



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

Leandro de Arruda Bruno

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA SAMAMBAIA *PTERIDIUM*
ARACHNOIDEUM NA FLORESTA NACIONAL DE BRASÍLIA – FLONA/DF**

BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL

2023

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA SAMAMBAIA *PTERIDIUM
ARACHNOIDEUM* NA FLORESTA NACIONAL DE BRASÍLIA – FLONA/DF**

Leandro de Arruda Bruno

Orientadora: Dra. Potira Meirelles Hermuche

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília como requisito para a obtenção do título de bacharel em Geografia.

BRASÍLIA, DISTRITO FEDERAL

Fevereiro de 2023

SUMÁRIO

1. RESUMO	4
2. INTRODUÇÃO	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
5. CONCLUSÃO.....	17
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: Mapa de Localização da Área 1 da Floresta Nacional de Brasília

Figura 2: Fluxograma metodológico

Figura 3: (a) Dossel da *Pteridium arachnoideum*. (b) Configuração das frondes da *Pteridium arachnoideum*.

Figura 4: Comportamento Espectral dos alvos na Floresta Nacional de Brasília.

Figura 5: Distribuição da fitofisionomia Mata de Galeria entre 2015 a 2022.

Figura 6: Área com cicatriz queimada em samambaia entre 2015 a 2022.

Figura 7: Comparação entre (a) área queimada em 2022 e (b) restabelecimento das samambaias 2023.

Figura 8: (a) Mapa de frequência acumulada das samambaias entre 2015 a 2022 e (b) Mapa de declividade.

Tabela 1: Tabela 1. Características das bandas do sensor MultiSpectral Instrument.

Tabela 2: Parâmetros de acurácia.

Resumo

A samambaia *Pteridium arachnoideum* (Kaulf.) Maxon, apesar de ser uma espécie nativa do Cerrado, é considerada uma planta oportunista, com capacidade de se estabelecer em ambientes diversos. Essa contribui com o aumento da ocorrência e gravidade de incêndios pela biomassa seca produzida, além de serem resilientes à passagem do fogo, se restabelecendo após esses eventos. O objetivo do estudo foi avaliar a ocorrência espaço-temporal da samambaia por meio de técnicas de sensoriamento remoto na Floresta Nacional de Brasília. Foram utilizadas imagens multiespectrais dos sensores Sentinel-2A e B do período de 2015 a 2022 para classificação supervisionada por meio do algoritmo *Random Forest* para mapeamento da sua distribuição espacial ao longo do tempo. A acurácia do mapeamento foi feita a partir de análise visual nas imagens, além de parâmetros estatísticos da performance de classificação e das matrizes de confusão. A partir da análise foi possível identificar a distribuição espaço-temporal da *Pteridium arachnoideum* e sua preferência de ocupação nas bordas das matas de galeria, na classe de relevo ondulado, porém com capacidade de ocupar relevos planos sob áreas de reflorestamento de pinus. Não foi possível confirmar se as samambaias têm capacidade de alterar a distribuição espacial da mata de galeria ao longo dos 8 anos analisados, necessitando de uma análise com maior período de tempo e com uma metodologia mais precisa para quantificar as áreas de matas de galerias.

Palavras-chave: Samambaião; Cerrado; Random Forest, Espécie invasora; Unidade de Conservação; Sensoriamento Remoto.

INTRODUÇÃO

As samambaias do gênero *Pteridium* são espécies herbáceas que possuem distribuição mundial, habitando áreas com relevo diversos e sob variados climas, exceto em ambientes desérticos (TAYLOR, 1986; PAGE, 1976). Possuem potencial de dominar áreas que passaram por consecutivas queimadas e que foram abandonadas após uso antrópico, sendo catalogadas como plantas pioneiras por se estabelecerem em áreas com alto grau de perturbação (PAGE, 1976; MATOS e BELINATO, 2010). Apesar da existência de registros arqueológicos que datam do período Neolítico, a sua origem é incerta e difícil de se rastrear (MATONGERA *et al.*, 2018).

Uma das principais características das samambaias é possuir grande rede de rizomas (MARSS e WATT, 2006) e alta taxa de crescimento (DEN OUDEN, 2000), resultando em um dossel denso e fechado (TAYLOR *et al.*, 1990), capaz de captar toda a radiação solar antes que esta chegue à superfície do solo, produzindo, assim, sombra que impede o surgimento de outras espécies (GHORBANI *et al.*, 2006; SILVA e SILVA MATOS, 2006).

A sua rede de rizomas é responsável pela sua resiliência à passagem do fogo, rebrotando após a passagem do evento (MARRS e WATT, 2006; DEN OUDEN, 2000). Hartg e Beck (2003) relatam que áreas no sul do Andes do Equador que possuíam samambaias e que passaram por consecutivas ocorrências de incêndio, as samambaias foram favorecidas em detrimento de outras espécies e as áreas ocupadas foram expandidas. Além da sua resiliência ao fogo, devido a sua alta taxa de crescimento, produzem um acúmulo de serrapilheira que fazem com que as ocorrências de incêndios sejam mais graves (MIATTO *et al.*, 2011).

