

Artigos

Efeito do fogo na abundância e diversidade fúngica no solo do Cerrado

Effect of fire on abundance and fungal diversity in the Cerrado soil

Cássia Silva¹ 
Igor Viana¹ 
Dalmácia de Souza¹ 
Damiana Silva¹ 
Augustus Portella¹ 
Marcos Giongo¹ 

¹Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO, Brasil

RESUMO

A realização de queimas prescritas, com diferentes objetivos de gestão e manejo, vem sendo aplicada mais frequentemente em áreas protegidas. Com o intuito de compreender o efeito do fogo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a abundância e a diversidade dos microrganismos fúngicos em resposta ao uso do fogo e incêndios florestais. As amostras de solo anterior e após a queimada foram coletadas, sendo os fungos isolados pelo método de plaqueamento, posteriormente quantificados por meio da contagem das unidades formadoras de colônia (UFC g⁻¹) e identificados ao nível de gênero. A média de UFC g⁻¹ não apresentou diferença significativa entre os regimes de fogo avaliados, no entanto houve diferença significativa ($p < 0,05$) para diversidade, tendo os dois anos de incêndios ocasionado menor diversidade de gênero. Os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* estiveram presentes em todas as áreas amostradas, com maiores valores de UFC g⁻¹, enquanto os gêneros *Mucor* e *Rhizopus* apresentaram os menores valores. A média de unidade formadora de colônia (UFC g⁻¹) e diversidade antes e após a queima prescrita diferiram estatisticamente ($p < 0,05$), sendo que a média de UFC g⁻¹ teve redução e a diversidade apresentou aumento após a passagem do fogo em todas as áreas avaliadas. A maior redução da média de UFC g⁻¹ ocorreu para o mês de julho. Os valores de coeficientes de correlação de Pearson obtidos demonstraram correlação negativa significativa entre a média de UFC g⁻¹, a diversidade e a temperatura ($r = 0,70$; $r = -0,98$ e $p < 0,05$). A variável diversidade apresentou correlação negativa com a temperatura, precipitação e umidade relativa do ar ($r = -0,56$; $r = -0,86$; $r = -0,86$ e $p < 0,05$), indicando que houve influência direta destas variáveis na abundância e diversidade dos fungos do solo. Os parâmetros do solo (alumínio, acidez trocável, capacidade de troca de cátions, cálcio, magnésio, cálcio e magnésio, fósforo, pH, saturação por base e de alumínio) possuem relação direta com os fungos do solo.

Palavras-chave: Microbiota fúngica; Queima prescrita; Savana brasileira

ABSTRACT

Prescribed burning, with different objectives of management and handling, has been applied more frequently in protected areas. In order to understand the effect of fire, this work aimed to assess the abundance and diversity of fungal microorganisms in response to the use of fire and forest fires. Soil samples before and after burning were collected, with fungi isolated by the plating method, then quantified by counting the colony-forming units (CFU g⁻¹) and identified at the genus level. The average CFU g⁻¹ did not present a significant difference between the evaluated fire regimes, however, there was a significant difference ($p < 0.05$) for diversity, and the two years of fires caused less genus diversity. The genera *Aspergillus* and *Penicillium* were present in all sampled areas, with higher CFU g⁻¹ values, whereas genera *Mucor* and *Rhizopus* exhibited the lowest values. The average colony-forming unit (CFU g⁻¹) and diversity before and after prescribed burning differed statistically ($p < 0.05$), while the average CFU g⁻¹ had a reduction and diversity showed an increase after the passage of fire in all areas evaluated. The greatest reduction in the average CFU g⁻¹ occurred for the month of July. Pearson's correlation coefficient values obtained demonstrated a significant negative correlation between average CFU g⁻¹, diversity and temperature ($r = 0.70$; $r = -0.98$ and $p < 0.05$). The diversity variable presented negative correlation with temperature, precipitation and relative humidity ($r = -0.56$; $r = -0.86$ and $p < 0.05$), thus indicating that there was a direct influence of these variables on the abundance and diversity of soil fungi. The soil parameters (aluminum, exchangeable acidity, cation EXCHANGE capacity, calcium and magnesium, phosphorus, pH, base and aluminum saturation) have a direct relation with the soil fungi.

