relacionada à queima do combustível, incluindo outro aspecto descrito por Martin et al.(1993), sobre a consumibilidade, que demonstra a proporção de combustível consumida pelo fogo.

A inflamabilidade também pode ser analisada de acordo com as características ambientais envolvidas. Com isso, as plantas de inflamabilidade baixa podem ser afetadas, uma vez que as

espécies que apresentam elevada inflamabilidade possuem tendências a aumentar a intensidade e o espalhamento do fogo nesses ambientes (PEARCE, 2005).

De modo geral, a retenção do material morto, padrões de ramificação e o arranjo espacial dos combustíveis são características da vegetação consideradas como combustível que influencia a inflamabilidade (BOWMAN et al., 2014). A composição do arranjo do material combustível vegetal pode ser alterada por fatores como práticas agrícolas e florestais, surgimento de espécies invasoras, estado de conservação do ambiente pela ação antrópica. (KEELEY et al., 2012).

A temperatura somada ao tempo de exposição e características do material combustível condicionam a facilidade do ponto de ignição ou ponto de inflamabilidade (220 a 298°C) e a propagação do fogo. O ponto de ignição é a temperatura que o material combustível atinge, emitindo gases e assim formando as chamas, que ocorrem no aquecimento do material combustível, aumentando a temperatura do mesmo liberando vapor, em seguida, a vaporização dos óleos essenciais, resinas e hidrocarbonetos, que constituem gases de pirólise, culminando no ponto de inflamação (RODRÍGUEZ, 2010).

As propriedades químicas (água, lignina e sais minerais) e físicas (densidade, volume e umidade) afetam a inflamabilidade dos vegetais, associados a fatores fisionômicos como volume e densidade da copa, quantidade de material vivo e morto na copa, material combustível vivo ou morto que se encontra na superfície do solo e na própria planta e a arquitetura da planta (GILL; ZYLSTRA, 2005).

De acordo com Soares e Batista (2007), a umidade dos materiais vivos e mortos controla a inflamabilidade e evidencia as condições climáticas na região. Ao autores ainda enfocam que é necessário 1,2 t há⁻¹ de material combustível fino e seco disponível na área para que o incêndio florestal se propague, com enfoque no material com diâmetros menores que 1,0 cm, pois estes são mais perigosos.

Plantas que apresentam tolerância à seca, com alto teor de umidade, que não apresentam queda das folhas no inverno, não oleosas, cerosas ou resinosas, são características de plantas com baixa inflamabilidade e são indicadas para uso em cortinas de segurança (BATISTA; BIONDI, 2009). Plantas com elevados teores de terpenos voláteis podem influenciar a inflamabilidade espécies vegetais, ou seja, são caracterizadas como de alta inflamabilidade, por apresentarem óleos essenciais, ceras e resinas com alto teor de materiais voláteis (ALESSIO et al., 2008).

2.6 Poder calorífico da vegetação

Para Barros et al. (2009), conhecer o poder calorífico do material combustível constitui uma análise eficiente para determinação do potencial de queima, bem como um parâmetro importante com relação ao conhecimento da capacidade de queima da espécie. Almeida, Brito, Perré (2010) enfatizam que analisar o poder calorífico das espécies da subsídios para prevenção de incêndios florestais. Esta determinação constitui um método importante pois indica que espécies podem ser usadas em locais estratégicos para reduzir a intensidade do fogo. Ainda segundo o autor, o poder calorífico pode ser influenciado pelas características físicas, químicas e anatômicas das espécies, variando no conteúdo de energia liberado quando o material é queimado.

Segundo Jara (1989), poder calorífico se refere “à quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira”. O poder calorífico divide-se em poder calorífico superior e poder calorífico inferior. O poder calorífico superior é classificado quando a combustão ocorre a um volume constante e a água é condensada (SANTOS, 2012). Para Quirino et al. (2004), o poder calorífico é dado como superior pela quantidade de calorias liberadas pelo material combustível na sua combustão completa. Já o poder calorífico inferior é dito como a quantidade de calor capaz produzir um quilo de combustível por meio da combustão com excesso de ar e gases, com resfriamento da água, de modo a evitar a sua condensação.

Dependendo da espécie, a madeira possui poder calorífico variável. As folhosas possuem poder calorífico superior médio de 4.500 kcal g⁻¹, e as coníferas possuem poder calorífico superior em média de 5.200 kcal g⁻¹. Os teores de lignina, cinzas e extrativos são os principais fatores da composição química que causam essas variações. Com relação às características físicas, o teor de umidade afeta diretamente o poder calorífico das espécies, pois são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a umidade na madeira ou no material combustível, menor o poder calorífico dos mesmos (TRUGRILHO, 2004).

A condição de queima de um material é considerada como ideal quando se encontra absolutamente seco, mas também está diretamente influenciada pela constituição química da madeira – lignina e extrativos, que elevam seu potencial. Estudos que visem a determinação de parâmetros da vegetação, como a densidade da madeira e o poder calorífico das espécies florestais, são de suma importância no sentido de diminuir a intensidade dos incêndios (QUIRINO et al., 2005).

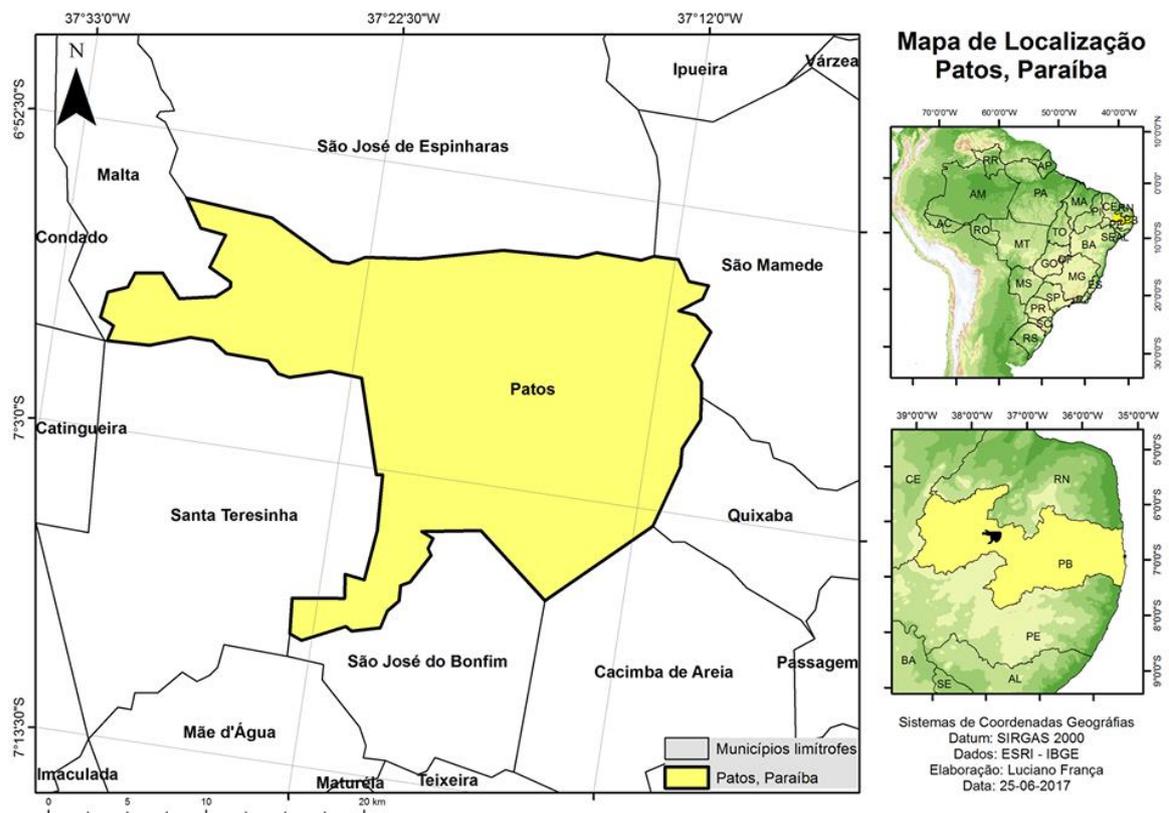
3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na cidade de Patos-PB, localizada no Sertão Paraibano, com altitude média de 250 m, entre as coordenadas 07°01'32" Sul e 37°16'40" Oeste (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014), é do tipo BSh, quente e seco, com duas épocas definidas, uma chuvosa e outra seca.

Apresenta precipitação média anual de 600 mm, temperatura média de 30°C e umidade relativa do ar em torno de 55%. Os solos predominantes na região são classificados como Luvisolos Crômicos e Neossolos Litólicos, ricos em nutrientes, porém com forte limitação física e de pequena espessura.

Figura 1- Mapa de localização da cidade de Patos-PB



Elaboração: Luciano Cavalcante de Jesus França.

3.2 Delineamento e Procedimento Experimental

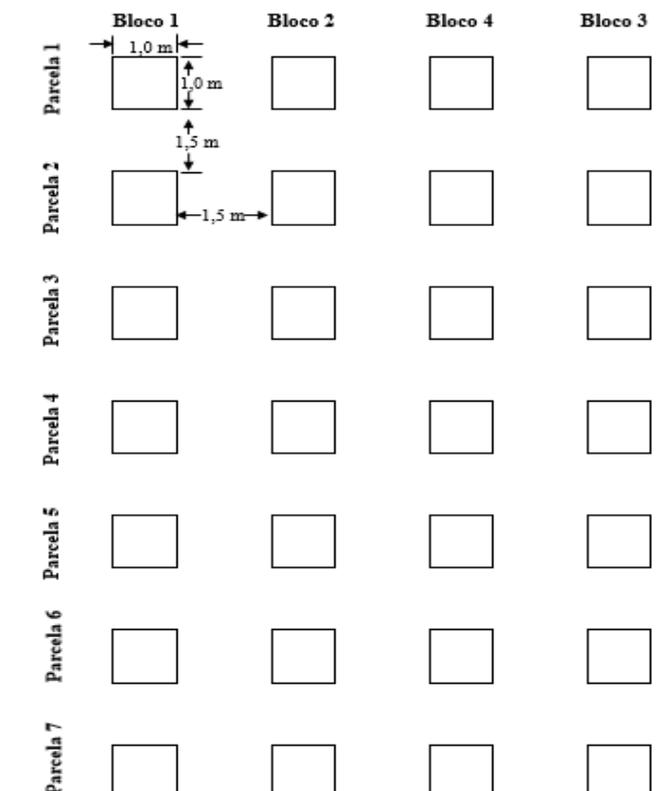
O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal da Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Patos-PB. Utilizou-se delineamento em blocos casualizados, com sete tratamentos representados pelas diferentes espécies da Caatinga, dispostas em quatro blocos.

Para o presente estudo, foram selecionadas três espécies de cactáceas e três espécies folhosas, a saber: *Opuntia sp.* (Palma), *Cereus jamacaru* DC. (Mandacaru), *Pilosocereus gounellei* (F.A.C.Weber) Byles & G.D. Rowley (Xique-xique), *Poincianella pyramidalis* (Tul.) LP Queiroz (Catingueira), *Cnidoscolus quercifolius* Pohl. (Faveleira), *Aspidosperma pyrifolium* Mart. (Pereiro).

Como tratamento controle, utilizou-se o *Pinus sp.*, uma vez que, durante a realização do experimento, ainda não havia na literatura uma espécie da Caatinga com elevada inflamabilidade para servir como testemunha. Dessa forma, com base em estudos realizados com comportamento de fogo e inflamabilidade, utilizou-se o *Pinus sp.* como testemunha. No entanto, Silva Neto (2017), avaliando inflamabilidade de diferentes fitofisionomias em espécies da Caatinga, constatou a elevada inflamabilidade do capim panasco (*Aristida adscensionis* L.), sendo considerada a espécie fogo da Caatinga.

Com auxílio de um gabarito, foram delimitadas parcelas com um metro quadrado, sorteando-se os blocos e o material de cada espécie. As parcelas foram organizadas a 1,5m uma da outra, bem como entre blocos, para que não houvesse interferência das chamas entre os tratamentos (Figura 2).

Figura 2- Croqui experimento em campo



3.3 Coleta do material vegetal

A coleta do material vegetal ocorreu de maneira destrutiva, sendo nas espécies folhosas e do tratamento testemunha, coletadas folhas e galhos com diâmetro \leq a 0,7 cm, a 50% de proporcionalidade, considerados como combustível os ramos finos das copas (SOARES; BATISTA, 2007). Para a classificação do diâmetro do material combustível nas folhosas e na testemunha, utilizou-se um calibrador de diâmetro (Figura 3). Em relação às cactáceas, a mensuração levou em consideração o porte vegetativo das mesmas.

Figura 3- Escolha e coleta do material combustível de *Cnidoscopus quercifolius*, no município de Patos-PB, e representação do calibrador de diâmetro.



Fonte: o autor (2019).

As coletas das amostras das espécies *Poincianella pyramidalis* (Catingueira), *Cnidoscopus quercifolius* (Faveleira) e *Aspidosperma pyrifolium* (Pereiro) foram realizadas na fazenda Nuperárido, pertencente à UFCG/CSTR, Campus de Patos-PB, em fevereiro de 2018. A coleta das amostras de *Pinus* ocorreu em plantios existentes no município de Areia-PB, pertencentes à Universidade Federal da Paraíba. As coletas de *Cereus jamacaru* (Mandacaru), *Opuntia sp.* (Palma) e o *Pilosocereus gounellei* (Xique-xique) ocorreram em maio de 2018, entre as cidades de Junco do Seridó e Juazeirinho, na Paraíba.

Cada material combustível coletado foi acondicionado em sacos de 60 kg, devidamente identificados. Após a coleta, as amostras de folhosas foram deixadas para secagem durante 90 dias, em um ambiente com circulação de ar no Viveiro Florestal da UFCG, em Patos-PB. Já as cactáceas foram deixadas para secagem durante 15 dias, em um galpão do viveiro.

Definiu-se o período de tempo de secagem (90 dias para as folhosas e 15 para as cactáceas) baseado no clima da região e no comportamento xerófilo e caducifólio das espécies

estudadas, uma vez que as susceptibilidades aos incêndios ocorrem na época do ano em que as plantas perdem as folhas, ou seja, na época de escassez de água.

Para as cactáceas, optou-se somente que as mesmas perdessem o excesso de água. Dessa forma, a queima ocorreu com intuito de reproduzir o comportamento do fogo nas parcelas, simulando a ação do incêndio no período de estiagem, para uma melhor homogeneidade do experimento com as condições reais no campo.

Figura 4- Secagem ao ar das cactáceas



Fonte: o autor (2019).