No Brasil, as samambaias estão presentes em quase todos os estados, ocupando especialmente áreas que foram afetadas pelo desmatamento, queimadas e outros distúrbios oriundos da intervenção humana (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Devido ao seu potencial alelopático, as substâncias químicas que são liberadas podem inibir o desenvolvimento de outras espécies (PAGE, 1986; JATOBA, 2016). A espécie *Pteridium arachnoideum* (Kaulf.) Maxon é nativa dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, mas apesar nativa, possui comportamento de invasora com potencial de alterar a estrutura da vegetação das áreas nas quais está inserida (MIATTO *et al.*, 2011)

O uso de sensoriamento remoto vem sendo amplamente utilizado em estudos da vegetação (PONZONI, 2001), subsidiando em seu mapeamento e monitoramento

de forma rápida e eficiente a partir da disponibilidade de diferentes resoluções espaciais, temporais e espectrais capazes de atender às mais diversas aplicações. Ngubane (2014), utilizando imagens do sensor *WorldView-2*, mapeou a espécie de samambaia *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn demonstrando o potencial deste sensor de alta resolução espacial, apesar de seu alto custo. Matongera *et al.* (2017), usando imagens do sensor *Landsat 8* (dados gratuitos), demonstrou que o mapeamento das samambaias é eficiente mesmo com resolução espacial média, apesar de perder parte da acurácia.

Atualmente, a fitofisionomia de Mata de Galeria na Floresta Nacional (FLONA) de Brasília encontra-se retraída em comparação com sua configuração natural e em algumas partes fragmentadas. As áreas que antes eram ocupadas pelos indivíduos arbóreos, foram ocupadas por samambaias. Tais fatos podem estar correlacionados com o aumento da frequência de incêndios, que atinge as bordas da mata de galeria e podem proporcionar a colonização de espécies invasoras ao mesmo tempo que dificulta a estabilização das espécies arbóreas (KELLMAN e MEAVE, 1997; FELFILI, 1997; MIRANDO, 2010)

Dado o exposto, o objetivo da pesquisa é analisar a distribuição espaço-temporal entre os anos de 2015 a 2022 da espécie de samambaia *Pteridium arachnoideum* na FLONA com uso de imagens de sensoriamento remoto de média resolução para verificação do seu comportamento em áreas de Cerrado alteradas e/ou degradadas visando dar subsídios para programas de monitoramento e manejo desses locais. Como objetivos específicos têm-se a análise da interferência da expansão das samambaias na vegetação nativa e a compreensão das variáveis morfométricas que influenciam na localização das áreas dominadas pelas samambaias.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

Criada por Decreto Presidencial nº 8127 de 1999 (BRASIL, 1999), a FLONA é uma Unidade de Conservação federal de uso sustentável inserida no bioma Cerrado, administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), que possui 2 áreas núcleo desconectadas na porção oeste do Distrito Federal. No presente estudo será avaliada apenas a Área 1, onde passa o Ribeirão

das Pedras e o Córrego Currais , que foi acoplada à UC pelo projeto de lei que alterou os limites da FLONA (BRASIL, 2022). A área de estudo está localizada entre as regiões administrativas de Taguatinga e Brazlândia, apresenta média anual de precipitação de 1487 mm e possui altitudes que variam de 1149 a 1272 m em aproximadamente 31,12 km² de extensão.

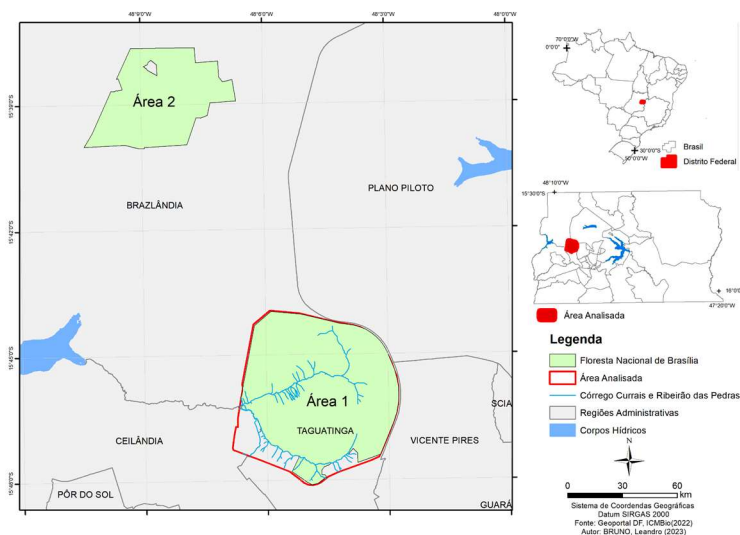


Figura 1. Mapa de Localização da Área 1 da Floresta Nacional de Brasília (2023).

AQUISIÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO

O fluxograma a seguir (Figura 2) demonstra de forma esquematizada os principais passos da metodologia aplicada neste trabalho.