Keywords: Fungal microbiota; Prescribed burning; Brazilian savanna

1 INTRODUÇÃO

A savana brasileira compreende um mosaico de diferentes tipos de vegetações, algumas adaptadas ao fogo como a área de savana e outras sensíveis a este como as matas ciliares, sendo que os incêndios florestais naturais moldaram as paisagens do bioma Cerrado por milhões de anos (WALTER; RIBEIRO, 2010; DURIGAN; RATTTER, 2016). Os incêndios florestais de maiores proporções (> 50.000 ha) geralmente ocorrem no final da estação seca a cada 2 a 5 anos na maioria das unidades de conservação do bioma Cerrado, ameaçando comunidades locais e infraestrutura, bem como causando perdas econômicas e ambientais (FRANÇA, 2010).

Esses incêndios na estação seca tardia afetam a vegetação sensível ao fogo e causam altas taxas de mortalidade de árvores e animais. O uso das queimas prescritas logo após o período chuvoso, com o propósito de evitar grandes incêndios, vem sendo uma estratégia comumente defendida para a conservação da biodiversidade nesse

bioma, sendo aplicada legalmente até mesmo em áreas protegidas do Cerrado, cujos planos de manejo incluem a queima prescrita (MIRANDA, 2010).

Dessa forma, embora a queima prescrita tenha se tornado uma ferramenta de manejo florestal cada vez mais utilizada em diversos ecossistemas no mundo, o que se tem conhecimento é que a utilização do fogo, em condições controladas, permite a redução de material combustível, minimizando assim a extensão e a gravidade dos incêndios florestais. Quando o fogo é sem controle, provocado por ações antrópicas ou naturais, tem-se uma carga abundante de material combustível que pode levar o incêndio a atingir proporções muito maiores (MITTAL *et al.*, 2019).

O regime de queima prescrito deve ser adequado para as diferentes fitofisionomias do bioma, a fim de evitar que o seu uso não ocasione prejuízos à fauna, flora e à microbiota do solo (SOLERA *et al.*, 2010). Em sistemas que não são adaptados ao fogo, ou em que tenha ocorrido a exclusão do fogo por muito tempo, alguns autores verificaram que episódios de incêndios frequentes podem reduzir significativamente a biomassa fúngica do solo (DOOLEY; TRESEDER, 2012).

A ecologia do fogo no bioma Cerrado tem sido pauta de debate entre pesquisadores e gestores de unidades de conservação, inexistindo ainda um consenso acerca da frequência ideal que permita manter concomitantemente a biodiversidade do ecossistema e a sua utilização, mesmo de forma controlada. Além disso, poucos estudos investigaram as respostas ao fogo da comunidade fúngica na savana brasileira. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar a abundância e diversidade dos microrganismos fúngicos em resposta ao uso da queima prescrita, dentro de uma unidade de conservação do bioma Cerrado.

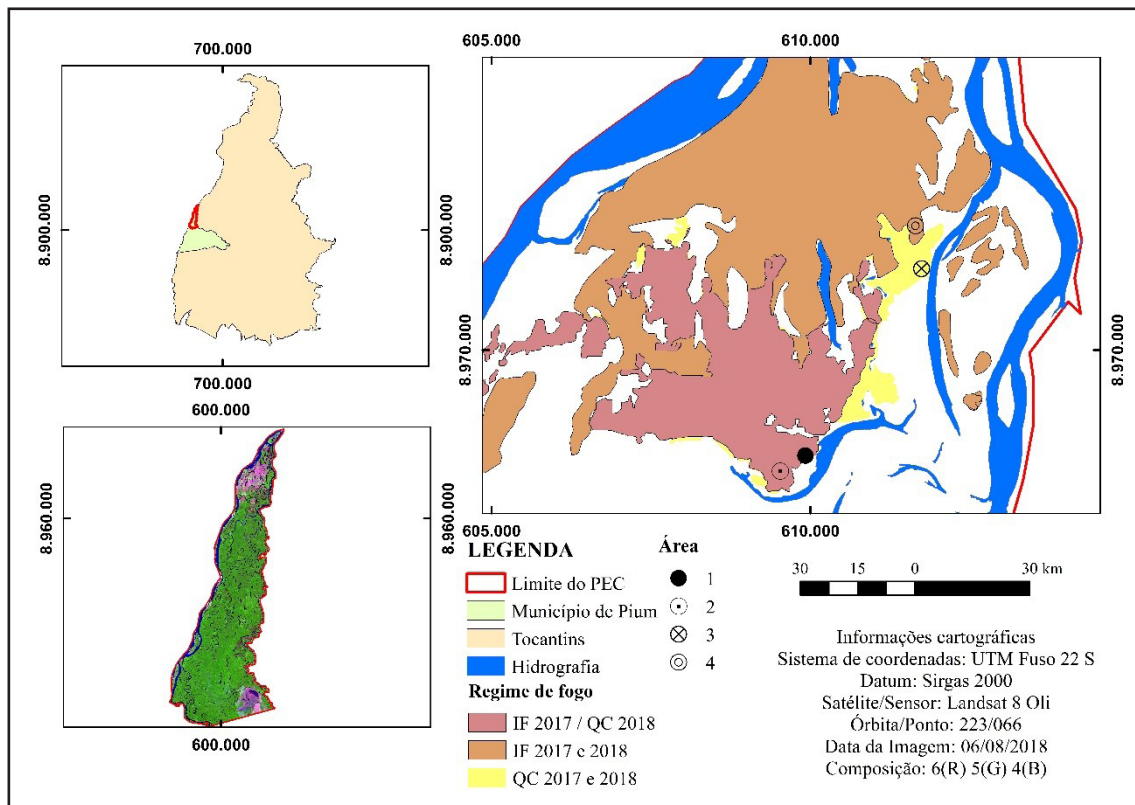
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no Parque Estadual do Cantão (PEC) (Figura 1), localizado no município de Pium - TO, conforme autorização protocolada sob N°