3.4 Determinação da umidade do material combustível

Para determinação da umidade, foram coletadas amostras de cada espécie, sendo estas acondicionadas em sacos plásticos bem vedados, para impedir a perda d'água, e levadas aos laboratórios de Nutrição de Plantas e Produtos Florestais, nas dependências do Centro de Saúde e Tecnologia Rural (CSTR), *Campus* de Patos-PB, determinando-se a massa e o teor de umidade.

Assim, retirou-se três amostras de cada tratamento, sendo pesado o material verde para determinar a massa fresca e, em seguida, cada amostra foi transferida para de sacos de papel, sendo colocadas para secar em uma estufa de circulação forçada de ar a 65°C, por 72h. Após esse procedimento as amostras foram pesadas em balança de precisão determinando-se a massa seca.

Figura 5- Pesagem do material combustível em balança digital (a) e secagem em estufa (b)



Fonte: o autor (2019).

O teor de umidade de cada espécie foi calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$U(\%) = \frac{MF-MS}{MS} * 100 \quad (1)$$

Em que:

U (%) = Umidade do material;

MF = Massa fresca;

MS = Massa seca.

3.5 Características avaliadas do comportamento do fogo

O comportamento do fogo foi avaliado por meio da queima de dois quilogramas de material combustível seco das folhosas e na testemunha (folhas e ramos finos) e, nas cactáceas, o procedimento adotado foi o preenchimento total do esquadro, espalhados homogeneamente nas parcelas e, posteriormente, realizou-se a pesagem desse material (Figura 6).

Figura 6- Pesagem, distribuição e homogeneização do material combustível nas parcelas. Distribuição da cactácea na parcela, com preenchimento do gabarito com a espécie *Opuntia sp.* (A); Pesagem da cactácea *Opuntia sp.* (B); Homogeneização do material combustível da folhosa *Aspidosperma pyrifolium* no gabarito (C).



Fonte: o autor (2019).

Em seguida, mediu-se a altura da manta do material combustível usando-se uma fita métrica, sendo esse procedimento realizado nos quatro lados da parcela para determinação da espessura média (Figura 7) e do volume do material combustível, conforme a equação:

$$v = l \times l \times h \quad (2)$$

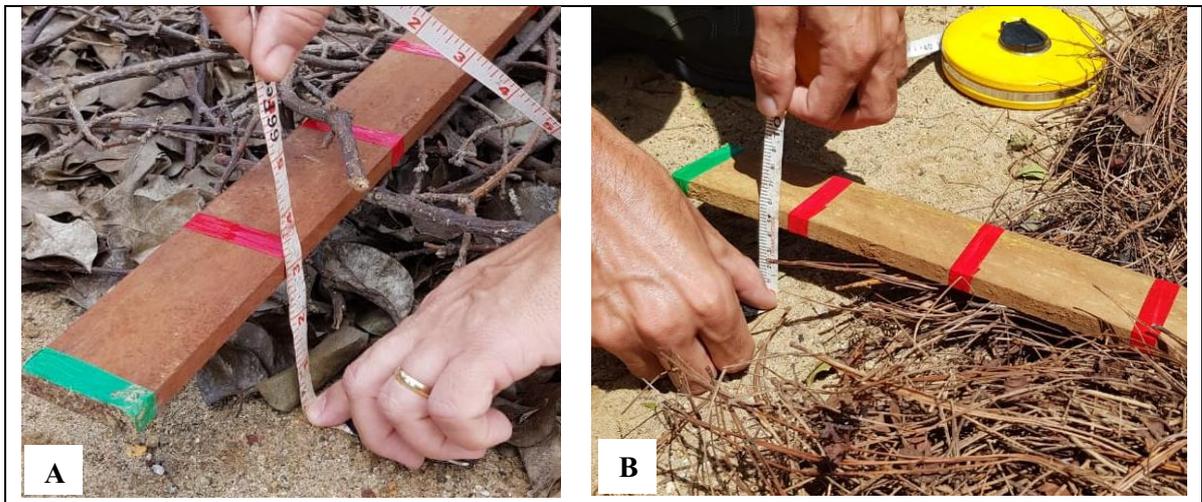
Em que:

v = volume da manta (m^3);

l = medida dos lados do esquadro (m);

h = altura da manta (m).

Figura 7 – Medição da altura da manta do material combustível de *Aspidosperma pyrifolium* (A) e manta de *Pinus* (B)



Fonte: o autor (2019)

Após esse procedimento, mediu-se a temperatura do solo e do material combustível, antes e depois da queima, utilizando-se termômetro digital portátil a laser (Figura 7).

A queima dos materiais combustíveis foi realizada na manhã do dia 18 de maio de 2018, cronometrada do início ao final da combustão, com duração total de 2h e 50min, entre a ignição da primeira parcela e a extinção total da última, tendo uma variação de tempo de queima entre as parcelas de 2'10" a 9'18". Realizou-se a queima diretamente no solo, para simulação da ação do incêndio do material combustível no solo, como ocorre no ambiente natural.

Figura 8 – Medição da temperatura do material combustível antes da queima em parcela de *Pinnus.sp* (A); após a queima parcela de *Aspidosperma pyrifolium* (B); e no solo, após a queima, em parcela de *Aspidosperma pyrifolium* (C).



Para a ignição do fogo nas parcelas, usou-se o lança-chamas, devido a sua intensidade, que facilita o processo de ignição e por simular as chamas de um incêndio natural, sendo útil na ação do fogo nos materiais combustíveis como um todo (Figura 9).

Figura 9 – Uso do lança-chamas na queima de materiais combustíveis das folhosas *Poincianella pyramidalis* (A); *Aspidosperma pyriformium* (B); das cactáceas *Cereus jamacaru* (C) e *Pilosocereus gounellei* (D).



Fonte: o autor (2019).

Durante a realização do experimento, foi registrada a umidade relativa do ar, por meio do aparelho termo higrômetro digital, e a velocidade do vento, com o auxílio do anemômetro, uma vez que, segundo Sant'anna; Fiedler; Minette (2007), a temperatura pode interagir na queima do material combustível e na velocidade de propagação do fogo, pois à medida que se eleva a temperatura do ar, maior será a temperatura do material combustível e menor a necessidade de calor para que este atinja a temperatura de ignição

Para a avaliação do comportamento do fogo, foram estimados os seguintes parâmetros:

-Tempo de ignição (TI): tempo em segundos que o material combustível levou para entrar em ignição, registrado com auxílio de cronômetro;

- **Frequência de ignição (FI):** número de repetições em que ocorreu ignição;
- **Tempo de duração da queima (TQ):** tempo de combustão em segundos do material combustível, também registrado com auxílio de cronômetro;
- **Altura das chamas (HC):** foi estimada com auxílio de uma régua graduada, com a fita vermelha marcando a cada 10 cm e a fita na cor verde marcando os 50 cm (Figura 10).

Figura 10- Medição da altura das chamas dos materiais combustíveis em parcelas de *Aspidosperma pyrifolium* utilizando régua graduada.



Fonte: o autor (2019).

- **Velocidade de propagação (VP):** tempo que o fogo leva para queimar um metro do material combustível.
- **Classificação da Velocidade de Propagação:** após esse procedimento, a velocidade de propagação foi classificada com base em Botelho e Ventura (1990), apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da velocidade de propagação do fogo.

Velocidade de propagação ($m s^{-1}$)	Classificação
< 0,033	Lenta
0,033-0,166	Média
0,166-1,166	Alta
> 1,166	Extrema

Fonte: Botelho e Ventura (1990)

- **Índice de combustibilidade (IC):** mensurado com base na média das alturas das chamas, designado conforme a Tabela 2. O índice de combustibilidade constitui um parâmetro novo de avaliação do comportamento do fogo e inflamabilidade de espécies, adaptado de Petriccione (2006). Com base nos trabalhos desenvolvidos na Caatinga por Ribeiro et. al. (2012), Bakke (2014), Silva Neto (2017), bem como nos resultados encontrados nesse estudo, foi possível a

determinação de um índice para experimento de campo que avalie a combustibilidade, ou seja, a capacidade do fogo de consumir o material e manter a sustentabilidade da queima, em vegetação de Caatinga, por meio da altura das chamas dos materiais combustíveis.

Tabela 2. Índice de combustibilidade (IC) para vegetação de Caatinga.

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

Adaptado de Petriccione, (2006).

- **Intensidade do fogo (I):** estimada conforme Byran (1959); Soares e Batista (2007), de acordo com a fórmula abaixo (2):

$$I = H \cdot w \cdot r \quad (3)$$

Em que:

I = intensidade do fogo (kW m^{-1});

H = poder calorífico do combustível (kJ kg^{-1});

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

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

A partir de estudos realizado por Ribeiro et. al. (2012), Bakke (2014), Silva Neto (2017), com comportamento do fogo em espécies da Caatinga, bem como com os obtidos nesse estudo, pôde-se designar, com base nos valores da intensidade do fogo, os limites de severidade para danos aceitáveis em espécies florestais da Caatinga, adaptando-se de Shakesby e Doerr (2006) e McArthur (1967), que se encontram na Tabela 3.

Tabela 3- Intensidade do fogo e nível de aceitação da severidade para espécies florestais da Caatinga.

Intensidade do fogo kW m^{-1}	Severidade
< 10	Muito baixo
11 – 41	Moderadamente Baixo
42 – 60	Baixo
61 – 81	Moderado
82 – 112	Moderadamente Alto
113 – 143	Alto
> 143	Muito Alto

Adaptado de Shakesby e Doerr (2006) e McArthur (1967).

- **Energia liberada por tratamento** (H_a): A Energia liberada foi calculada com adaptação baseada na equação proposta de Rothermel e Deeming (1980):

$$H_a = H \cdot 2 \quad (4)$$

H_a = Energia liberada por tratamento (kcal m²);

H = Poder calorífico do combustível (kcal kg⁻¹);

2 = Fator de correção em relação ao peso do combustível disponível.

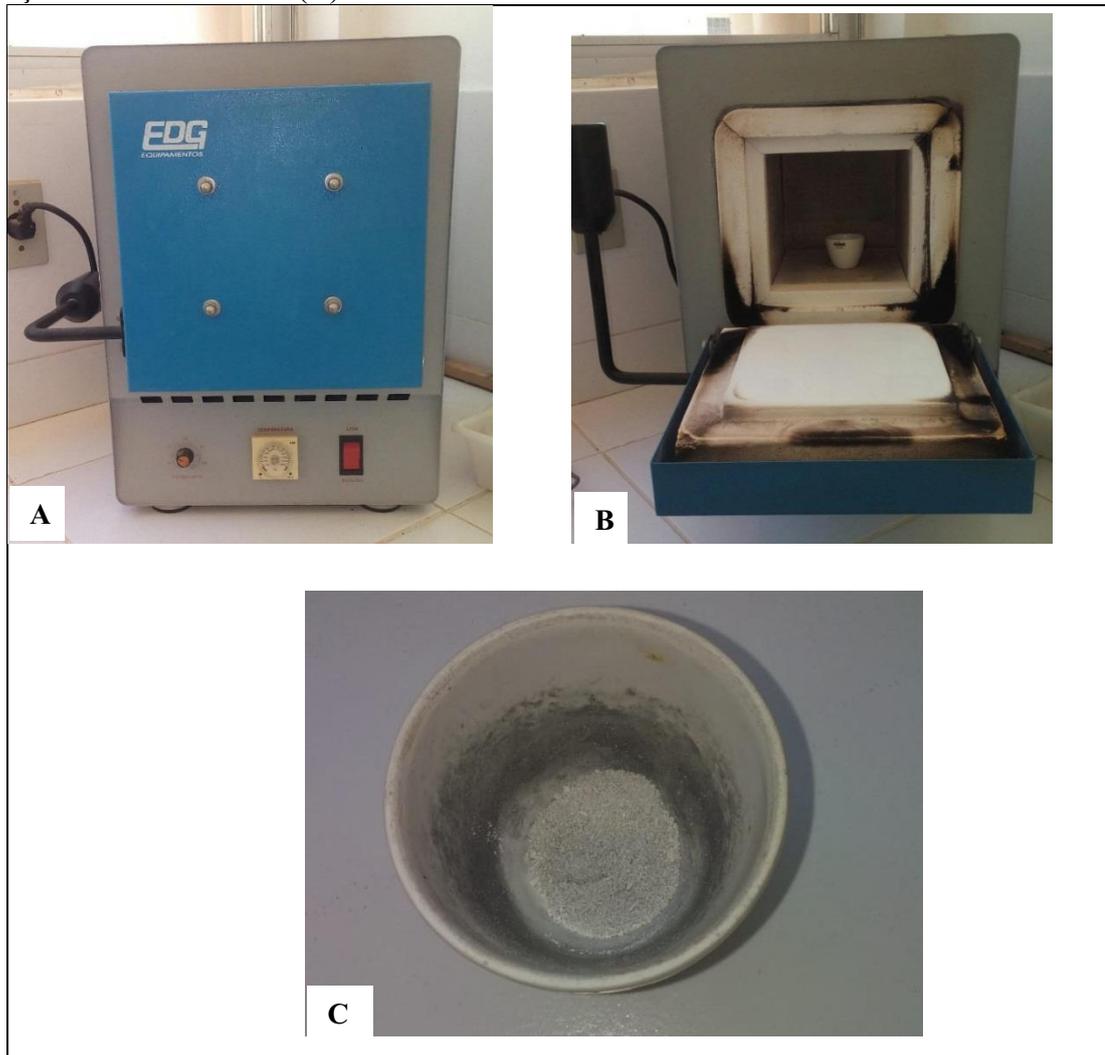
3.6 Determinação do poder calorífico

Para obtenção do poder calorífico, utilizaram-se as mesmas amostras na determinação da umidade, homogeneizando o material combustível, tendo assim a utilização das mesmas plantas na determinação da umidade, na queima e do poder calorífico. As amostras das cactáceas para poderem ser trituradas e moídas foram secas em estufa a uma temperatura de 65° C, por um período de 120h. Já as folhosas foram secas também na temperatura 65° C porém, por um período de 72h, sendo estas armazenadas em um recipiente térmico até o término da secagem das cactáceas, para evitar alteração das propriedades.

As amostras foram trituradas e moídas em moinho de facas do tipo Willey, com malha de 1mm, sendo armazenadas (50g) e identificadas em recipientes plásticos com tampa. Em seguida, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Nutrição Animal/CSTR/UFPG, *Campus* de Patos-PB, para os procedimentos laboratoriais descritos a seguir:

- **Determinação do Teor de Cinzas:** Para a obtenção das cinzas, foram colocados em estufa de esterilização e secagem cadinhos de porcelana, durante toda a noite na estufa, dispensando desse modo, a verificação de constância de peso. Após 14h, retiraram-se os cadinhos da estufa, colocando-os em um dessecador, por uma hora aproximadamente, até estabilização com a temperatura ambiente. Após esse procedimento, pesou-se os cadinhos, com auxílio de uma balança analítica de aproximadamente 0,1 mg, anotando-se o peso. O mesmo procedimento foi adotado para as cápsulas metálicas do calorímetro para determinação do poder calorífico. Em seguida, colocou-se no forno tipo mufla a uma temperatura de 600° C, por um período de 6h40min, cerca de 1,6 g de cada amostra em duplicata até obter a cor cinza clara (Figura 11).