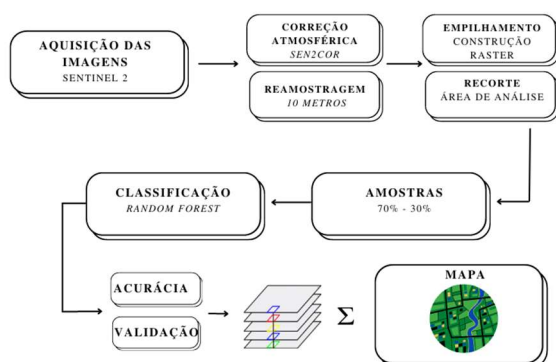


Figura 2. Fluxograma de processamento. Elaboração (BRUNO, Leandro 2023)

Foram utilizadas 8 imagens, entre os anos de 2016 a 2022 (Tabela 1) entre os meses de julho a outubro, uma para cada ano, dos sensores *MultiSpectral Instrument*

– MSI acoplados nos satélites Sentinel-2A e B (ESA, 2023). Optou-se por utilizar imagens com menor porcentagem de cobertura de nuvens, além de evitar cenas com grandes feições de queimadas. Foram utilizadas as bandas de resolução espacial de 10 e 20 metros, compreendidas no intervalo de 490 a 2190 nanômetros (Tabela 2) Todas as imagens foram corrigidas para os efeitos atmosféricos com o algoritmo de correção atmosférica *Sen2Cor* disponível no *Sentinel Application Platform* – SNAP convertendo as imagens para a reflectância *Bottom-Of-Atmosphere*. As bandas de 20 metros foram reamostradas para 10 metros utilizando a ferramenta *S2 Resampling* disponível no SNAP. Após a reamostragem, as bandas foram empilhadas e recortadas pelo limite da área analisada utilizando as ferramentas *Raster* disponíveis no *QGIS 3.22.13*.

Tabela 1. Datas das imagens utilizadas. Elaboração (BRUNO, Leandro 2023)

Data	Imagem
16-09-2015	Sentinel-2A
20-09-2016	Sentinel-2A
12-07-2017	Sentinel-2B
10-09-2018	Sentinel-2A
12-07-2019	Sentinel-2B
16-07-2020	Sentinel-2B
04-09-2021	Sentinel-2A
19-10-2022	Sentinel-2A

Tabela 2. Características das bandas utilizadas do sensor *MultiSpectral Instrument* – MSI. Elaboração (BRUNO, Leandro 2023)

Resolução	Nº da banda	Nome da Banda	Comprimento Central da Banda em nm
10m	B02	Blue	490
10m	B03	Green	560
10m	B04	Red	665
10m	B08	NIR	842
20m	B5	Red Edge 1	705
20m	B6	Red Edge 2	740

20m	B7	Red Edge 2	783
20m	B8A	SWIR 1	865
20m	B11	SWIR 1	1610
20m	B12	SWIR 2	2190

Foram definidas 7 classes de uso e cobertura da terra (1 - Samambaia , 2 - Mata de Galeria, 3 - Campo, 4 - Pinus, 5 - Solo, 6 - Cicatriz de Queimada e 7 - Cerrado *Stricto Sensu*). Foi utilizado como base para definição das classes o mapa de uso e cobertura da terra inserido no do plano de manejo da UC (ICMBio, 2016). Para confirmação das feições de samambaias e das outras classes definidas, foram realizados campos nos dias 27 de maio e 21 de junho de 2022.

Pesquisas anteriores de classificação supervisionada de samambaias utilizaram a seguinte configuração de classificação: 70% das amostras foram para treinamento e 30% para validação (NGUBANE, 2014; ODINDI *et al.*, 2014). No presente estudo optou-se por esta mesma configuração. Para a coleta das amostras foram utilizados arquivos *shapefile* do tipo de geometria ponto criados no *QGIS 3.22.13*, sendo coletados apenas um pixel por amostra. Ao utilizar pontos evita-se que as amostras sejam contaminadas por outras informações espectrais, sendo mais adequado para classificação de áreas homogêneas, em detrimento da classificação de áreas não homogêneas (CURRAN e WILLIAMSON, 1985; CURRAN e WILLIAMSON, 1986). Ao utilizar pontos, espera-se que a detecção das samambaias seja mais eficiente, em detrimento da classificação das outras classes não homogêneas.

Foram coletados 10 pontos de amostras para cada classe em cada imagem. Com a ferramenta de investigação de vetor disponível no *QGIS 3.22.13* foi separado de forma aleatória 70% (7 pontos) das amostras para classificação e 30% (3 pontos) para a validação da classificação.

Optou-se pela utilização do algoritmo *Random Forest* - RF para a classificação das imagens, que consiste em um algoritmo de aprendizagem de máquina flexível que, na maioria das vezes, produz resultados satisfatórios. O algoritmo é treinado criando combinações de preditores com os dados de entrada (amostras) que possui várias combinações, chamadas de *ensemble*, que são treinados para predizer a classe que pertence a cada pixel da imagem (BREIMAN, 2001; CUTLER *et al.*, 2012;).

Utilizou-se o pacote de ferramentas *Learning* da biblioteca *Orfeo ToolBox* versão 8.1.0 integrada no *QGIS 3.22.13* a partir da instalação do *Plugin*. As ferramentas do pacote *Learning* são capazes de treinar o classificador RF, classificar as imagens e retornar os parâmetros de acurácia, sendo estes a precisão de classificação de cada classe e a precisão global *Kappa*.