2824-2019, Proc. 2252-2019-B, junto ao Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS). O parque possui uma extensão de 90.000 ha e situa-se em uma zona de transição entre o Cerrado e a Amazônia (TOCANTINS, 2016).

Figura 1 – Localização do Parque Estadual do Cantão - PEC e das áreas avaliadas



Fonte: Autores (2020)

A região onde o parque está inserido é marcada por uma forte sazonalidade climática, em que o período seco estende-se de maio a outubro, com altitude média de 150 m e clima úmido com moderada ou nula deficiência hídrica, temperatura média de 28 °C e pluviosidade média anual de 2.100 mm (SEPLAN, 2015).

2.2 Coleta do solo e análise

As coletas de solo foram realizadas durante os meses de junho a agosto de 2019. As amostras para avaliação dos efeitos do fogo foram coletadas após a execução das queimas prescritas realizadas pela equipe técnica do Instituto Natureza do Tocantins

(NATURATINS). Foi instalado o experimento sob o delineamento inteiramente casualizado, que em esquema experimental é um trifatorial 4 (áreas) x 3 (regime de fogo: incêndio florestal 2017 / queima prescrita 2018, queima prescrita 2017 e 2018 e incêndio 2017 e 2018) x 2 coletas (antes e após queima prescrita) e com 10 repetições (Tabela 1).

Tabela 1 – Descrição das áreas avaliadas no Parque Estadual do Cantão

Área	Período de coleta	Regime de fogo	Tratamento avaliado
1	Julho/19	2017: Incêndio Florestal 2018: Queima prescrita	Antes da queima prescrita Pós queima 24 horas
2	Julho/19	2017: Incêndio Florestal 2018: Queima prescrita	Antes da queima prescrita Pós queima 24 horas
3	Junho/19 e Julho/19	2017: Queima prescrita 2018: Queima prescrita	Antes da queima prescrita Pós queima 24 horas Pós queima 30 dias
4	Agosto/19	2017: Incêndio Florestal 2018: Incêndio Florestal	Sem queima prescrita

Fonte: Autores (2020)

As 20 amostras de solo (10 antes e 10 após queima prescrita) foram realizadas com base em uma amostragem composta, oriunda de 4 amostras simples retirada a uma profundidade de 0 - 10 cm do solo em uma área de 1 m². Após a coleta, o solo foi acondicionado em recipiente higienizado e em seguida foram homogeneizadas para formar a amostra composta e transportadas em caixas de isopor para o Laboratório de Ciências Florestais e Ambientais do Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo (CeMAF), posteriormente armazenadas sob refrigeração (4° C) até o momento das análises. As amostras do solo foram realizadas conforme o manual elaborado por Donagema *et al.* (2011).