Figura 11 – Queima do material combustível utilizando o forno tipo mufla (A e B) para obtenção do teor de cinzas (C) de cada amostra



Fonte: o autor (2019).

As amostras foram retiradas da mufla, e colocadas em dessecador para resfriar por 1 hora. Em seguida, foram pesadas e os valores anotados para determinação do teor de cinzas conforme equação abaixo:

$$Cinzas(\%) = \frac{\text{peso (cinzas da mufla)}}{\text{peso (amostra da estufa a } 105^{\circ}\text{)}} * 100 \quad (5)$$

- Determinação do poder calorífico: A determinação do poder calorífico superior foi realizada utilizando a bomba calorimétrica de Parr. Para isso, foram utilizadas quatro repetições de cada material combustível estudado. As amostras foram pesadas 1,6 g dentro de cápsulas metálicas, esterilizadas e pesadas em balança analítica de aproximadamente 0,1 mg. As cápsulas contendo

as amostras foram colocadas dentro de um vaso de pressão, adicionando-se 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-se a combustão do material em um ambiente fechado (Figura 12).

Figura 12 - Procedimento experimental para obtenção do poder calorífico. Pressurização da bomba (A); imersão da bomba no recipiente com água (B).



Fonte: o autor (2019).

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. A combustão da amostra provoca a elevação da temperatura da água em que a bomba está imersa. Medindo-se a elevação da temperatura da água, em condições adiabáticas, e conhecendo-se o equivalente hidrotérmico da bomba (2,453), calculou-se o poder calorífico dos materiais combustíveis, conforme equação abaixo:

$$PCS = \frac{(TF - TI) * 2,453}{ASA} \quad (6)$$

Em que:

PCS = Poder calorífico superior do combustível (kcal kg⁻¹); TF = Temperatura final; TI = Temperatura inicial; ASA = Peso da amostra em cadinho pré-seca moída.

O processamento dos dados e as tabelas foram elaborados utilizando-se a planilha eletrônica EXCEL 2013 da Microsoft. As análises estatísticas dos dados obtidos no experimento foram realizadas utilizando o *software* Sisvar versão 5.6, submetidos à análise de variância aplicando os Testes de SNK para parâmetros de inflamabilidade e Tukey para

parâmetros relacionados ao poder calorífico, para comparação de médias, ambos a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições Meteorológicas

Na Tabela 4, encontram-se os dados meteorológicos registrados durante a realização da queima dos materiais combustíveis. Mediu-se, a cada 30 minutos, a umidade relativa do ar, a temperatura e a velocidade do vento, cujos valores médios foram 32,82%, 26°C e de 2,99 m s⁻¹, Norte, respectivamente; sendo realizada a favor do vento.

Tabela 4- Condições meteorológicas durante a realização da queima dos diferentes materiais combustíveis.

Data 18/05/2018	Variáveis meteorológicas				Sequência/ sorteio de blocos + queima
	Temperatura (°C)	UR* (%)	VV (km h ⁻¹)	SQ	
Início do Experimento	26	39	3,6	3, 2,6,7,1,5 e 4.	1
40 min após início	28	31,2	3,1	5,4,2,1,6,7 e 3	2
110 min após início	31	31,7	2,5	1,2,5,4,3,7 e 6	4
150 min após início	29	29,4	2,5	6,1,4,7,3,5 e 2	3
Média Geral	28	32,82	2,92	-	-

UR: Umidade Relativa VV: Velocidade do Vento SQ: Sorteio da queima das parcelas no bloco
*Tratamentos: 1- Palma, 2- Pinus, 3- Mandacaru, 4- Pereiro, 5- Catingueira, 6- Xique-xique e 7-Faveleira

As condições meteorológicas apresentaram valores relativamente homogêneos durante a realização da queima, com temperatura média variando entre 26°C e 31°C; umidade relativa do ar entre 29,4% a 39% e ventos de 2,5 a 3,6 m s⁻¹. Segundo Soares e Batista (2007), quando a velocidade dos ventos estiverem entre 2 e 5 m s⁻¹, os mesmos são classificados, de acordo com a escala de Beaufort et al. (1975), como muito fracos, o que favorece para uma lenta propagação do fogo, contribuindo para uma queima homogênea.

4.2 Teor de Umidade

As cactáceas somente apresentaram desidratação suficiente para ser constatado o teor de umidade real contido nas mesmas a 120h constante em estufa de circulação, sob temperatura de 65°C. Também somente nessa condição foi possível a obtenção de amostras para serem moídas e assim determinar o poder calorífico superior.

Isso é explicado devido à quantidade de dias em estufa, pois, quanto maior tempo em estufa, mais umidade é perdida, até que se estabilize por meio da pesagem da massa seca, evidenciando o teor real de umidade contido no material. O elevado teor de armazenamento de água em seus cladódios impediu que fossem moídas em menor tempo de secagem. Os dados obtidos são evidenciados na Tabela 5.

Tabela 5– Teor médio de umidade de diferentes materiais combustíveis de folhosas e cactáceas.

Tratamentos	Nome popular	Umidade 72h em estufa (%)	Umidade 120h em estufa (%)
<i>Opuntia sp.</i>	Palma	145,23	286,15
<i>Pinus sp</i>	Pinus	148,27	-
<i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru	178,34	356,86
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Pereiro	136,25	-
<i>Poincianella pyramidalis</i>	Catingueira	79,77	-
<i>Pilosocereus gounellei</i>	Xique-xique	181,15	414,18
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	Faveleira	224,13	-

As folhosas e a testemunha (*Pinus*) permaneceram à temperatura constante de 65°C, durante 72 horas, isto porque somente nessa condição, pôde-se determinar o teor de umidade real o material da espécie *Cnidoscolus quercifolius* (faveleira), bem como para ser moída, devido à presença de látex e ao seu elevado teor de umidade.

Segundo Batista et al. (2012), essas diferenças podem ser atribuídas à época de coleta, ao estado fisiológico e ao mecanismo de troca ou permanência das folhas. Para Weir e Lamb (2014), o teor de umidade do material combustível pode mudar dinamicamente com o clima, porém a composição e estrutura dos materiais combustíveis são mais estáveis sobre o comportamento do fogo.

O material da *Opuntia sp.* (palma) registrou o menor valor no teor de umidade entre as cactáceas em estufa a 120h com 286,15 %, sendo os maiores valores de umidade registrados nos materiais do *Pilosocereus gounellei* (xique-xique), com 414,18%, e do *Cereus jamacaru* (mandacaru), com 356,86 %.

O tratamento *Pilosocereus gounellei* (T6) foi o que registrou maior teor de umidade dentre as cactáceas a 72h em estufa (181,15%). Já entre os demais tratamentos, os valores mais elevados foram encontrados nos tratamentos com pinus (T2), com 148,27%, e no tratamento com *Aspidosperma pyrifolium* (T4), com 136,25%.

Kovalskyi et. al. (2016), avaliando inflamabilidade de espécies arbóreas no sul do Brasil para indicação como cortinas de segurança, encontraram variações nos teores de umidade entre

os tratamentos testados de 128% a 210,6%, em que as espécies estudadas foram classificadas como fracamente inflamáveis, exceto o pinus.

Batista e Biondi (2009), avaliando inflamabilidade de *Ligustrum lucidum* para indicação como cortina de segurança, tendo o pinus como tratamento testemunha, constataram uma umidade de 169% para o *L. lucidum* e 154% para o pinus. Tian et al. (2007), avaliando também a combustibilidade de várias espécies, verificaram que a *L. lucidum* apresentou o maior teor de umidade, com 210,6%, e elevado tempo de ignição (62s), porém, com elevada taxa de liberação de calor. Batista et al. (2012) relatam a baixa inflamabilidade de *Michelia champaca*, com teor de umidade de 183,7%. Weise et al. (2005), encontraram variações nos teores de umidade entre 180 a 304% em plantas ornamentais norte-americanas.

A umidade pode influenciar negativamente no material combustível para geração de energia, pois pode alterar na quantidade de calor liberado na combustão, interferindo na eficiência energética. No processo de combustão, parte da energia liberada é aproveitada para evaporar a água referente ao teor de umidade, diminuindo o poder calorífico superior (LIMA et al., 2008).

Para Quirino et al. (2005), o conteúdo de umidade provoca perda de calor nos gases de combustão sob forma de vapor d'água, uma vez que a umidade é evaporada absorvendo energia em combustão. Müzel et. al. (2014) também afirmam que o teor de umidade influencia diretamente no potencial energético, pois, quanto maior a umidade, menor será o poder calorífico.

4.3 Comportamento do fogo

Para análise do comportamento e avaliação da inflamabilidade, inicialmente verificou-se a frequência de ignição do fogo (FI), que consiste na quantidade de vezes que o material combustível foi submetido às chamas até entrar em ignição, considerando frequência máxima de ignição igual a 3, ao tempo livre, ou seja, tempo que o material levou para entrar em ignição (TI) em segundos (Tabela 6).

Tabela 6 - Frequência e tempo de ignição dos materiais combustíveis.

Tratamentos	Nome popular	FI (Repetições)	Tempo de Ignição (s)
<i>Opuntia sp.</i>	Palma	3	60,07 b
<i>Pinus sp</i>	Pinus	1	1,50 a
<i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru	3	66,270 b
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Pereiro	2	6,75 a
<i>Poincianella pyramidalis</i>	Catingueira	3	4,25 a
<i>Pilosocereus gounellei</i>	Xique-xique	3	68,79 b
<i>Cnidioscolus quercifolius</i>	Faveleira	3	5,0 a
CV (%)	-	-	17,41

FI: Frequência de Ignição. Letras iguais indicam que, ao nível de 5%, não existe diferença significativa entre as médias, pelo teste de SNK.

Verificou-se que os materiais combustíveis da palma, do mandacaru, do xique-xique e as parcelas das folhosas catingueira e faveleira obtiveram as frequências máximas, comparadas com as parcelas de pinus, que apresentou a menor frequência dentre os materiais combustíveis para ignição do fogo.

A não combustão do fogo nas cactáceas foi evidenciada pela dificuldade de ignição das mesmas, pois apenas os espinhos entraram em combustão, não ocorrendo queima nos cladódios, o que diferiu dos demais tratamentos, resultando em propagação nula do fogo ou sendo consideradas negativas. Não foram encontradas pesquisas relacionadas com as cactáceas como cortina de proteção contra o fogo.

A palma pode conter, em média, 90% de água em sua composição (SANTOS et. al., 2006). Estima-se que o xique-xique e o mandacaru podem conter cerca de 70 a 90% de água na sua composição. O conteúdo de água existente em um material deve ser expulso para que o mesmo possa entrar em ignição (SOUZA, 2015). Como a composição das cactáceas, em sua maioria, é água, é necessário, portanto, que haja uma temperatura extremamente elevada para promover a ignição.

As folhosas apresentaram frequência consideravelmente elevada para ignição do fogo, sendo necessárias duas tentativas para iniciar a combustão para o pereiro, três tentativas para a catingueira e aveleira. Apesar disso, as folhosas levaram pouco tempo para entrar em ignição quando estas foram submetidas à ação de chamas, apresentando-se estatisticamente semelhantes à testemunha, com pouco mais de cinco segundos entre a maior média das folhosas (pereiro) com a média da testemunha (pinus).

Batista e Biondi (2009), avaliando inflamabilidade de *L. lucidum*, constataram a não ignição da mesma, quando coletadas e queimadas 48 horas antes da queima, e constataram dificuldade de ignição e propagação do fogo nos materiais combustíveis testados.

Diferenças na composição das espécies, deterioração do material e a umidade podem atuar para determinar a ignição, intensidade da linha de fogo, taxa propagação do fogo e consumo de combustíveis. Essas características de comportamento de fogo são denominadas coletivamente de capacidade de um combustível para queimar (GILL; ZYLSTRA, 2005).

O tempo de combustão (TC) que é a sustentabilidade do fogo no material combustível foi avaliado em todos os tratamentos, diferindo estatisticamente entre si (Tabela 7). O tratamento com pinus registrou maior valor. A catingueira e o pereiro foram estatisticamente iguais, indicando que há partes constituintes dessas espécies da Caatinga com inflamabilidade elevada, característica que anula a indicação do uso das mesmas como cortina de vegetação. Nas cactáceas, o TC foi avaliado pela combustão dos espinhos, já que esta foi a única parte

constituente que entrou em combustão, e isso reflete nos valores mais baixos das cactáceas em relação às folhosas.

Tabela 7- Valores médios do tempo de combustão em diferentes materiais combustíveis.

Tratamentos	Nome popular	Tempo de Combustão (s)	
<i>Opuntia sp</i>	Palma	1,25	c
<i>Pinus sp</i>	Pinus	874,50	a
<i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru	3,25	c
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Pereiro	454,00	b
<i>Poincianella pyramidalis</i>	Catingueira	454,25	b
<i>Pilosocereus gounellei</i>	Xique-xique	1,75	c
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	Faveleira	125,50	c
CV (%)	-	56,77	

Letras iguais indicam que, ao nível de 5%, não existe diferença significativa entre as médias, pelo teste de SNK.

Verificou-se que a faveleira não diferiu das cactáceas, o que evidencia a baixa inflamabilidade da espécie. Dentre as folhosas, a faveleira apresentou o maior teor de umidade, o que influenciou na baixa inflamabilidade do material combustível (Figura 13), proporcionando o que se denomina de umidade de extinção do fogo.

Figura 13- Aspectos da extinção da combustão em material combustível de *Cnidoscolus quercifolius*. Continua ...





Fonte: o autor (2019).