Após as classificações, foram realizadas validações visuais entre as imagens originais com as classificadas, para determinar se as classificações foram satisfatórias. Após as validações visuais e obtenção dos parâmetros de classificação, foi utilizado a calculadora *Raster* do *QGIS 3.22.13* para selecionar a classe das samambaias nas imagens classificadas. Com todos os valores de samambaias entre os anos de 2015 a 2022, foi realizada a somatória de todos os valores, variando entre 1 a 8. Dessa forma, tem-se o mapa de frequência acumulada e compreensão da preferência da distribuição espacial das samambaias.

Foi calculado para todos os anos a distribuição das classes de Mata de Galeria, Samambaia e Cicatriz de Queimada em unidades de hectares, com o objetivo de compreender o aumento ou diminuição dessas classes ao longo do tempo. Optou-se por analisar a Mata de Galeria a partir de uma área de amortecimento de 150 metros a partir dos rios Ribeirão das Pedras e Córrego Currais, dentro da área de amortecimento optou-se por unir as classes de Mata de Galeria e Pinus, com intuito de minimizar os erros de classificação, visto que essas duas classes frequentemente se confundiram e que não existem pinus em um raio de 150 metros das matas de galeria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o Plano de Manejo da UC , na década de 1970 foi realizado plantio pela empresa PROFLORA de eucaliptos e pinus como estratégia de impedir a expansão agrária em seu interior, por este motivo, atualmente na Área 1 são encontradas, além dessas espécies, fitofisionomias de Campo Sujo e Campo Limpo de Cerrado com presença de murundus, Mata de Galeria, Cerrado *stricto sensu* e manchas de samambaias (ICMBio, 2016).

Singh *et al.* (2014) afirmam que a principal característica espectral das samambaias (e no caso a espécie *Pteridium arachnoideum*) é a alta reflectância no comprimento de onda do infravermelho próximo – NIR. Isso se deve ao alto valor do Índice Área Foliar – IAF (representado pela razão entre a área do dossel e área do terreno - Ponzoni, 2001) em função de seu dossel denso (Figura 3A), o que impede a penetração do NIR até o solo de forma significativa, retornando para o sensor. Na prática, a caracterização do dossel das samambaias (Figura 3B) proporcionam que o NIR interaja com as estruturas foliares repetitivas vezes, aumentando a reflectância nesse comprimento, fenômeno descrito por Jensen (2009) como Reflectância Aditiva. Desse modo, esta característica permite uma fácil diferenciação das samambaias de outros alvos de vegetação, como demonstra a Figura 4.

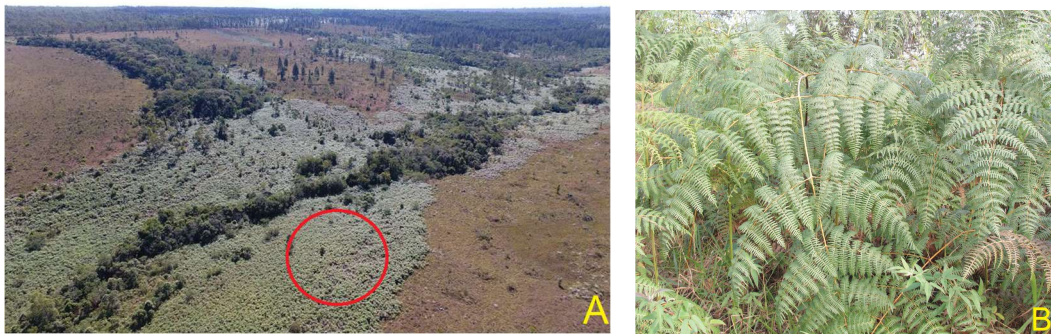


Figura 3. (a) Dossel da *Pteridium Arachnoideum*. Foto: Rede Bartô. (b) Configuração das frondes da *Pteridium Arachnoideum*. Foto: Alexandre M. Brighenti

A Figura 4 demonstra o comportamento espectral dos alvos da FLONA com base nos valores das bandas do Sentinel-2A e B da Tabela 1. Percebe-se que a samambaia tem um comportamento típico de vegetação saudável, se diferenciando apenas pela alta reflectância no comprimento no NIR.

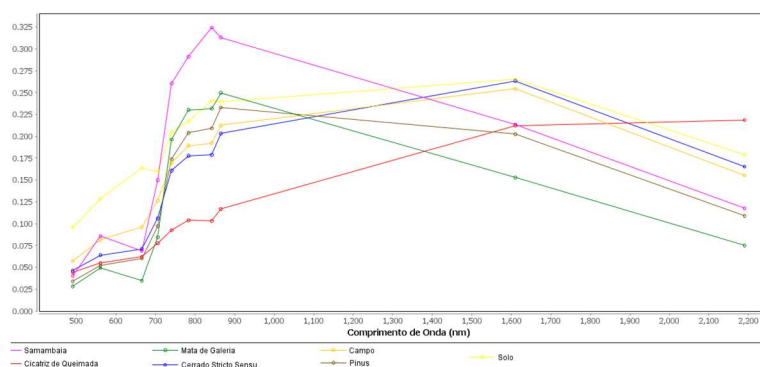


Figura 4. Comportamento Espectral das classes de uso cobertura na FLONA 2022. Elaboração (BRUNO, 2023)

A classificação usando RF se demonstrou satisfatória para detecção das samambaias, com precisão 1 para todos os anos (Tabela 3). Para a classificação da Mata de Galeria houve imprecisão em algumas áreas que eram compostas por pinus mais adensados e por pinus com presença de samambaia. Dessa forma, optou-se por realizar a análise das matas de galeria a partir de uma área de amortecimento de 150 metros com intenção de minimizar as imprecisões nas classificações.