2.3 Contagem das unidades formadoras de colônia

O método de plaqueamento foi empregado para quantificar as unidades

formadoras de colônia (UFC g⁻¹) (DIONÍSIO *et al.*, 2016). As amostras de solo foram passadas em uma peneira de malha de 2,00 mm para separação inicial dos torrões e raízes. Posteriormente, foi realizada a diluição seriada, em que para cada amostra foram transferidos 1 g de solo para um Erlenmeyer contendo 99 mL do diluente esterilizado (água destilada) e homogeneizada por 2-3 minutos. Essa suspensão correspondeu à diluição 10⁻¹. Com auxílio de uma micropipeta, 1 mL foi transferido para um tubo de ensaio contendo 9 mL de diluente, obtendo-se a diluição 10⁻² e, em seguida, foi realizado o mesmo procedimento para obter a diluição 10⁻³. A amostra diluída (10⁻³) foi plaqueada em ágar Sabouraud comercial e, posteriormente, as placas foram incubadas a 28±1°C, durante 5 dias. Todas as diluições foram realizadas em triplicata e mantidas à temperatura de 28 ±1°C. A contagem das unidades formadoras de colônia foi realizada após o período de incubação dos fungos.

2.4 Identificação dos fungos

Após sete dias de incubação procedeu-se a identificação e o isolamento dos fungos que colonizavam cada amostra, com o auxílio de um microscópio estereoscópico (lupa, 20x) e microscópio óptico (100x). A identificação dos fungos em nível de gênero foi efetuada por observações e comparações de suas estruturas morfológicas, assimilativas e reprodutivas, conforme as instruções do manual de Watanabe (2002).

2.5 Análise estatística

Os dados foram organizados em planilha eletrônica e o resultado da contagem das unidades formadoras de colônia (UFC g⁻¹) foi transformado para atender às premissas de homogeneidade e normalidade da variância, através da Equação (1):

$$x = \sqrt{x + 0,5} \quad (1)$$

Os resultados foram submetidos ao Teste da Análise da Variância (ANOVA) e os resultados foram comparados pelo Teste de Tukey à 5 % de significância. Os coeficientes de Pearson ($p < 0,05$) foram calculados para analisar as correlações entre os parâmetros avaliados (abundância e diversidade) e as variáveis climáticas e atributos químicos do solo.

2.6 Índices de biodiversidade

Para avaliação da diversidade dos fungos foram utilizados os seguintes índices:

1. Índice de diversidade de Shannon Wiener (H'):

$$H' = \sum p_i \times \log p_i \quad (2)$$

Em que: p_i é referente à proporção de indivíduos de cada gênero em relação ao número total de indivíduos.

2. Índice de diversidade de Simpson (D):

$$D = 1 / \sum \left(\frac{n(n-1)}{N(N-1)} \right) \quad (3)$$

Em que: S : índice de Simpson; n : número de indivíduos do gênero; N : número total de gêneros.

3. Índice de Similaridade de Sørensen

A fim de avaliar a semelhança da população fúngica antes e após queima, foi aplicado o índice que se baseia na presença ou ausência dos gêneros com o uso do fogo, através da Equação (4):

$$S = \frac{2C}{A+B} \times 100 \quad (4)$$

Em que: A : número de gêneros antes do fogo; B : número de gêneros após o fogo; C : número de gêneros entre os dois tratamentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Filos encontrados nas amostras do solo