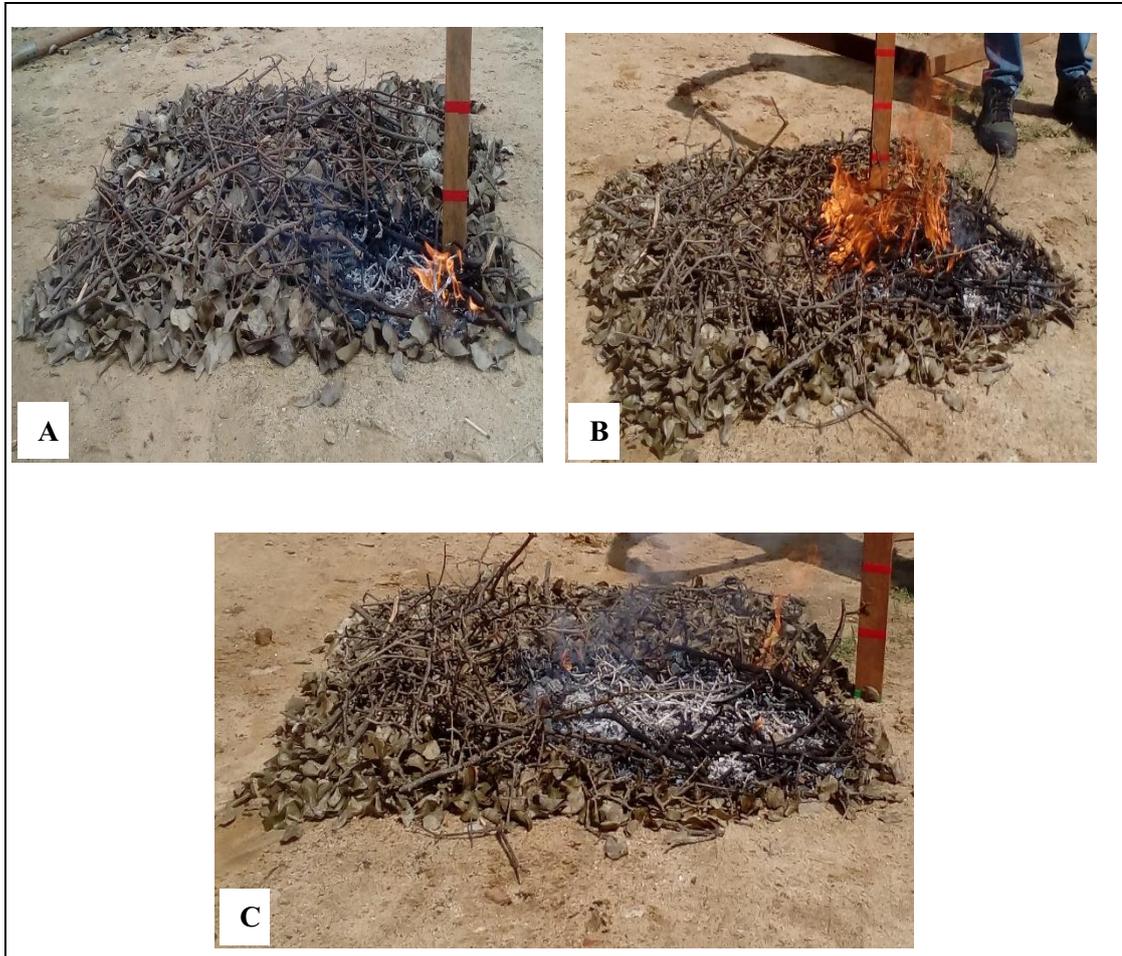
Observa-se ainda, na figura anterior, que os galhos da faveleira não foram totalmente consumidos pelo fogo, enquanto que as folhas foram consumidas em maior proporção. Esse comportamento do fogo nesse material combustível revela que os galhos possuem pouca inflamabilidade em relação às folhas, confirmando a diferença de inflamabilidade entre as partes da planta.

Nas cactáceas, o eficiente armazenamento da água, que é o mecanismo de sobrevivência para a espécie no ambiente xérico, proporcionou a não ignição e inflamabilidade nula desse material combustível em todos os tratamentos, confirmando sua eficiência, não somente como cerca viva contra animais, mas também como cortina de segurança contra incêndios florestais. Assim, fica comprovado, no presente estudo, que a probabilidade de ignição do fogo nesses vegetais é nula.

Para o meio ecológico, a pouca sustentabilidade do fogo nos materiais combustíveis de cactáceas e faveleira, em ambientes semiáridos como a Caatinga, pode influenciar o comportamento do fogo, favorecendo a não propagação do mesmo, o que irá amenizar os impactos do fogo no ecossistema com elevado risco de ocorrência de incêndios florestais, como é a Caatinga.

Em relação ao pereiro, verifica-se, na Figura 14, que os galhos entraram em combustão com maior intensidade, podendo manter a combustão desse material combustível, comportamento contrário ao observado com o material da faveleira.

Figura 14- Aspectos da combustão do material combustível proveniente da *Aspidosperma pyrifolium*. (A) Parcela no início da combustão após duas frequências de ignição; (B) parcela em combustão com maior intensidade nas galhadas; (C) Extinção do fogo.



Fonte: o autor (2019).

Bakke (2014), quantificando o material combustível e comportamento fogo em área de Caatinga, evidenciou o pereiro com baixa inflamabilidade. No entanto, como nesta pesquisa ocorreu a quantificação do material combustível no piso florestal e sendo o pereiro uma espécie caducifólia, ocorreu acúmulo de suas folhas na superfície do solo, com poucos vestígios de galhos. Neste caso, a fração que compõe o material combustível em maior quantidade é a de folhas e isso pode reduzir a probabilidade de propagação do fogo.

Conhecer e entender essa dinâmica no ambiente permite considerar um ótimo mecanismo indireto de defesa contra incêndios florestais para as espécies de floresta seca como a Caatinga, devendo outros estudos serem desenvolvidos, levando-se em consideração a composição das folhas, e galhos das espécies vegetais.

Estudos realizados por Clark et. al., (2014), para testar a inflamabilidade do combustível de folhas e de serapilheira, constataram que as folhas longas e onduladas tinham maior intensidade de queima, com rápida duração e com potencial de consumir mais combustível. Souza (2015) também enfatiza que a nervura das folhas pode influenciar a inflamabilidade, pois, quanto mais largas e maiores proporções, os teores de água presente na folha também são elevados.

Aspectos similares com relação à inflamabilidade de espécies da Caatinga foram constatados em serapilheira de catingueira (*Poincianella pyramidalis*), verificados por Ribeiro et. al. (2012), constando que as folhas de catingueira (*Poincianella pyramidalis*), presente na serapilheira proporcionaram menor inflamabilidade com relação aos demais tratamentos. Segundo os autores, isso pode ser causado pela composição das folhas ou pela acomodação das mesmas na pilha do material combustível, que impedia a entrada de oxigênio suficiente para manter a sustentabilidade da queima.

É importante destacar que uma mesma planta pode conter diferença na inflamabilidade entre suas partes e, no caso do presente estudo, isso foi evidenciado em galhos finos, com diâmetros $\leq 0,7$ cm e as folhas presentes nos mesmos. Assim, este estudo reforça a importância de entender os modelos e mecanismos de inflamabilidade presentes nas plantas e sua ação na serapilheira das florestas, como ferramenta de grande relevância para elaboração de programas de prevenção contra o fogo em ecossistemas susceptíveis ao mesmo.

Na Tabela 8, podem ser visualizados os valores da altura da chama (HC) e a designação do índice de combustibilidade (IC), que representa a capacidade que a biomassa vegetal tem de queimar, verificada através da altura da chama, que foi adaptado de Petriccione (2006), para experimentos de campo para espécies de Caatinga utilizadas no presente estudo.

O material combustível de *Aspidosperma pyrifolium* apresentou altura média da chama acima de 55,0 cm, diferindo-se estatisticamente dos demais tratamentos. No entanto, com base no IC, a altura das chamas dessa espécie foi classificada com IC médio, mesma classificação atribuída ao material combustível de pinus e da catingueira, que não apresentaram diferença estatística entre si, com relação à altura da chama.

Tabela 8- Altura da chama (HC) em cm, o índice de combustibilidade (IC) e a designação do IC para os materiais combustíveis em área de Caatinga na Paraíba.

Espécie	Nome popular	HC (cm)	(IC)	Designação do IC
<i>Opuntia sp</i>	Palma	1,00 c	1	Muito Baixo
<i>Pinus sp</i>	Pinus	32,50 b	3	Médio
<i>C. jamacaru</i>	Mandacaru	2,00 c	1	Muito Baixo
<i>A. pyrifolium</i>	Pereiro	55,00 a	3	Médio
<i>P. pyramidalis</i>	Catingueira	26,25 b	2	Baixo
<i>P. gounellei</i>	Xique-xique	1,00 c	1	Muito Baixo
<i>C. quercifolius</i>	Faveleira	13,75 bc	1	Baixo
CV(%)	-	57,07	-	-

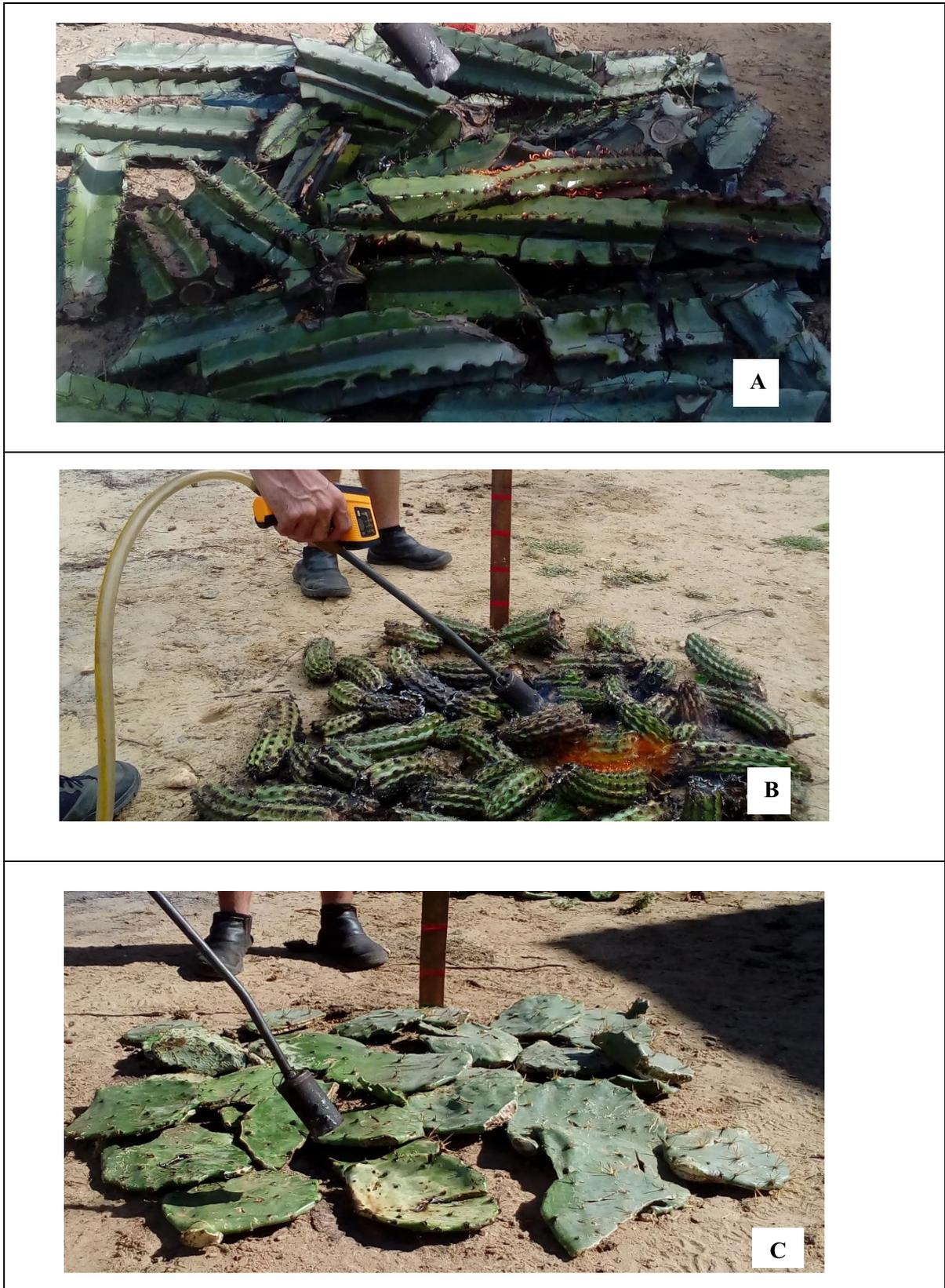
Letras iguais indicam que, ao nível de 5%, não existe diferença significativa entre as médias, pelo teste de SNK. Fonte: O autor (2019), adaptado de Petriccione (2006).

A combustibilidade de *Aspidosperma pyrifolium* relacionou-se diretamente pela ação da combustão nos galhos, o que eleva a intensidade do fogo do material combustível consumindo-o com maior rapidez, apresentando índice de combustibilidade médio igual a 3, para ambientes como a Caatinga. Devido ao comportamento do fogo nas galhadas de *Aspidosperma pyrifolium*, esse material pode ser considerado inflamável no ambiente.

Somente o material combustível da espécie *Cnidoscolus quercifolius* (IC igual a 1), apresentou um baixo índice de combustibilidade, mesmo apresentado para as cactáceas, com pouco consumo do fogo nas parcelas e pouca sustentabilidade das chamas, que logo entravam em extinção. Para esta espécie, isso pode estar associado às suas propriedades químicas, como, por exemplo, o seu aspecto leitoso, devido à presença do látex na sua constituição, que pode funcionar como inibidor do fogo.

As cactáceas apresentaram índice de combustibilidade muito baixo igual a 1, pois a altura de suas chamas variaram de um centímetro, como foi o caso da *Opuntia sp.* e do *Pilosocereus gounellei*, a dois centímetros, como o caso do *Cereus jamacaru*. A combustibilidade, nesses materiais vegetais, ocorreu apenas nos espinhos, não havendo presença de fogo nos cladódios, apenas o escurecimento dos mesmos, sendo consideradas como plantas não inflamáveis (Figura 15).

Figura 15 – Material combustível das cactáceas submetidos à queima. Legenda: (A): *Cereus jamacaru*; (B) *Pilosocereus gounellei*; (C) *Opuntia* sp.



Fonte: o autor, (2019).

Dessa forma, a inflamabilidade das espécies está intimamente ligada à capacidade de entrar em ignição e à potencialidade de se manter em combustão, ou seja, a sustentabilidade da queima e a combustibilidade dos materiais evidencia o quanto podem ser consumidos pelo fogo.

Segundo Serger (2015), o arranjo e a carga de material combustível podem causar alterações na altura das chamas, provocando distribuição heterogênea do fogo na área de ocorrência. Molina et al. (2017) destacam que a caracterização do material combustível em campo, em condições reais, é necessária para estimar o potencial de inflamabilidade. Todavia, Schwilk (2015) chama atenção pelo fato de que poucos estudos tentaram avaliar a inflamabilidade usando escala de campo experimentos de fogo, devido a restrições de autorização, segurança e custos.

White e Zipperer (2010), examinando e realizando a classificação de plantas na Califórnia, com base no comportamento do fogo para seleção de plantas interconexão florestal-urbana, verificaram que a altura da chama (HC) foi considerada como indicador potencial de combustibilidade, enfatizando a importância da HC na avaliação da inflamabilidade.