Tabela 3. Parâmetros de acurácia. Elaboração (BRUNO, 2023)

Ano	Acurácia Samambaia	Acurácia Mata de Galeria	Acurácia Cicatriz de Fogo	Acurácia Pinus	Acurácia Global
2015	1	1	1	1	0.89
2016	1	1	1	1	0.89
2017	1	0.6	1	1	0.83
2018	1	1	1	0.6	0.86
2019	1	1	0.6	0.6	0.83
2020	1	0.6	1	1	0.94
2021	1	1	0.6	1	0.94
2022	1	1	1	1	0.88

Como já relatado, a classe de Pinus e Mata de Galeria foram frequentemente confundidas, isso pode ter acontecido pela similaridade espectral dos dois alvos e pela forma em que foi adquiridas as amostras, com geometria de ponto que adquire informação espectral de apenas 1 pixel e não do contexto em que os alvos estão inseridos. Mesmo com essa estratégia de analisar as matas de galeria a partir de uma área de amortecimento e unindo as duas classes, não foi possível confirmar se entre os anos de 2015 a 2022 houve redução das matas de galeria na FLONA provocada pela expansão das samambaias.

A figura 5 demonstra que a classe Mata de Galeria variou entre 350,106 hectares em 2015 e 373,846 hectares em 2022, o que caracteriza mais uma imprecisão da classificação do que de fato uma alteração das matas de galeria. Sendo necessário explorar outras estratégias que possam separar de forma mais efetiva a classe de Mata de Galeria e Pinus na FLONA para determinar de forma precisa a dinâmica de retração e fragmentação. É possível também que entre os anos de 2015 a 2022 não houve retração das matas de galeria causadas pelo avanço das samambaias, ou pelo menos não de forma significativa, como houve antes.

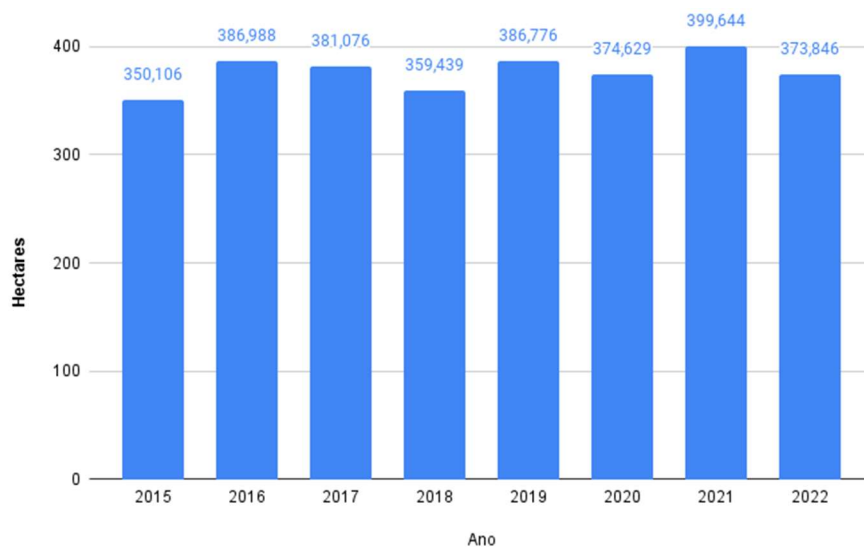


Figura 5. Distribuição da fitofisionomia Mata de Galeria entre 2015 a 2022.

A distribuição da *Pteridium arachnoideum* apresentou diminuição ao longo de 2015 a 2022, um dos fatores para esse comportamento é a presença de queimadas tanto criminosas quanto por meio da prática de manejo da espécie a partir do uso do fogo pela administração da FLONA, que podem diminuir de forma temporária a presença das samambaias, como no caso do ano 2022, que apresenta a menor extensão de área em função da cena ter sido tomada logo após um evento de fogo (Figura 6).