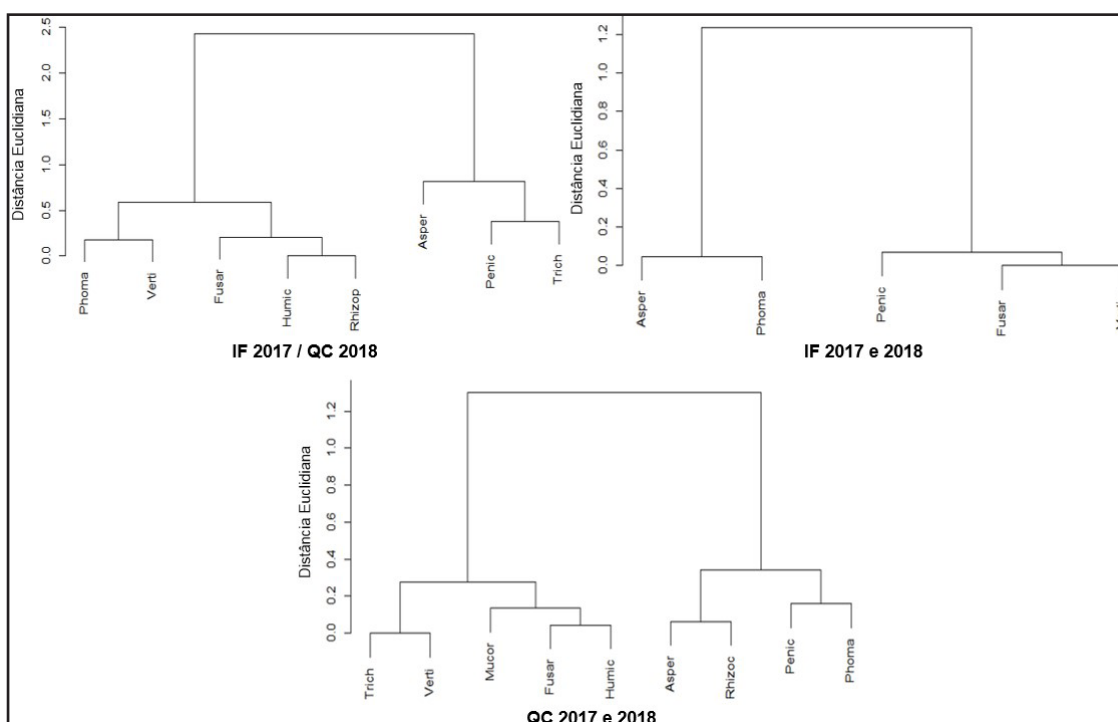
O filo *Ascomycetes* apresentou 89,6% das unidades formadoras de colônias, seguido de 10,2% dos fungos não identificados, enquanto a menor representação ocorreu para *Zygomycetes*, com 0,20% das UFC g⁻¹. A maior representatividade do filo *Ascomycetes* deve-se ao fato deste ser o maior grupo do Reino Fungi, incluindo três subfilos, 15 classes, 68 ordens e 327 famílias (ARAUJO *et al.*, 2017). Os gêneros encontrados *Aspergillus*, *Fusarium*, *Humicola*, *Penicillium*, *Phoma*, *Rhizoctonia*, *Verticillium* e *Trichoderma* fazem parte do filo *Ascomycetes*, ao passo que *Mucor* e *Rhizopus* integram os *Zygomycetes*.

Araujo *et al.* (2017), em seu trabalho acerca da diversidade de fungos em solos ao longo de um gradiente de cerrado brasileiro preservado, verificaram que o filo *Ascomycetes* foi o mais abundante. Em outras pesquisas, quantidades consideráveis de fungos do bioma Cerrado não foram identificadas, devido à ausência de sequências similares no banco de dados ou até mesmo pelo fato desses organismos não terem sido ainda identificados (PONTES *et al.*, 2017; SOUSA *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2020).

3.2 Quantificação e diversidade dos microrganismos fúngicos com diferentes regimes de fogo

A média de UFC g⁻¹ não apresentou diferenças significativas em relação aos regimes de fogo avaliados, no entanto houve diferença significativa ($p < 0,05$) para a variável diversidade de fungos. Com base na dissimilaridade entre os gêneros e utilizando a ferramenta análise de cluster com agrupamento hierárquico pela distância euclidiana, observou-se que quanto maior o valor observado, menos similares foram as quantidades médias de UFC g⁻¹ dentro dos gêneros (Figura 2), considerando cada regime de fogo.

Figura 2 – Agrupamento hierárquico dos gêneros para os regimes de fogo avaliados



Fonte: Autores (2020)

Em que: IF: Incêndio Florestal, QC: Queima prescrita, Asper: *Aspergillus*, Fusar: *Fusarium*, Humic: *Humicola*, Penic: *Penicillium*, Rhizoc: *Rhizoctonia*, Rhizop: *Rhizopus*, Trich: *Trichoderma* e Vert: *Verticillium*.

Para cada regime observou-se a formação de dois grupos principais, distintos entre si. No regime de fogo incêndio florestal 2017/queima prescrita 2018, o grupo 1 incluiu os gêneros *Phoma*, *Verticillium*, *Fusarium*, *Humicola* e *Rhizopus*, enquanto os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Trichoderma* constituíram o grupo 2. A análise de agrupamento para incêndio florestal 2017 e 2018 associou no grupo 1 os gêneros *Aspergillus* e *Phoma* e para o segundo grupo os gêneros *Penicillium*, *Fusarium* e *Verticillium*. No caso de queima prescrita 2017 e 2018 foi encontrada maior diversidade fúngica, ocorrendo a seguinte associação de gêneros para os 2 grupos: *Trichoderma* - *Verticillium* - *Mucor* - *Fusarium* - *Humicola* e *Aspergillus* - *Rhizoctonia* - *Penicillium* - *Phoma*.