Silva Neto (2017) verificou em experimento de campo, a elevada potencialidade da inflamabilidade do capim panasco (*Aristida adscensionis*), utilizando a altura da chama como um dos parâmetros para análise do comportamento do fogo, recomendou a implantação de aceiros onde há predominância desse material vegetal, como forma preventiva para evitar a continuidade e impedir a propagação do fogo.

Assim, evidencia-se a importância de se conhecer a inflamabilidade das plantas, uma vez que estas são usadas tanto para cerca contra animais, no paisagismo e outros usos, o que pode causar divergências com relação à segurança na proteção contra incêndios. Não é recomendável o uso de uma espécie como cortina de segurança sem o real conhecimento da potencialidade de entrar em ignição e cujo desconhecimento pode levar o proprietário a danos irreparáveis a sua propriedade e ao meio ambiente.

Uma divisória feita com vegetação, para fins de paisagismo por exemplo, de forma empírica, sem levar em consideração a inflamabilidade da vegetação, pode colocar em perigo a segurança do local, elevando o risco de incêndio na área. No semiárido brasileiro, plantas do gênero *Opuntia* são comumente encontradas como forma de proteção contra invasão de animais. Nesse caso, a planta promove também a proteção contra incêndios florestais, porém o intuito do produtor não é a proteção contra ação do fogo, mas sim contra a dos animais. Assim, empiricamente, a propriedade fica segura da ação do fogo na superfície.

Na Tabela 9, pode-se observar a avaliação do comportamento do fogo com relação às variáveis velocidade de propagação e intensidade do fogo, bem como a classificação da velocidade de propagação.

Tabela 9- Médias para as variáveis do comportamento do fogo ($p < 0,05$), durante a queima dos materiais combustíveis.

Espécie/material combustível	Velocidade de propagação (m s⁻¹)	Intensidade (kW m⁻¹)	Classificação da velocidade de propagação
<i>Opuntia sp</i>	0,0 b	0,0 c	Lenta
<i>Pinus sp</i>	0,04883 a	133,00 a	Média
<i>Cereus jamacaru</i>	0,0 b	0,0 c	Lenta
<i>Aspidosperma pyriformium</i>	0,01223 b	109,96 a	Lenta
<i>Poincianella pyramidalis</i>	0,00864 b	80,68 b	Lenta
<i>Pilosocereus gounellei</i>	0,0 b	0,0 c	Lenta
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	0,00509 b	41,79 bc	Lenta
CV (%)	64,42	64,38	-

Letras iguais indicam que, ao nível de 5%, não existe diferença significativa entre as médias, pelo teste de SNK.

Com relação à velocidade de propagação do fogo, o tratamento testemunha *Pinus sp* diferiu estatisticamente dos demais e se enquadrou na classificação de alastramento como média, de acordo com a classificação de Botelho e Ventura (1990). Os demais tratamentos (folhosas e cactáceas) foram estatisticamente iguais, apresentando baixa velocidade de propagação, o que os incluiu na classificação como lenta.

Nas cactáceas não houve propagação do fogo, pois apesar do uso do lança-chamas, o material vegetal não entrou em combustão e, conseqüentemente, não apresentaram intensidade, sendo consideradas não inflamáveis. Com relação as folhosas, nota-se que o material de *Cnidoscolus quercifolius* (Faveleira) apresenta a menor velocidade de propagação do fogo, seguida da *Poincianella pyramidalis* (Catingueira) e da *Aspidosperma pyriformium* (Pereiro).

Comparando com os resultados reportados por Ribeiro et al. (2012), os autores também constaram lenta velocidade de propagação em diferentes épocas de amostragem no material combustível superficial de *Poincianella pyramidalis* (Catingueira) e *Aspidosperma pyriformium* (Pereiro), coletados em área de Caatinga preservada, sendo estes considerados de baixa inflamabilidade. Bakke (2014) também verificou lenta propagação do fogo em resíduos dessas mesmas espécies coletados áreas de Caatinga.

Silva Neto (2017) constatou uma lenta velocidade de propagação do fogo na queima de material combustível das espécies da caatinga: *Aristida adscensionis* (capim panasco), *Tabebuia aurea* (craibeira,); *Ziziphus joazeiro* (juazeiro); *Croton sonderianus* (marmeleiro),

Licania rígida (oiticica) que registraram valores abaixo de $0,033 \text{ m s}^{-1}$.

Apesar da lenta propagação do fogo nas folhosas (Tabela 9), verificou-se a intensidade elevada do material combustível de *Aspidosperma pyriformium* (Pereiro), pela capacidade de queima dos seus galhos, uma vez que possuem maior capacidade de entrar em ignição e de combustibilidade em relação às folhas.

Para a Caatinga, isso se torna um fato interessante do ponto de vista ecológico, relacionado a incêndios de copa, pois, ao entrarem em ignição, as chamas produzidas nos galhos do pereiro podem consumir a planta por inteiro, já que esta é uma árvore de comportamento caducifólio. Vale ressaltar que o diâmetro dos galhos queimados nesse estudo, foi \leq que 0,7 centímetros.

O *Aspidosperma pyriformium* (Pereiro) não apresentou diferenças estatísticas da testemunha (*Pinus* sp) em relação à intensidade do fogo, porém diferiu dos demais tratamentos. A Catingueira apresentou semelhança com relação à variável intensidade do fogo apenas com Faveleira.

Já o material combustível de *Cnidoscolus quercifolius* (Faveleira) apresentou semelhança estatisticamente com as cactáceas, sendo esta última a única folhosa a apresentar resultados mais próximos com relação a inflamabilidade com as cactáceas estudadas, comprovando a baixa inflamabilidade do material combustível de *Cnidoscolus quercifolius* (Faveleira). Apesar da similaridade na velocidade de propagação do fogo, estatisticamente, os tratamentos apresentaram as maiores diferenças na variável intensidade (Tabela 9).

Neste estudo, constatou-se que a intensidade da queima constitui um dos parâmetros fundamentais na determinação de espécies com inflamabilidade, podendo evidenciar a existência de inflamabilidade em diferentes partes de uma mesma planta, tomando por base a energia liberada por essas partes.

A intensidade constitui a variável de maior importância quando se estuda comportamento do fogo, uma vez que esta evidencia a magnitude da combustão, tornando-se um parâmetro indispensável na avaliação dos efeitos do fogo no meio ambiente (BATISTA; BEATLING; RIBEIRO, 2013). Fieldler et. al. (2015) destacam que a reação da combustão está diretamente relacionada com a intensidade do material combustível, para caracterizar o comportamento do fogo.

Neste estudo, o cálculo da intensidade do fogo, apresentados na Tabela 9, evidencia uma associação segura entre altura da chama (Tabela 8) e da intensidade do fogo, apresentando uma variação apenas no tratamento com *Pinus* em relação à altura chama e à estimativa da intensidade da queima. Entretanto, Santoni et al. (2006) apontam que as variáveis podem

apresentar variação nas características avaliadas.

Batista, Beutling e Ribeiro (2013) relataram que é possível obter uma boa estimativa da intensidade do fogo através das dimensões das chamas e que, por isso, é muito usado na comparação de queimas em experimentos com incêndios florestais.

Batista e Biondi (2009) estimaram intensidade do fogo, em *L. lucidum*, em 24,288 kW m⁻¹, *Pinus* apresentando 110,843 kW m⁻¹. Silva Neto (2017) encontrou em espécies da Caatinga, os seguintes valores: 127,48 kW m⁻¹ para *Aristida adscensionis* (capim panasco), 14,39 kW m⁻¹ para *Tabebuia aurea* (craibeira,); 23,58 kW m⁻¹ para *Ziziphus joazeiro* (juazeiro); 17,35 kW m⁻¹ para *Croton sonderianus* (marmeleiro); 20,05 kW m⁻¹ para *Licania rigida* (oiticica); 9,21 kW m⁻¹ para serapilheira e 75,16 kW m⁻¹ para o *Pinus*.

A partir dos resultados obtidos com a intensidade do fogo, pode-se simular o grau da severidade dos tratamentos no meio ambiente natural, que constitui a ação do fogo no meio ambiente, ou seja, os impactos no ecossistema. Dessa forma, a severidade foi designada conforme Tabela 3, e os valores apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Nível de aceitação da severidade dos materiais combustíveis da Caatinga.

Tratamentos	Nome popular	Intensidade (kW m ⁻¹)	Índice de severidade considerado
<i>Opuntia sp.</i>	Palma	0,0 c	Muito baixo
<i>Pinus sp</i>	Pinus	133,00 a	Alto
<i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru	0,0 c	Muito baixo
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Pereiro	109,96 a	Moderadamente Alto
<i>Poincianella pyramidalis</i>	Catingueira	80,68 b	Moderado
<i>Pilosocereus gounellei</i>	Xique-xique	0,0 c	Muito baixo
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	Faveleira	41,79 bc	Baixo

Fonte: O autor (2019), adaptado de Shakesby e Doerr (2006) e McArthur (1967).

Verificou-se que as cactáceas são as únicas espécies que apresentaram um nível de severidade muito baixo, não apresentando risco de propagação de incêndios.

Outro aspecto que chama a atenção novamente é o material da espécie *Cnidoscolus quercifolius* (faveleira), que apresenta um baixo índice de severidade no meio ecológico e, conforme indicam os resultados, mesmo que entre em ignição, a intensidade do fogo é muito baixa, com chamas que não causam consumibilidade e, conseqüentemente, o fogo não se sustenta e se extingue sozinho.

Pode-se observar que o material de *Poincianella pyramidalis* (catingueira) apresentou nível moderado de severidade do fogo, evidenciando que apesar de não ser considerada como espécie inflamável por Ribeiro et al. (2012) e Bakke (2014), pode apresentar risco na

propagação do fogo, dependendo da concentração do material combustível no solo, pois não se conhece sua propagação em grandes concentrações. O material de *Aspidosperma pyriforme* (pereiro) foi única folhosa que apresentou grau modernamente alto, uma resposta direta com a intensidade da queima provocada pela combustão dos galhos durante a queima.

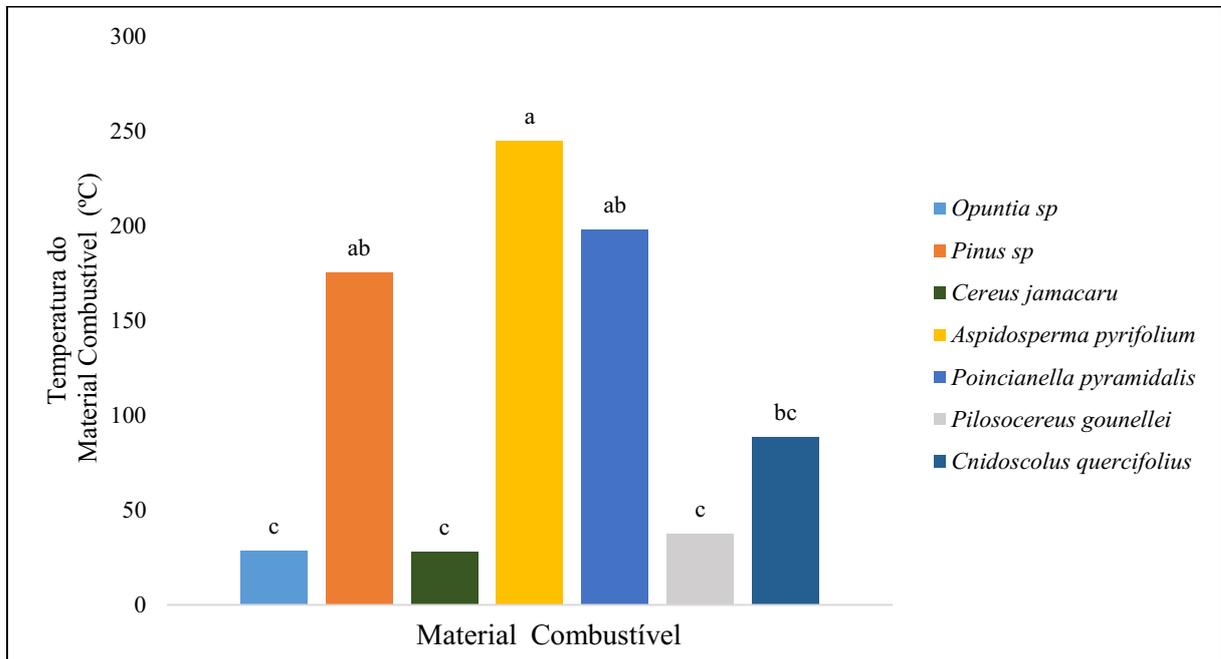
Keely (2009) ressalta que os efeitos do fogo são frequentemente variáveis dentro e entre os diferentes ecossistemas e que estimar a intensidade do fogo constitui um parâmetro necessário, pois pode fornecer uma descrição preliminar da gravidade do fogo. Para o autor supracitado, a severidade do fogo refere-se à perda ou decomposição da matéria orgânica acima e abaixo do solo, e as medidas desse parâmetro variam entre os ecossistemas. A severidade do fogo inclui erosão, regeneração da vegetação, recolonização da fauna, restauração da estrutura da comunidade e uma infinidade de outras variáveis de resposta.

Prever como a intensidade ou gravidade do incêndio afetará as respostas é fundamental para o gerenciamento pós-fogo. Reconhecer a importância sobre a severidade do fogo ou da queima e a resposta do ecossistema constitui um argumento que poderia ser colocado em pauta, tanto pelos impactos no meio ambiente ecológico quanto para a sociedade, no entanto, para essas questões, verifica-se a pouca consideração.

Apesar de ser um parâmetro emergente em estudos relacionados com a severidade do fogo na Caatinga, o uso desse parâmetro mostrou-se eficiente quando comparado com a intensidade do fogo das espécies. O parâmetro ainda pode proporcionar o conhecimento das respostas diferenciadas entre as espécies do bioma Caatinga e contribuir com o manejo dos recursos naturais.

Verificou-se que, em experimentos de campo, não é comum a medida da temperatura dos materiais combustíveis testados logo após a combustão. Neste estudo, foi constatada a diferença significativa entre os tratamentos (Figura 16).

Figura 16 - Valores médios da elevação da temperatura do material combustível de cactáceas e folhosas após a queima (CV%= 55,90). Letras iguais indicam que, ao nível de 5%, não existe diferença significativa entre as médias, pelo teste SNK.



Fonte: o autor (2019).

Constatou-se que o material de *Aspidosperma pyriformium* (pereiro) registrou a maior elevação de temperatura, superando o tratamento testemunha (*Pinus*), apesar de semelhantes estatisticamente pelo teste SNK. A temperatura do material combustível nas parcelas com material de *Aspidosperma pyriformium* (pereiro) variou de 190°C, na menor temperatura a 300°C, na maior temperatura registrada pós combustão, enquanto que, nas parcelas com material de *Pinus*, variou entre 92°C a 272°C. Outro tratamento que superou as temperaturas do tratamento com *Pinus* foi o material da *Poincianella pyramidalis* (catingueira), variando entre 152°C, na menor temperatura, a 216°C, na maior temperatura.