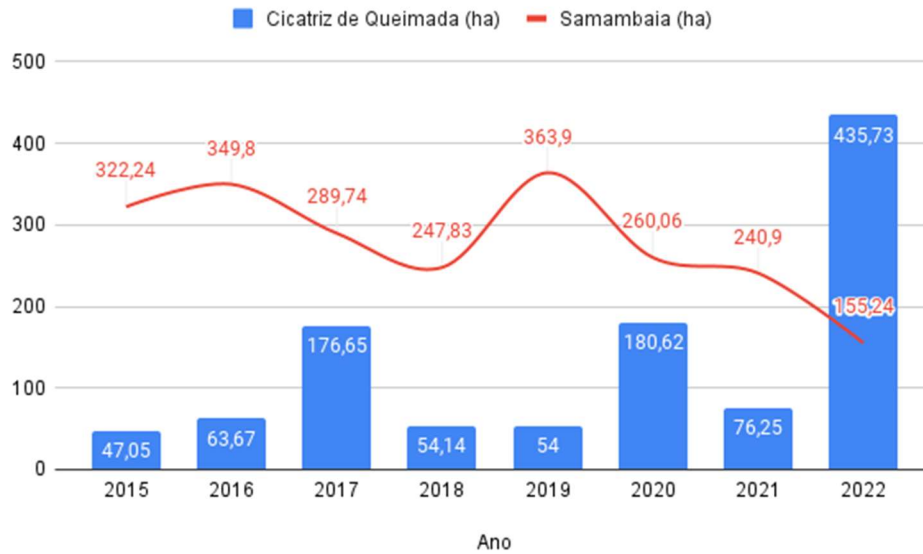


Figura 6. Área com cicatriz de queimada e samambaia entre 2015 a 2022.

As reduções que ocorreram podem não representar um controle sobre a invasão, sendo necessário o contínuo monitoramento para fazer essa avaliação. Para representar a preocupação com o restabelecimento das samambaias após as queimadas, a Figura 7A mostra a Mata de Galeria do Ribeirão das Pedras em 2022 onde as manchas de samambaias que estavam estabelecidas nas bordas do Ribeirão das Pedras foram queimadas, e a figura 7B, uma imagem de janeiro de 2023, demonstra que as samambaias estão se restabelecendo novamente nas bordas, e esse fenômeno aconteceu em outros anos na FLONA.

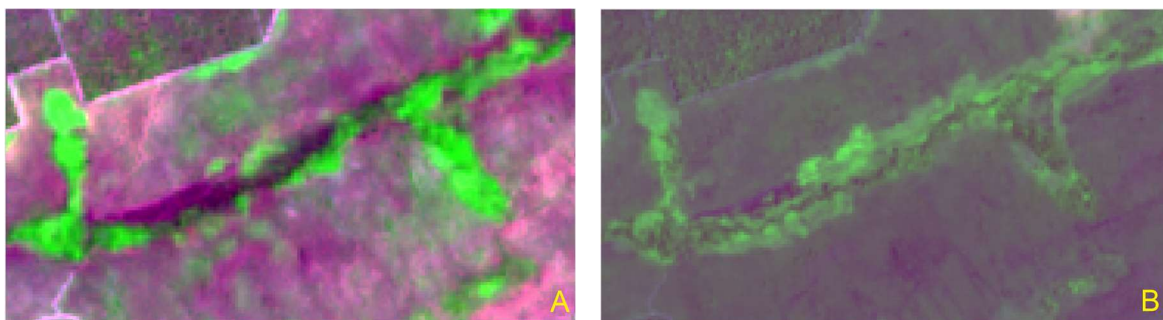


Figura 7. Comparação entre (a) área queimada em 2022 e (b) restabelecimento das samambaias 2023. Imagem: Sentinel 2A, composição R(4)G(8)B(2).

Foi confirmado em campo que a *Pteridium arachnoideum* é uma invasora com competência de se estabelecer até mesmo em áreas que são dominadas por

plantações de pinus (Figura 8A e B), demonstrando o potencial invasor da espécie. A classificação RF não detectou bem essas áreas como samambaia, tendo confusão com as classes de Mata de Galeria e Pinus.

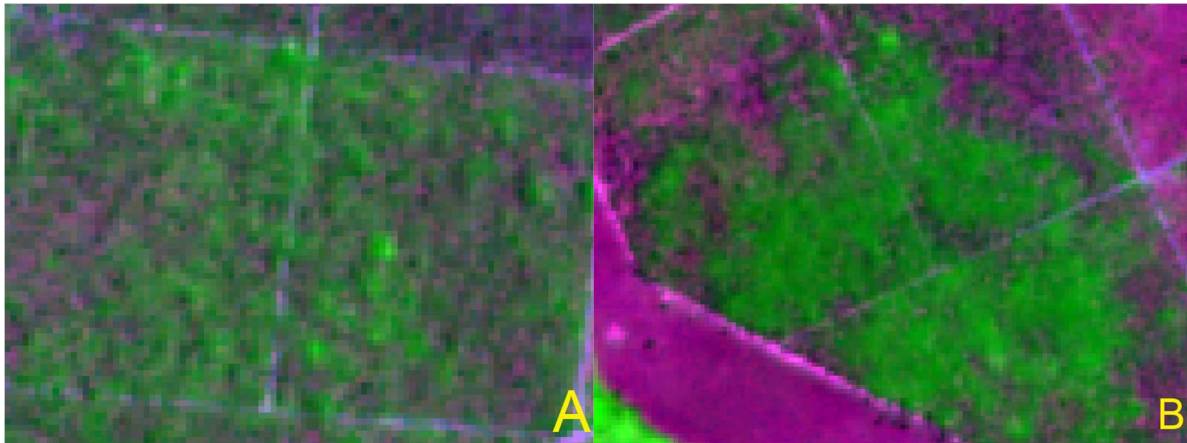


Figura 8. Samambaias sob dossel de áreas de reflorestamento de pinus. Imagem: Sentinel 2A, composição R(4)G(8)B(2).