A menor diversidade fúngica encontrada para incêndio florestal 2017 e 2018

pode ser explicada pelo fato de que a recorrência deste evento poderia ter ocasionado uma maior perda da cobertura vegetal, afetando assim as comunidades fúngicas do solo. Solera *et al.* (2010) preconizam que a recolonização dos fungos em áreas degradadas depende significativamente da restauração da vegetação na região afetada. As alterações na estrutura da comunidade fúngica são mais notórias em áreas com ocorrência frequente de incêndios, em decorrência da elevada deposição das cinzas acumuladas na superfície do solo, podendo causar esterilização a uma profundidade de vários centímetros (HATTEN; ZABOWSKI, 2010). Os incêndios de forma repetida podem reduzir o conteúdo da matéria orgânica do solo, podendo influenciar na disponibilidade de nitrogênio (POUREZA *et al.*, 2014).

Os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* estiveram presentes em todas as áreas, demonstrando os maiores valores médios de UFC g⁻¹ (20,4 e 18,9 %, respectivamente), enquanto os gêneros *Mucor* e *Rhizopus* apresentaram os menores valores (3,0 e 2,6%, respectivamente) (Tabela 2).

Tabela 2 – Média de UFC g⁻¹ por gênero nas áreas avaliadas no Parque Estadual do Cantão

Gênero	Área								Média geral	%
	1	2	3	4	1	2	3	4		
<i>Aspergillus</i>	2,79	Fa	3,41	Ed	2,80	Ib	2,94	Ec	11,95	20,4
<i>Fusarium</i>	1,71	Cc	0,00	Aa	1,64	Cb	1,71	Bc	5,05	8,6
<i>Humicola</i>	1,50	Bb	0,00	Aa	1,68	Dc	0,00	Aa	3,18	5,4
<i>Mucor</i>	0,00	Aa	0,00	Aa	1,78	Eb	0,00	Aa	1,78	3,0
<i>Penicillium</i>	4,49	Hd	2,39	Db	2,46	Fc	1,78	Ca	11,10	18,9
<i>Phoma</i>	2,07	Db	1,50	Ba	2,62	Gc	2,90	Dd	9,08	15,5
<i>Rhizoctonia</i>	0,00	Aa	0,00	Aa	2,74	Hb	0,00	Aa	2,74	4,7
<i>Rhizopus</i>	1,50	Bb	0,00	Aa	0,00	Aa	0,00	Aa	1,50	2,6
<i>Trichoderma</i>	3,55	Gc	0,00	Aa	1,50	Bb	0,00	Aa	5,05	8,6
<i>Verticillium</i>	2,35	Ed	1,73	Cc	1,50	Ba	1,71	Ab	7,29	12,4
Total geral	19,95	C	9,03	a	18,70	c	11,03	b	58,71	100

Fonte: Autores (2020)

Em que: valores seguidos de letras maiúsculas e distintas diferem entre si na coluna, enquanto valores seguidos de letras minúsculas e distintas diferem entre si na linha, pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Os fungos presentes no solo possuem uma grande diversidade na natureza, mas alguns gêneros são mais comumente isolados do solo, sendo estes: *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., *Trichoderma* sp., *Verticillium* sp. (PONTES *et al.*, 2017). O gênero *Aspergillus* atualmente abrange mais de 260 espécies, sendo considerado o mais amplamente distribuído no ecossistema. Dessa forma, suas espécies são comumente isoladas em plantas e no solo, tendo maior distribuição em regiões tropicais e subtropicais (SAMSON; VARGA, 2010). O gênero *Penicillium* também possui uma ampla distribuição, estando presente em solos, na vegetação e no ar (CARDOSO *et al.*, 2016).

3.3 Efeito do uso do fogo sobre a comunidade fúngica no solo do bioma Cerrado

Após a queima prescrita nas áreas avaliadas, a média de UFC g⁻¹ teve uma redução de 2% e a diversidade apresentou um aumento de 22%. Os microrganismos fúngicos possuem uma amplitude de resistência a altas temperaturas bem inferiores às observadas para bactérias, sendo que as temperaturas letais para estes microrganismos variam entre 50-155 °C. O limiar de temperaturas (200-300 °C) é atingido usualmente a uma profundidade de 5 cm durante queimas de média ou alta gravidade, podendo ocasionar uma esterilização completa do solo (DOOLEY; TRESEDER, 2012).