Embora o material das espécies supracitadas tenha apresentado temperaturas médias superiores às do tratamento testemunha (*Pinus*), poucas parcelas desses tratamentos foram totalmente consumidas pelo fogo. Já o material nas parcelas do tratamento testemunha *Pinus* foi completamente consumido, mantendo a sustentabilidade da queima em todas elas. Isso evidencia que a sustentabilidade de um incêndio depende diretamente da capacidade de combustibilidade do material combustível.

As cactáceas foram os tratamentos com as menores médias de temperatura, pós-tentativa de ignição. As temperaturas das cactáceas foram medidas justamente no ponto em que os cladódios estavam escuros, quando sofreram a maior intensidade do fogo do lança-chamas. O

material da espécie *Opuntia ficus indica* (palma) variou entre 21,2°C-36,4°C obtendo a menor variação de temperatura entre as cactáceas, sendo que o material do *Pilosocereus gounellei* (xique-xique) variou entre 30,5°C-51,0°C, e o do *Cereus jamacaru* (mandacaru) variou de 18,0 °C a 42,0 °C.

Foi possível observar a dificuldade de as cactáceas entrarem em ignição, mesmo sofrendo elevação da temperatura do material combustível. Albin (1992) afirma que, quanto mais umidade na composição do material combustível, maior será o tempo e quantidade de calor recebida para secagem para ignição do fogo.

Houve dificuldade de se compararem os resultados da temperatura dos materiais combustíveis com outros autores, devido à não existência de trabalhos que avaliassem este parâmetro. No entanto, conhecer a temperatura que os materiais podem atingir permite estimativa da magnitude que esses materiais combustíveis podem causar no ecossistema e determinar medidas preventivas que auxiliam no manejo dos recursos naturais.

Outro fator importante que deve ser levado em consideração é a ação da inflamabilidade da espécie na superfície do solo, pois, dependendo da intensidade e do tempo que o material vegetal permanece em combustão, isso pode acarretar em perdas consideráveis ao meio ambiente.

Keely (2009) destaca alguns parâmetros que podem ser avaliados relacionados à ação do fogo nos solos, que incluem mudanças na estrutura do solo, no crescimento de plantas, na infiltração e retenção de água, escoamento superficial e erosão, que, em muitos casos, são indiretamente relacionados à decomposição da matéria orgânica. Souto (2006) aponta a importância da atividade biológica do solo, pois esta é ocasionada por meio de transformações físicas e químicas da matéria orgânica depositada no solo, agindo como um ciclo que mantém a sustentabilidade dos ambientes.

Neste estudo, os tratamentos não apresentaram diferença estatística com relação à temperatura do solo (Tabela 11).

Tabela 11- Valores médios ($p < 0,05$) do aumento da temperatura do solo após a queima dos materiais combustíveis pelo teste Tukey. (CV%= 77,80); (dms 43,17).

Tratamentos	Nome popular	Temperatura solo (°C)
<i>Opuntia sp.</i>	Palma	6,05 a
<i>Pinus sp</i>	Pinus	37,60 a
<i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru	11,75 a
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Pereiro	37,42 a
<i>Poincianella pyramidalis</i>	Catingueira	19,77 a
<i>Pilosocereus gounellei</i>	Xique-xique	10,27 a
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	Faveleira	32,55 a

Letras iguais indicam que, ao nível de 5%, não existe diferença significativa entre as médias, pelo teste SNK.

Embora os tratamentos não tenham apresentado diferença estatisticamente na temperatura do solo (dms 43,17), constatou-se que a temperatura do solo nas parcelas com material combustível de *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) foi a mais próxima da temperatura do solo no tratamento com *Pinus* (testemunha), atingindo a mesma temperatura de elevação. Silva Neto (2017) constatou que a maior elevação também ocorreu com *Pinus*, com 36,7°C, próximo aos resultados constatados neste estudo (37,6°C).

Verificou-se também nas parcelas com material de *Cnidoscolus quercifolius* (faveleira), que registrou uma elevação da temperatura considerável, ultrapassando a temperatura do solo nas parcelas com material *Poincianella pyramidalis* (catingueira), que obteve maior tempo de combustão, índice de combustibilidade e maior índice severidade que a *Cnidoscolus quercifolius*. Isso está relacionado à espessura, distribuição, volume, densidade da manta de cada parcela e a composição química de cada espécie.

Ribeiro et al. (2012) ressaltam que a manta do material combustível de *Poincianella pyramidalis* tornou a pilha mais densa e de combustão lenta, devido à forma de acomodação na pilha, deixando pouco espaço para circulação do oxigênio. Neste estudo, as pilhas de *Cnidoscolus quercifolius* possuíam maiores espaços entre folhas e galhos que as mantas de *Poincianella pyramidalis*, o que pode ter favorecido a maior intensidade do fogo na parte interna da manta, resultando numa maior elevação de temperatura do solo.

A forma com que as folhas de *Poincianella pyramidalis* agregam-se no solo, age como retardante natural do fogo, embora a planta apresente um grau moderado de severidade, o que evidencia divergência na inflamabilidade entre as partes da planta. Neste estudo, foi possível verificar que as folhas também serviram como retardantes e impediram a propagação do fogo, assim como nas parcelas de *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro). Também se verificou que há divergência de inflamabilidade entre as partes vegetais de *Cnidoscolus quercifolius* (faveleira), uma vez que as folhas da faveleira foram consumidas e seus galhos foram pouco afetados pelo fogo.

Souza (2015) afirma que características como teor de umidade, a composição química e energética, a disposição e espessura das folhas das árvores podem influenciar na inflamabilidade, interferindo na propagação do fogo na vegetação.

Nas parcelas com as cactáceas, apresentaram-se as menores elevações de temperaturas no solo entre os tratamentos estudados, obtendo resultados positivos em relação às folhosas, evidenciando novamente sua eficiência na minimização dos impactos quando da ocorrência dos incêndios florestais no meio ambiente. De maneira geral, pode-se afirmar que as cactáceas

estudadas podem ser utilizadas como escudo ou cortina de segurança na prevenção de incêndios, pois estas podem impedir a propagação do fogo e propiciar pouca alteração no solo.

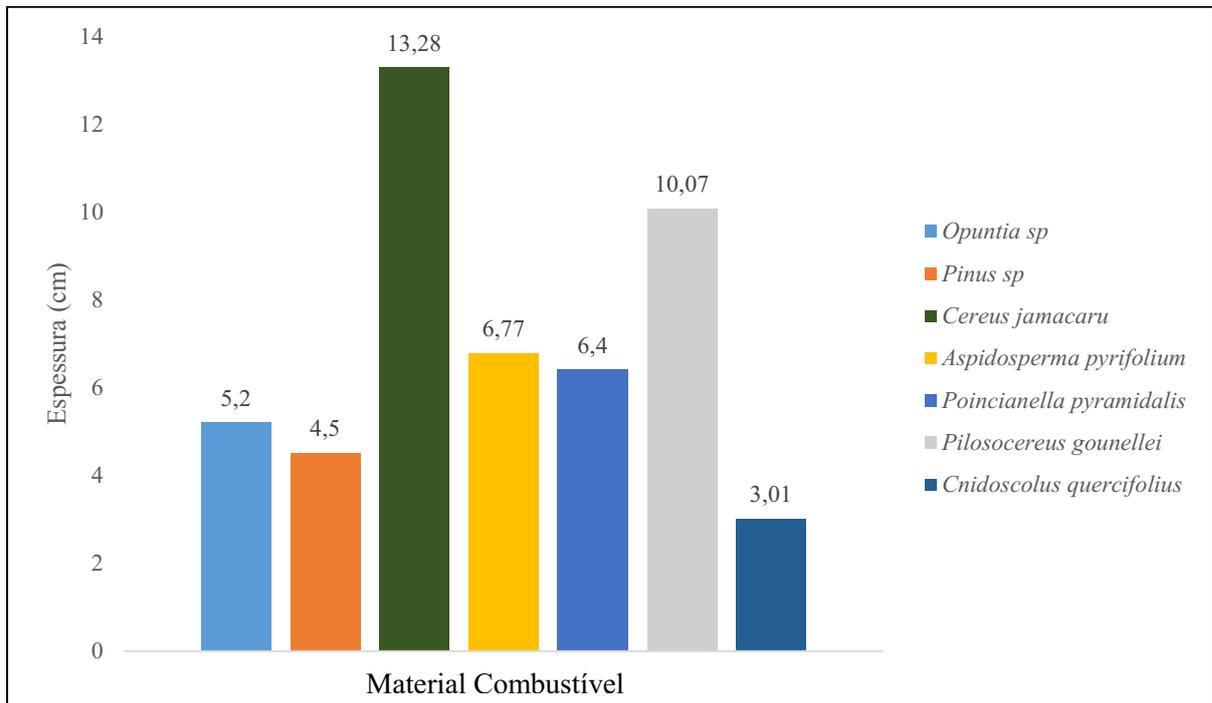
Redin et al. (2011) afirmam que a ação do fogo no solo depende de vários fatores, dentre os quais: o tipo de solo, cobertura vegetal, duração, intensidade e frequência do fogo, de forma direta ou indireta, além de alterações de natureza física, química e biológica, que podem ser temporárias ou permanentes.

Os efeitos diretos do fogo no solo incluem perda de vegetação, combustão do horizonte orgânico pelo aquecimento do solo, perda de nitrogênio e carbono para a atmosfera e deposição de carvão e cinzas. E, a longo prazo, incluem umidade e pH alterados, aumento da erosão, efeitos físicos da deposição de carvão (BOERNER, 2006; CAIRNEY E BASTIAS, 2007). Bronik e Lal (2005) afirmam que, após um incêndio florestal, a erosão do solo acelera devido à vegetação parcialmente ou totalmente destruída, e a camada superior do solo fértil pode desaparecer.

Houve dificuldade de comparação dos resultados desta pesquisa com outros trabalhos, tanto na variável relacionada à temperatura dos materiais combustíveis, quanto na temperatura do solo, não somente na Caatinga, como também em outras regiões do país, pois a maioria dos trabalhos não abordam esses parâmetros, que, por sua vez, são fundamentais na prevenção dos impactos causados pelos incêndios florestais.

A espessura constitui outro parâmetro que afeta o comportamento do fogo, que, segundo Rothermel (1972), pode afetar comprimento das chamas e a velocidade de propagação do fogo. Neste estudo, verificou-se que a parcela com o material do *Cereus jamacaru* (mandacaru) apresentou a maior espessura média, com 13,28 cm, seguido da parcela do *Pilosocereus gounellei* (xique-xique), com 10,07 cm, devido ao porte vegetativo dos mesmos (Figura 17). A menor espessura média entre os tratamentos, com 3,1 cm, foi nas parcelas com material *Cnidocolus quercifolius* (faveleira).

Figura 17- Espessura média das parcelas dos materiais combustíveis de cactáceas e folhosas antes da queima



Fonte: o autor (2019).

Silva Neto (2017), constatou as parcelas com material de *Pinus* com maior espessura média, seguidas do material nas parcelas da *Licania rigida* (oiticica), com 3,0 cm, valores inferiores a maioria dos tratamentos estudados nessa pesquisa. Constata-se, assim, que a espessura média do material combustível, aliada com a capacidade de retenção de água das cactáceas estudadas, formam uma resistente barreira contra o fogo.

Serger et al. (2013), estudando o comportamento do fogo em queimas controladas de vegetação estepe gramíneo-lenhosa, no Estado do Paraná, constataram que espessura e a proporção de material morto, associadas com o arranjo do material, influenciaram na quantidade de material consumido.

A espessura e o volume acumulado dos materiais combustíveis no solo podem fornecer padrões do comportamento do fogo que podem ser usados na prevenção de incêndios por meio do controle desses materiais, quando estes se tornam ameaça eminente.

Quanto ao volume das pilhas, medido antes da queima, verificou-se diferença significativa entre os tratamentos. O maior volume médio foi constatado no tratamento com material de *Cereus jamacaru* (mandacaru), com 0,132 m³, e o tratamento com menor volume foi registrado nas parcelas com material de *Cnidoscolus quercifolius* (faveleira), contendo média de 0,03 m³ (Tabela 12).

Tabela 12- Valores médios ($p < 0,05$) do volume das mantas dos materiais combustíveis antes da queima, pelo teste SNK.

Espécie	Nome popular	Volume da manta (m³)
<i>Opuntia sp.</i>	Palma	0,052 bc
<i>Pinus sp.</i>	Pinus	0,045 bc
<i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru	0,132 a
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Pereiro	0,067 bc
<i>Poincianella pyramidalis</i>	Catingueira	0,064 bc
<i>Pilosocereus gounellei</i>	Xique Xique	0,100 ab
<i>Cnidocolus quercifolius</i>	Faveira	0,030 c
CV%		38,00

Fonte: o autor (2019).

As parcelas contendo materiais com *Opuntia sp.* (palma), *Pinus*, *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) e *Poincianella pyramidalis* (catingueira) não apresentaram diferenças quanto ao volume. Em campo, observou-se que as mesmas apresentavam aspectos parecidos quanto ao volume, porém tinham arranjo e distribuição diferentes entre os tratamentos.

Por meio da análise do volume das pilhas e do comportamento fogo dos materiais combustíveis, verificou-se que as características de cada material, aliadas ao volume, podem agir como catalizadores ou retardantes do fogo no ecossistema, ou seja, o volume de material combustível interfere diretamente nesse contexto, podendo acelerar a ação do fogo no meio, tornando-se um problema, ou pode impedir ou mesmo extinguir o fogo. A quantidade de material combustível associado à espessura e o volume contido nas parcelas proporcionaram resultados estatísticos relacionados à queima dos materiais combustíveis.