Em relação à morfometria da paisagem que ocupa, nos anos avaliados a *Pteridium arachnoideum* apresentou ocupação em todas as classes de relevo (Figura 9). Porém, ao longo do tempo analisado, apresentou ocupação preferencial em relevos ondulados, de 8 a 20% de declividade (EMBRAPA, 1979) onde se encontram as bordas das matas de galeria. Além das bordas de matas de galeria, apresentou ocupação persistente em uma determinada área de transição entre as classes de relevo plano (0 a 3%) e suave ondulado (3 - 8%). A resposta para a ocupação persistente nessa área necessita de mais investigação, mas pode estar associada ao tipo de solo.

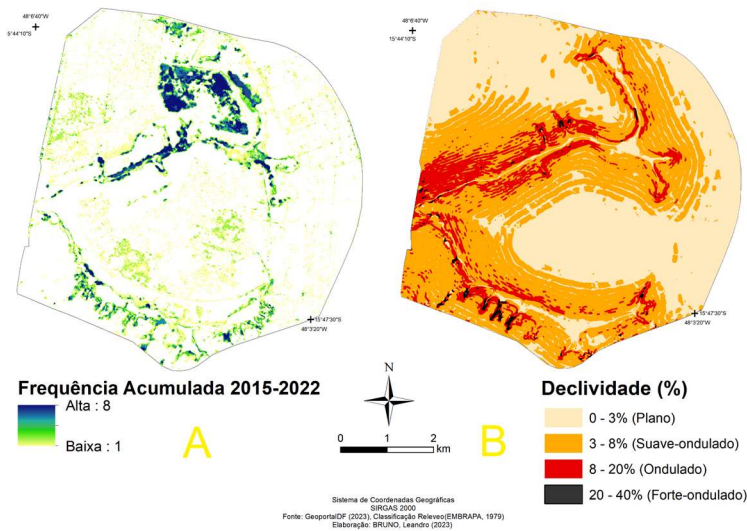


Figura 9. (a) Mapa de frequência acumulada das samambaias entre 2015 a 2022 e (b) Mapa de declividade.

CONCLUSÃO

A Área 1 da Floresta Nacional de Brasília passou por diversos processos que proporcionam a perda da biodiversidade, como as queimadas frequentes, a presença de espécies exóticas, as várias estradas e trilhas e a permanência da *Pteridium arachnoideum* sobre as fitofisionomias de mata de galeria. As várias ocorrências de incêndios na unidade tiveram papel fundamental para a persistência e para a disseminação da invasão, conseqüentemente na perda de biodiversidade.

O uso das imagens de sensoriamento remoto orbital nesse trabalho demonstrou eficiência para a detecção e mapeamento da *Pteridium arachnoideum* no longo do tempo proposto. As imagens dos Sentinel-2A e B se demonstraram satisfatórias para essa pesquisa, mas com limitação de data para início em 2015, quando teve início o projeto de imageamento com esse sensor.

Para a verificação do início da fragmentação da das matas de galeria e o avanço e propagação da *Pteridium arachnoideum* é necessário a utilização de imagens mais antigas, como por exemplo as do sensor LANDSAT, que apresenta dados desde a década de 1980, mas com resolução espacial menor. A análise espaço-temporal da distribuição da *Pteridium arachnoideum* foi eficiente, podendo

contribuir para o monitoramento e compreensão dos fatores de perda da biodiversidade na unidade de conservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Decreto nº 8127, de 10 de junho de 1999**. Cria a Floresta Nacional de Brasília, e dá outras providências. 10 jun. 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/anterior%20a%202000/1999/dnn8127.htm#:~:text=DECRETO%20DE%2010%20DE%20JUNHO,que%20lhe%20confere%20o%20art. Acesso em: 2 fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.447, de 9 de setembro de 2022**. Altera os limites da Floresta Nacional de Brasília. Brasília, DF, 9 set. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2019-2022/2022/Lei/L14447.htm. Acesso em: 2 fev. 2023.

BREIMAN, Leo. Random forests. **Machine learning**, v. 45, p. 5-32, 2001.

CURATOLA FERNÁNDEZ, G. F. et al. Bracken fern frond status classification in the Andes of southern Ecuador: combining multispectral satellite data and field spectroscopy. **International journal of remote sensing**, v. 34, n. 20, p. 7020-7037, 2013.

CURRAN, P. J.; WILLIAMSON, H. D. How many ground data samples? A question for remote sensing. In: **Remote Sensing: Data Acquisition, Management and Applications**. Remote Sensing Society, Reading, UK and Centre for Earth Applications Springfield, 1985. p. 163-169.

CURRAN, P. J.; WILLIAMSON, H. D. Sample size for ground and remotely sensed data. **Remote sensing of environment**, v. 20, n. 1, p. 31-41, 1986.

CUTLER, Adele; CUTLER, D. Richard; STEVENS, John R. Random forests. **Ensemble machine learning: Methods and applications**, p. 157-175, 2012.