Estudando o impacto da queima de vegetação do Cerrado sobre fungos habitantes do solo, Sousa *et al.* (2019) também verificaram redução no número de microrganismos, ocorrência que pode ser atribuída ao fato de que o uso do fogo pode ocasionar a remoção dos detritos do solo, promovendo assim uma alteração na disponibilidade de nutrientes, conteúdo de água e pH do solo (PEREIRA *et al.*, 2016).

Em todas as áreas amostradas a diversidade foi maior após a passagem do fogo, tanto para a diversidade Shannon como na de Simpson, sendo possível verificar os resultados na Tabela 3.

Tabela 3 – Diversidade fúngica nas áreas avaliadas no Parque Estadual do Cantão

Área	1		2		3	
	AQ	PQ	AQ	PQ	AQ	PQ
Tratamento	AQ	PQ	AQ	PQ	AQ	PQ
Diversidade de Shannon	1,14	2,00	1,12	2,00	1,56	2,00
Diversidade de Simpson	0,79	0,84	0,74	0,75	0,72	0,83
Similaridade de Sørensen	72,73%		90,91%		44,44%	

Fonte: Autores (2020)

Em que: AQ: Antes da queima prescrita; PQ: Pós queima prescrita.

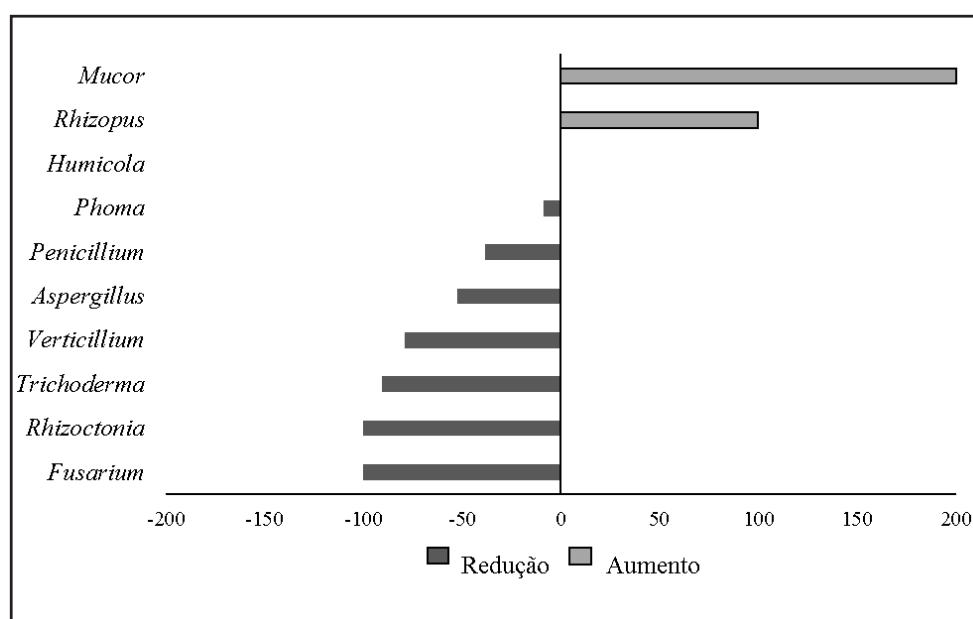
O menor índice de similaridade de Sørensen ocorreu na área 3, esse resultado pode ser explicado devido a diversidade da vegetação, com predominância do capim Sapé (*Imperata brasiliensis*) e também pela proximidade com a hidrografia local. Santos *et al.* (2020), em seu estudo acerca dos efeitos da queima prescrita a curto prazo nos fungos do solo no bioma Cerrado, observaram que a diversidade nas parcelas queimadas foi maior quando comparada às não queimadas, o que pode ser explicado pelo fato de que alguns fungos antagonistas como *Aspergillus* e *Penicillium* são sensíveis ao fogo, favorecendo assim a ocorrência de outros gêneros.