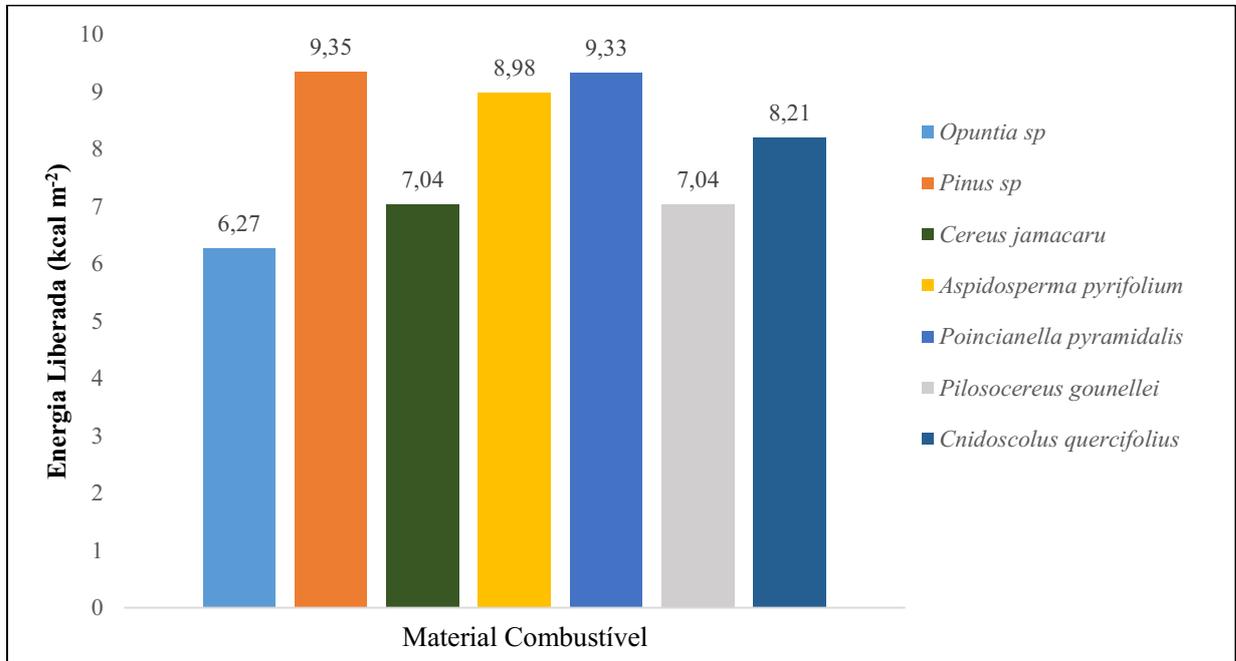
Fernandes e Cruz (2012) defendem testes com inflamabilidade em campo, não focando somente em laboratório, pois experimentos de campo são simulações adequadas do comportamento e da dinâmica do fogo em escala real.

Assim, pode-se afirmar que trabalhos de campo avaliando a inflamabilidade e ou comportamento do fogo utilizando a manta ou material combustível em solo exposto são importantes, pois proporcionam conhecimentos ímpares nos padrões do comportamento do fogo e do potencial de inflamabilidade no ecossistema.

A quantidade de material combustível e o tipo de material influenciam também em outro parâmetro importante no comportamento do fogo, que é a energia liberada por unidade de área no incêndio. No presente estudo, estimou-se a energia liberada, sendo os resultados apresentados na Figura 18. As menores médias de energia liberada por unidade de área dentre os tratamentos foram 6,27 kcal m⁻², para o material da *Opuntia sp.* (palma), e 7,04 kcal m⁻²,

para o material do *Cereus jamacaru* (mandacaru) e *Pilosocereus gounellei* (xique-xique), respectivamente.

Figura 18- Médias da quantidade de energia liberada (H_a) por unidade de área por tratamento.



Fonte: o autor (2019), adaptada de Rothermel e Deeming (1980).

Observou-se a proximidade entre os resultados da energia liberada entre os materiais combustíveis de *Pinus* que apresentou 9,35 kcal m⁻², da *Poincianella pyramidalis* (catingueira) com 9,33 kcal m⁻², e da *Aspidosperma pyriformium* (pereiro) com 8,98 kcal m⁻². Verificou-se que o material da *Poincianella pyramidalis* superou o material proveniente de *Aspidosperma pyriformium* em relação à energia liberada, fato que está relacionado à velocidade de propagação do fogo com poder calorífico do material da *Poincianella pyramidalis*, pois a mesma apresentou menor velocidade de propagação e maior poder calorífico, propiciando maior energia liberada por unidade de área.

Uma menor velocidade de propagação do fogo, aliada ao poder calorífico, permite maior quantidade de calor desprendida, por permanecer mais tempo em combustão, emitindo maior quantidade de energia. Isso evidencia a importância de conhecer os aspectos diferenciados dos materiais combustíveis, pois permite o estabelecer parâmetros nos quais os materiais podem se tornar riscos para o meio ambiente.

Dentre as folhosas, o material da *Cnidoscolus quercifolius* (faveleira) obteve o menor valor de energia liberada por unidade de área (8,21 kcal m⁻²). Esse valor é considerado expressivo para essa espécie. Isso ocorreu devido à velocidade de propagação do fogo ter sido

menor em relação às demais folhosas testadas, proporcionando maior energia liberada por unidade de área.

Isso aborda uma questão importante, pois, quanto mais lenta a propagação do fogo, maior poderá ser o impacto no solo, dependendo do tipo, do poder calorífico e da quantidade de material disponível. Camargos et al. (2015), chamam à atenção que o conhecimento dos fatores sobre o comportamento do fogo necessita ser mais estudado, evitando incêndios de grandes proporções.

A energia liberada constitui outro parâmetro sem registros na literatura com espécies da Caatinga, evidenciando mais uma vez a escassez de estudos relacionados aos incêndios florestais com espécies da Caatinga.

Para tanto, os resultados encontrados neste estudo foram superiores aos encontrados por Camargos et al. (2015), em que avaliaram o comportamento do fogo em um trecho de floresta estacional semidecídua no município de Viçosa-MG. Também foram superiores aos encontrados por Serger et al. (2013), avaliando o comportamento do fogo em queimas controladas de vegetação de estepe no município de Palmeira, no Estado do Paraná.

Foi possível observar que a quantidade de material combustível associado à espessura e o volume contido nas parcelas proporcionaram resultados satisfatórios relacionados à queima dos materiais combustíveis, possibilitando conhecimentos de grande relevância sobre espécies estudadas.

4.4 Poder calorífico superior

O teor de cinzas e de poder calorífico constituem parâmetros importantes na estimativa da inflamabilidade dos vegetais. Os resultados entre as espécies para cinzas e poder calorífico se encontram na Tabela 13.

Tabela 13- Valores médios para porcentagem de cinzas e poder calorífico materiais combustíveis.

Material Combustível	Nome popular	Cinzas (%)	PCS (Kcal kg ⁻¹)
<i>Opuntia sp.</i>	Palma	17,40	3.125 c
<i>Pinus sp</i>	Pinus	2,40	4.705 a
<i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru	18,81	3.519 c
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Pereiro	11,05	4.494 ab
<i>Poincianella pyramidalis</i>	Catingueira	11,79	4.661 a
<i>Pilosocereus gounellei</i>	Xique-xique	15,46	3.234 c
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	Faveleira	9,92	4.105 b

Letras iguais indicam que, ao nível de 5%, não existe diferença significativa entre as médias, pelo teste de Tukey.

As cactáceas apresentaram maiores teores de cinzas em relação aos demais tratamentos. O maior tempo em estufa e a composição química das espécies pode ter proporcionado maior teor de cinza. Contudo, as mesmas apresentaram os menores resultados relacionados ao poder calorífico, mesmo com o maior tempo em estufa, diferindo estatisticamente das folhosas e do *Pinus*. O poder calorífico das cactáceas obteve pouca variação entre as mesmas (palma, com 3.125 Kcal kg⁻¹, mandacaru, com 3.519 Kcal kg⁻¹, xique-xique, com 3.234 Kcal kg⁻¹), apresentando baixo poder calorífico. No entanto, a presença dos espinhos pode ter contribuído para elevar um pouco o poder calorífico das amostras, bem como o maior tempo em estufa.

O material do *Pinus* foi o que apresentou menor teor de cinzas (2,4%) e maior poder calorífico (4.705 Kcal kg⁻¹), evidenciando sua elevada inflamabilidade. Dentre as folhosas, o material da *Poincianella pyramidalis* (catingueira) apresentou maior teor de cinzas (11,79%) e maior poder calorífico (4.661 Kcal kg⁻¹), o que confirma um bom potencial para geração de energia em folhosa, comprovando que a madeira dessa espécie possui alta inflamabilidade, além de apresentar semelhança estatisticamente com o material do *Pinus* para a variável poder calorífico.

A *Poincianella pyramidalis* é única espécie das folhosas estudadas em que a madeira é habitualmente utilizada no Nordeste como lenha para uso doméstico e na fabricação de carvão. Isso demonstra que os produtores têm o conhecimento empírico de que a espécie possui madeira de valor comercial pela sua boa capacidade de queima.

O material do *Aspidosperma pyrifolium* obteve valor do poder calorífico semelhante estatisticamente ao tratamento testemunha (*Pinus*), com 4.494 Kcal kg⁻¹, e teor de cinzas 11,05%. O poder calorífico dessa espécie está dentro do considerável em folhosas para geração de energia (4.312 a 5.085 kcal kg⁻¹), o que confirma a inflamabilidade do lenho da planta.

O material da *Cnidoscolus quercifolius* apresentou menor teor de cinzas entre as folhosas (9,92%) e menor poder calorífico superior, com 4.105 kcal kg⁻¹, permanecendo com poder calorífico abaixo do considerável para energia em folhosas, porém estatisticamente semelhante à *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro). Para tanto, evidencia-se que a faveleira constitui uma planta de baixa inflamabilidade;

As cinzas são compostas de potássio (K), silício (Si), magnésio (Mg), ferro (Fe), cálcio (Ca), sódio (Na), enxofre (S) e fósforo (P). Quando em alta concentração, podem diminuir o poder calorífico, devido à perda de energia. Para tanto, sua presença pode afetar a transferência de calor (KLAUTAU, 2008). Hoffmann (2010) evidencia que o teor de cinzas também pode interferir no poder calorífico e pode causar perda de energia.

Santos et. al. (2013), 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 Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora*), com 0,45% de cinzas e poder calorífico acima de 4.800 kcal kg⁻¹, Pereiro (*Aspidosperma pyriforme*), com 0,5% teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.700 kcal kg⁻¹, Marmeleiro (*Croton sonderianus*), com 0,3%, teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.400 kcal kg⁻¹, Catingueira (*Poincianella pyramidalis*), com 1,6% teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.400 kcal kg⁻¹, Mororó (*Bauhinia cheilantha*), com 1,7% teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.600 kcal kg⁻¹, Imburana (*Commiphora leptophloeos*), com 1,4% teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.400 kcal kg⁻¹, Jurema Branca (*Piptadenia stipulacea*), com 0,55% teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.500 kcal kg⁻¹ e Mufunbo (*Combretum leprosum*), com 1,2% teor de cinzas e poder calorífico acima de 4.600 kcal kg⁻¹.

Medeiros Neto et al. (2014) avaliaram as relações entre as características da madeira e do carvão vegetal da catingueira (*Poincianella pyramidalis*) e Pau D'arco (*Handroanthus impertiginosus*) e encontraram, respectivamente teores de cinzas de 5,27% e 1,96%, e poder calorífico de 6.247,80 kcal kg⁻¹ e 6.977,40 kcal kg⁻¹.

Jesus et al. (2017) encontraram resultados similares às folhosas em estudos com eucalipto, com poder calorífico variando de 4538 kcal kg⁻¹ a 4669 kcal kg⁻¹ e teor de cinzas variando entre 0,68% e 2,85%, sendo classificadas com boas características para uso em energia.

A inflamabilidade em campo aliada a experimentos laboratoriais fornece maior comprovação dos resultados observados em campo, o que pode impulsionar o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a incêndios florestais no Nordeste, principalmente na Caatinga, uma vez que são escassos os trabalhos desenvolvidos.

5 CONCLUSÃO

As espécies da Caatinga respondem de maneira diferenciada à ação do fogo, principalmente entre as partes constituintes das plantas, podendo retardar ou catalizar a ação do fogo.

As cactáceas *Opuntia sp.*, *Cereus jamacaru*, *Pilosocereus gounellei* apresentam inflamabilidade nula, sendo recomendadas em cortinas de segurança, sobretudo contra incêndios de superfície.

A espécie *Cnidocolus quercifolius* é uma planta com baixa inflamabilidade sendo recomendada para uso como cortina de segurança, sobretudo contra incêndios de copa, no entanto é preciso manter a área sob manejo, realizando-se a limpeza das folhas secas no solo.

As cactáceas e a espécie *Cnidoscolus quercifolius* são muito importantes na recuperação de áreas no semiárido, uma vez que podem diminuir e/ou assegurar a área em maiores proporções contra os riscos de incêndios. Assim, a diminuição dessas espécies no ecossistema pode elevar os riscos de incêndios florestais.

Por meio do comportamento do fogo das cactáceas e da faveleira, constatou-se que, quanto maior o teor de umidade no material combustível, a menor capacidade de queima. As espécies *Aspidosperma pyrifolium* e *Poincianella pyramidalis* não são indicadas em cortinas de segurança, pois apresentam riscos potenciais devido ao elevado poder calorífico do lenho.

Experimentos de campo permitem a simulação real do fogo no meio ambiente, fornecendo informações importantes quanto à intensidade de queima dos materiais combustíveis e seus impactos no solo.

A metodologia dos índices de combustibilidade e de severidade foi adaptada para o ambiente semiárido, sendo eficiente na avaliação do comportamento do fogo e da inflamabilidade das espécies, podendo ser indicada para estudos posteriores de inflamabilidade e comportamento do fogo em espécies da Caatinga.

REFERÊNCIAS

- ALBINI, F. A., (1992): Dynamics and modeling of vegetation fires: observations, pp. 39-52, in Crutzen and Goldammer (eds.) **Fire in the Environment** (New York: Wiley).
- ALESSIO, G.A.; PEÑUELAS, J.; LLUSIÀ, J.; OGAYA, R.; ESTIARTE, M.; LILLIS, M. Influence of water and terpenes on flammability in some dominant Mediterranean species. **International Journal of Wildland Fire**, v. 17, n. 2, p. 274-286, 2008. DOI: 10.1071/WF07038.
- ALMEIDA, G.; BRITO, J.O.; PERRÉ, 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.
- ALVARES, C. A; STAPE, J. L; SENTELHAS, P. C; GONÇALVES, J. L. M; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, V. 22, N. 6, p. 711–728, 2014.
- ANDERSON, H. E. (1970). Forest fuel ignitibility. **Fire Technology** 6, p. 312 – 322.
- 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**, v. 262, n. 9, p. 1659 - 1894, 2011.

ARAÚJO FILHO, J.A.; BARBOSA, T.M.L. **Sistemas agrícolas sustentáveis para regiões semiáridas**. Embrapa-Caprios, 2000. 18 p. (Circular técnica, 20). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/515302/sistemas-agricolas-sustentaveis-para-regioes-semi-aridas>>. Acesso: 10 de maio de 2017.

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**, v. 44, n. 1, p. 133 - 142, 2014.

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.

BARROS, S.V. S.; NASCIMENTO, C.C.; COSTA, S.S.C.; AZEVEDO, C.P.; Avaliação do potencial energético das espécies florestais *Acacia auriculiformis* e *Ormosia paraensis* cultivadas no município de Iranduba/Amazonas, Brasil. **Madera y Bosques**, v. 15, p. 59-69, 2009.