DEN OUDEN, Jan. **The role of bracken (Pteridium aquilinum) in forest dynamics**. Wageningen University and Research, 2000.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, RJ. Súmula da 10. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979.

ESA – **European Space Agency**. Missions. Sentinel 2. 2020. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>. Acesso em 03 de fev. de 2023.

FELFILI, J. M. Comparison of dynamics of two gallery forests in Central Brazil. In: **Proceedings of International Symposium on Assessment and Monitoring of Forests in Tropical Dry Regions With Special Reference to Gallery Forests (J. Imaña-Encinas & C. Kleinn, coords.)**. Universidade de Brasília, Brasília. 1997. p. 115-124.

GHORBANI, J. et al. Effects of the litter layer of *Pteridium aquilinum* on seed banks under experimental restoration. **Applied Vegetation Science**, v. 9, n. 1, p. 127-136, 2006.

HARTIG, Katja; BECK, Erwin. The bracken fern (*Pteridium arachnoideum* (Kaulf.) Maxon) dilemma in the Andes of Southern Ecuador. **Ecotropica**, v. 9, p. 3-13, 2003.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Brasília**. Brasília, 2016.

JENSEN, John R.; EIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

KELLMAN, Martin; MEAVE, Jorge. Fire in the tropical gallery forests of Belize. **Journal of biogeography**, v. 24, n. 1, p. 23-34, 1997.

MARRS, R. H.; WATT, A. S. Biological flora of the british isles: *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. **Journal of Ecology**, v. 94, n. 6, p. 1272-1321, 2006.

MATONGERA, Trylee Nyasha et al. Detection and mapping of bracken fern weeds using multispectral remotely sensed data: a review of progress and challenges. **Geocarto international**, v. 33, n. 3, p. 209-224, 2018.

MATONGERA, Trylee Nyasha et al. Detection and mapping the spatial distribution of bracken fern weeds using the Landsat 8 OLI new generation sensor. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 57, p. 93-103, 2017.

MIATTO, Raquel C. et al. Woody vegetation structure of Brazilian Cerrado invaded by *Pteridium arachnoideum* (Kaulf.) Maxon (Dennstaedtiaceae). **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 206, n. 8, p. 757-762, 2011.

MIRANDA, Heloisa Sinátora. Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do projeto Fogo. **Brasília-DF, IBAMA**, 2010.

NGUBANE, Zinhle Cynthia. **Evaluating the potential of WorldView-2's strategically located bands in mapping the Bracken fern (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn)**. 2014. Tese de Doutorado.

ODINDI, John et al. Comparison between WorldView-2 and SPOT-5 images in mapping the bracken fern using the random forest algorithm. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 083527-083527, 2014.

OLIVEIRA, V. M. et al. Plantas Tóxicas em Pastagens: Samambaia-do-campo (*Pteridium esculentum* subsp. *arachnoideum* (Kaulf.) Thomson, Família Dennstaedtiaceae). 2018.

PAGE, C. N. The taxonomy and phytogeography of bracken - a review. **Botanical journal of the Linnean Society**, v. 73, n. 1-3, p. 1-34, 1976.

PAGE, C. N. The strategies of bracken as a permanent ecological opportunist. In: **Proceedings of the International Conference: Bracken'85**. Carnforth: Parthenon Publishing Group, 1986.

PONZONI, Flávio. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, Paulo e Netto, José. **Sensoriamento remoto reflectância dos alvos naturais**. 1ª edição. Brasília. Universidade de Brasília, 2001, Página 157-199.

ROOS, Kristin et al. Growth of tropical bracken (*Pteridium arachnoideum*): response to weather variations and burning. **Invasive Plant Science and Management**, v. 3, n. 4, p. 402-411, 2010.

SILVA MATOS, D. M.; BELINATO, Thiago Affonso. Interference of *Pteridium arachnoideum* (Kaulf.) Maxon.(Dennstaedtiaceae) on the establishment of rainforest trees. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, p. 311-316, 2010.

SILVA, Úrsula Souza Rodrigues da; MATOS, Dalva M. The invasion of *Pteridium aquilinum* and the impoverishment of the seed bank in fire prone areas of Brazilian Atlantic Forest. **Biodiversity & Conservation**, v. 15, n. 9, p. 3035-3043, 2006.

SINGH, Kaveer; FORBES, Angus; AKOMBELWA, Mulemwa. The evaluation of high resolution aerial imagery for monitoring of bracken fern. **South African Journal of Geomatics**, v. 2, n. 4, p. 296-208, 2013.

TAYLOR, J. A. "The Bracken Problem: A Local Hazard and Global Issue." In **Bracken: Ecology, Land Use and Control Technology**. pags. 21–41. 1986 Carnforth: Parthenon Publishing Group.

TAYLOR, J. E. et al. Allelopathic activity of frond run-off from *Pteridium esculentum*. **AIAS Occasional Publication**, n. 40, p. 203-208, 1990.

WATT, Alex S. Contributions to the ecology of bracken (*Pteridium aquilinum*). I. The rhizome. **The New Phytologist**, v. 39, n. 4, p. 401-422, 1940.