BATISTA, A. C. **Estudos sobre o comportamento do fogo na Universidade Federal do Paraná**. In: Incêndios Florestais no Brasil: o estado da arte. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009. cap. 3, p.35-52.

BATISTA, A.C.; BEUTLING, A.; PEREIRA, J.F. Estimativa do Comportamento do Fogo em Queimas Experimentais Sob Povoamentos de *pinus elliottii*l. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.5, p.779-787, 2013.

BATISTA, A. C., BIONDI, D. (2009). Avaliação da inflamabilidade de *Ligustrum lucidum* Aiton (Oleaceae) para uso potencial em cortinas de segurança na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.4, p.435-439.

BATISTA, A.C., BIONDI, D., TETTO, A. F., ASSUNÇÃO, R., TRES, A., TRAVENISK, R. C. C., KOVALSYKI, B. (2012). Evaluation of the Flammability of Trees and Shrubs Used in the Implementation of Green Barriers in Southern Brazil. General Technical Report PSW-GTR-245. In: **Proceedings of the Fourth International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Climate Change and Wildfires**, Mexico City, Mexico.

BEUTLING, A. **Caracterização para modelagem de material combustível superficial em reflorestamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2005.

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.

BILGILI, E.; SAGLAM, B. Fire behavior in maquis fuels in Turkey. **Forest Ecology and Management**, v.184, p.201-207, 2003.

BOERNER, R.E.J. (2006). Soil, fire, water, and wind: how the elements conspire in the forest context. Pages 104-122 in: M.B. Dickinson, editor. **Fire in eastern oak forests: delivering**

science to land managers. USDA Forest Service General Technical Report NRS-P-1. Northern Research Station, Newtown Square, Pennsylvania, USA.

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

BOWMAN, D.M.J.S.; FRENCH, B.J.; PRIOR, L. D. Have plants evolved to selfimmolate? **Frontiers in Plant Science**, v. 5, 2014.

BRONICK, C. J.; LAL, R. (2005). **Soil structure and management: a review.** *Geoderma*, 124, 3-22.

CAIRNEY, J.W.G., AND B.A. BASTIAS. (2007). Influences of fire on forest soil fungal communities. **Canadian Journal of Forest Research**, 37: 207-215.

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.

CASTRO, H. A, GONÇALVES, K. S., HACON, S. S. (2009). Tendência da mortalidade por doenças respiratórias em idosos e as queimadas no Estado de Rondônia/Brasil – período entre 1998 e 2005. **Ciência & Saúde Coletiva**. v. 14, n. 6.

CLARKE, P.J.; PRIOR, L.D.; FRENCH, B.J.; VINCENT, B.; KNOX, K.J.E.; BOWMAN, D.M.J.S. Using a rainforest-flame forest mosaic to test the hypothesis that leaf and litter fuel flammability is under natural selection. **Oecologia**. 2014;176:1123–33.

COELHO JUNIOR, L.M.; REZENDE, J.L.P.; SÁFADI, T.; CALEGARIO.; N. Análise temporal do preço do carvão vegetal oriundo de floresta nativa e de floresta plantada. **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 39-48, 2006.

FERNANDES, P. M. Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal. **Forest Ecology and Management**, v.144, n.1, p.67-74, 2001.

FERNANDES, P.M.; M.G. CRUZ, (2012), Plant flammability experiments offer limited insight into vegetation–fire dynamics interactions. **New Phytologist**, 194: 606–609. doi:10.1111/j.1469-8137.2012.04065.x.

FIEDLER, N.C.; CANZIAN, W.P.; MAFIA, R.G.; RIBEIRO, G.A.; KRAUSE JUNIOR, J. Intensidade de queima de diferentes retardantes de fogo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.4, p.691-696, 2015.

FOSBERG, M.A.; ROTHERMEL, R.C.; ANDREWS, P.I. Moisture calculations for 1000 hour timelag fuels. **For Sci.**, 27, p. 19-26, 1981.

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

HALTENHOFF, H. **Silvicultura preventiva**. 2. ed. Santiago de Chile: Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal, 2006. 40 p. (Manual técnico, n. 452).

HE T, PAUSAS JG, BELCHER CM, SCHWILK DW, LAMONT BB. 2012. Fire-adapted traits of *Pinus* arose in the fiery Cretaceous. **New Phytologist** 194: 751–759.

HOFFMANN, B.S. **O Ciclo Combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO₂: Uma Solução para Mitigar as Emissões de CO₂ em Termelétricas a Carvão em Larga Escala no Curto Prazo**. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

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 2017.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

JESUS, M. S. DE, COSTA, L.J.; FERREIRA, J.C.; FREITAS, F.P.; SANTOS, L.C.; ROCHA, M.F.V. Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*. **FLORESTA**, v. 47, n. 1, p. 11 - 16, 2017.

KEELEY, J.E.; BOND, W.J.; BRADSTOCK, R.A.; RUNDEL, P.W. Fire in Mediterranean ecosystems: **ecology, evolution and management**. (Cambridge University Press: New York, 2012).

KEELY, J. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**. 2009, 18, 116–126. DOI: 10.1071/WF07049.

KLAUTAU, P. **Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo corrente para secagem de grãos**. 2008. 192f. Dissertação de Mestrado. PPGERHA, UFPR. Curitiba-PR, 2008.

KOVALSYKI, B.; TAKASHINA, I.K.; TRES, A.; TETTO, A.F.; BATISTA, A.C. Inflamabilidade de espécies arbóreas para uso em cortinas de segurança na prevenção de incêndios florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 36, n. 88, 2016.

KÜÇÜK, O.; BILGILI, E.; SAGLAM, B.; BAFIKAYA, S.; DINÇ DURMAZ, B. . Some parameters affecting fire behavior in anatolian black pine slash **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.32, n.1, 121-129, 2008.

LIMA, E. A.; ABDALA, E. M.; WENZEL, A. A. **Influência da Umidade no Poder Calorífico Superior da Madeira**. Comunicado Técnico, 220f. Colombo-PR, 2008.

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.

- LUCENA, D. S.; LUCENA, M. F. A.; SOUSA, J. M.; SILVA, R. F. L.; SOUZA, P. F. Flora vascular de um inselbergue na mesorregião do sertão paraibano, nordeste do Brasil. **Scientia Plena**, v. 11, n.01, p. 02-11, 2015.
- NEARY, G. D.; KLOPATEK, C. C.; DEBANO, L. F. & FFOLLIOTT, P. F. Fire Effects on Belowground Sustainability: a Review and synthesis. **Forest Ecology and Management**, 122: 51 - 71, 1999.
- MACEDO, W.; SARDINHA, A.M. **Fogos Florestais**. Vila Real: Universidade de Trás e Alto, 1985. 430p.
- MARTIN, R. E.; GORDON, D. A.; GUTIERREZ, M. E.; LEE, D. S.; MOLINA, D. M.; SCHROEDER, R. A.; et al. **Assessing the flammability of domestic and wildland vegetation**. Conference: 12th Conference on Fire and Forest Meteorology, At Jekyll Island, GA, USA, Volume: pages 26 - 28. 1993.
- MCARTHUR, A. G. **Fire behaviour in eucalypt forests**. Canberra: Forestry and Timber Bureau, leaflet n° 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**. 2014, v 21. n, 4, p.484-493.
- MENDES-LOPES, J. M. C.; VENTURA, J. M. P.; AMARAL, J. M. P. Flame characteristics, temperature-time curves, and rate of spread in fire propagating in a bed of *Pinus pinaster* needles. **International Journal of Wildland Fire**, v.12, n.1, p.67-84, 2003.
- MOLA, J.M.; VARNER, J.M.; JULES, E.S.; SPECTOR, T. Altered community flammability in Florida's Apalachicola ravines and implications for the persistence of the endangered conifer *Torreya taxifolia*. **Plos One**, 2014.
- MOLINA, J.R.; MARTÍN, T.; RODRÍGUEZ, Y.; SILVA, F.; HERRERA, M.A. The ignition index based on flammability of vegetation improves planning in the wildland-urban interface: A case study in Southern Spain. **Landsc. Urban Plan.** 2017, 158, 129–138.
- MOTTA, D. S. **Identificação dos fatores que influenciam no comportamento do fogo em incêndios florestais**. 2008. 32f. Monografia. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- MÜZEL, S.D.; OLIVEIRA, K. A. DE.; 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**, v. 8(2): 166-172, 2014.
- OLIVEIRA, J. T. DA S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.115-127, 2005.
- PEARCE, H. G. **Flammability of native plants**. Magazine of the Queen Elizabeth II. National Trust – Issue 63. Wellington, 2005.

PEREIRA, R. S.; NAPPO, M. E.; REZENDE, A. V. (2007). **Prevenção de incêndios florestais e uso do fogo como prática silvicultural**. Comunicações técnicas florestais. Departamento de Engenharia florestal. Universidade de Brasília. 60 p. il.

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; Acesso: 08 de maio de 2017.

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.

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:

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**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

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**, n.89. p. 100-106, 2005.

REDIN, M.; SANTOS, G.F.; MIGUEL, P.; GENUIR, L.D.; MONOELI, L., SOUZA, A.D.E.L. IMPACTOS DA QUEIMA SOBRE ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381-392, abr.-jun., 2011

REGO, F.C.; BOTELHO, H. S. **A técnica do fogo controlado**. [S.L.: s.n.], 1990.124p.

RIBEIRO, G. A.; LIMA, G. S.; OLIVEIRA, A. L. S.; CAMARGOS, V. L. (2007). Uso de vegetação como aceiro verde na redução da propagação de fogo sob linhas de transmissão. **Revista CERES**, UFV.

RIBEIRO, T.O.; SOUTO, P.C.; SOUZA, B.V.; SOUTO, J.S.; Maracajá, P.B. Floor quantification of fuel on the forest in the semiarid region of Paraíba, Brazil. **Revista Verde**, v. 7, n. 2, p. 50- 59, 2012.

RODRIGUES, M. M. T. **Integração das Variáveis de Natureza Social na Avaliação do Risco de Incêndio Florestal na Região de Trás-os-Montes e Alto Douro**. Dissertação de Mestrado. Gestão e Conservação da Natureza, Universidade dos Açores – Portugal, 2009. 93p.

RODRÍGUEZ, M. P. R. (2010). **Manejo del Fuego**. Editorial Felix Varela. La Habana.

ROTHERMEL, R. C.; DEEMING, J. E. **Measuring and interpreting fire behavior for correlation with fire effects**. Ogden: Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1980. 4 p. (General Technical Report, INT-93).

ROTHERMEL, R.C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels.** Odgen: U.S. Forest Service, 1972. 41 p. (Research Paper INT – 115).

SANT'ANNA, C. M.; FIEDLER, N. C.; MINETTE, L. J. **Controle de incêndios florestais.** Alegre, ES, Editora Suprema, 2007. 152 p.

SANTONI, P. A.; SIMEONI, A.; ROSSI, J.L.; BOSSEUR, F. Instrumentation of wildland fire: Characterization of a fire spreading through a Mediterranean shrub. **Fire Safety Journal**, v. 41, p 171–184, 2006.

SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos; ARRUDA, G. P. de; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. de. **Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco.** Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).

SANTOS, J. R. S. **Estudo da biomassa torrada de resíduos florestais de eucalipto e bagaço de cana de açúcar para fins energéticos.** 2012. Dissertação (Mestrado em ciências, programa: recursos florestais – USP).

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**, v. 23, n. 2, p. 491-502, 2013.

SCHMATZ, M. J.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; SOUZA, S. N. M.; TOKURA, L. K.; MENEZES, K. L.; SANTOS, D. B. Evaluation of the gross and net calorific value of residues of wood pine and araucaria from reforestation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 4157-4161, 2016.

SCHWILK, D.W. Dimensions of plant flammability. **New Phytol.** 2015, 206, 486–488.

SEGER, C.D.; BATISTA, A. C.; VASHCHENKO, Y.; LORENZETTO, D. Análise dos incêndios florestais em vegetação nativa de vinte e dois municípios da região leste do estado do Paraná- Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 13, p. 30-40, 2012.

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**, 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.

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

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/UFCG, Patos – PB, 2017.

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

SOARES, R.V. Determinação da quantidade de material combustível acumulado em plantios de *Pinus* spp na região de Sacramento (MG). **Revista Floresta**, v.10, p. 48-62, 1979.

SOARES, R. V. Novas tendências no controle de incêndios florestais. **Revista Floresta**, v. 30, n. 1/2, p. 11-21, 2000.

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

SOARES, R. V; BATISTA, A. C; NUNES, J. R. S. **Manual de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais**. 2ª edição. 60p. 2008.

SOARES, R. V. Novas tendências no controle de incêndios florestais. **Revista Floresta**, v. 30, n. 1/2, p. 11-21, 2000.

SOUTO, P. C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil**. 2006.146 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

SOUTO, P.C.; COSTA JÚNIOR, J.E.V.; ALMEIDA, F.C.P.; MARTINS, S.; ARAÚJO I.E.L.; SOUTO, J.S. Quantificação do material combustível em plantios florestais e em remanescente de Mata Atlântica no brejo da Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 473-481, 2009.

SOUZA, M. A. **Levantamento de plantas de baixa inflamabilidade em áreas queimadas de cerrado no Distrito Federal e análise das suas propriedades físicas**. 2015. 116f. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília.

TIAN, X., SHU, L., WANG, M. (2007) Study on Eight Tree Species' Combustibility and Fuelbreak Effectiveness. In **Wildfire 2007**, Sevilha, Espanha.

TRUGRILHO, P.F.. **Energia da biomassa florestal**. 2004. Disponível em: <<http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf>>. Acesso: 01 de junho de 17.

VALETTE, J. C. **Inflammabilities of mediterranean species**. Porto Carras: Research and Development of the European Commission European School of Climatology and Natural Hazards, 1992. 12 p. (Document PIF9208).

VARNER, J. M.; KANE, J.M.; KREYE, J.K.; ENGBER, E. The flammability of forest and woodland litter: a synthesis. **Current Forestry Reports**, 2015.

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**. 2014; 9:80–8.

WEISE, D. R., WHITE, R. H., BEALL, F. C., & ETLINGER, M. (2005). Use of the cone calorimeter to detect seasonal differences in selected combustion characteristics of ornamental vegetation. **International Journal of Wildland Fire**, 14(3), p. 321-338.

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

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

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.

YEBRA, M.; CHUVIECO, E; RIAÑO, D. Investigation of a method to estimate live fuel moisture content from satellite measurements in fire risk assessment. **Forest Ecology and Management**, v. 234, 2006.

ZMINKO, S.; MUNIZ, G.I.B. Potencial energético do insumo florestal pinus e mistura com lodo para a indústria papeleira. **Enciclopédia Biosfera**, v.11 n.22; p 2406, 2015.