Os solos das áreas queimadas estão mais expostos à luz, e a variação de temperatura é maior que no caso de solos não queimados. Além disso, a distribuição espacial e temporal de água difere entre solos queimados e não queimados, podendo induzir alterações na comunidade dos microrganismos fúngicos (SOLERA *et al.*, 2010). Durante os meses avaliados, verificou-se que a realização da queima prescrita no mês de junho apresentou melhores resultados para os microrganismos fúngicos, resultando em maior diversidade (46%) e menor redução de UFC g⁻¹ (17%) quando comparado ao mês de julho.

A maior redução da média de UFC g⁻¹ (22%) pode ser atribuída ao início do período de estiagem, em que a temperatura é maior e a umidade relativa do ar é menor, quando comparada ao mês de junho. Essas variáveis climáticas possuem influência direta na intensidade do fogo, podendo ocasionar prejuízos aos microrganismos fúngicos do solo (SOUSA *et al.*, 2019).

Na Figura 3, encontra-se representada a porcentagem da redução e aumento do número de UFC g⁻¹ por gênero, sendo possível verificar que os gêneros com maior redução após a queima foram *Rhizoctonia* e *Fusarium*, ambos com 100%, enquanto os que tiveram aumento foram *Mucor* e *Rhizopus* (200 e 100%, respectivamente).

Figura 3 – Quantificação da porcentagem de redução e aumento do número de UFC g⁻¹ no Parque Estadual do Cantão



Fonte: Autores (2020)

A redução de alguns gêneros pode ser atribuída a esterilização promovida pela queima prescrita na superfície do solo e devido ao fato de que alguns gêneros de fungos são mais sensíveis ao fogo que outros (KIPFER *et al.*, 2010; RUTIGLIANO *et al.*, 2013; POURREZA *et al.*, 2014). Além disso, fungos filamentosos como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Verticillium* e *Trichoderma* são dependentes da matéria orgânica proveniente de outros organismos para sobreviverem, e o fogo promove, a curto prazo, uma redução na matéria orgânica do solo (POURREZA *et al.*, 2014). O declínio de alguns fungos pode estar associado também à ausência de plantas hospedeiras, tendo em vista que as comunidades microbianas do solo são influenciadas pela composição da comunidade vegetal (HATTEN; ZABOWSKI, 2010).

3.4 Avaliação da quantidade e diversidade de microrganismos fúngicos após 30 dias

Considerando os tratamentos antes da queima, após a queima e 30 dias após o evento, não foi possível verificar diferenças significativas ($p > 0,05$) na média de unidades formadoras de colônias da área 3. A diversidade observada antes da queima prescrita foi menor quando comparada aos tratamentos pós-queima (32%) e também aos 30 dias após a queima (23%), diferindo estatisticamente ($p < 0,05$). Em ecossistemas de savana, as respostas das comunidades microbianas do solo ao fogo são restritas a camada orgânica superficial e, nesse sentido, os efeitos podem desaparecer após um período, fazendo com que o uso do fogo de forma prescrita possua um impacto mínimo sobre o solo (OLIVER *et al.*, 2015).

Em áreas protegidas, como é o caso do Parque Estadual do Cantão, a ação do fogo é relativamente rápida, quando apenas uma queima é considerada. Pourreza *et al.* (2014) recomendam cautela no uso de fogo frequente e sugerem um mosaico de queimas para reduzir o risco de incêndios, bem como estender o período entre as queimas prescritas. Os autores observaram que uma única queima não apresentava efeitos na atividade microbiana, mas que a queima de forma repetida promovia uma redução substancial na população fúngica do solo.

3.5 Influência das variáveis climáticas e atributos químicos do solo na quantidade e diversidade de microrganismos fúngicos do solo

Os valores de coeficientes de correlação de Pearson obtidos demonstraram uma correlação negativa significativa entre a média de UFC g^{-1} com a diversidade e temperatura ($r = -0,70$; $r = -0,98$ e $p < 0,05$). Para a variável diversidade foram encontradas correlações significativas com a temperatura, precipitação e umidade relativa ($r = -0,56$; $r = -0,86$; $r = -0,46$ e $p < 0,05$), indicando influência direta destas variáveis na abundância e diversidade dos fungos do solo.

A diversidade e abundância fúngica estão diretamente associadas, uma vez que

quanto maior o número de gêneros, maiores são as espécies fúngicas, fazendo com que o solo esteja mais habitado. As variáveis climáticas (temperatura, precipitação e umidade relativa do ar) possuem relação direta com as reações fisiológicas de um ecossistema, assim como na dinâmica dos nutrientes do solo (PEREIRA *et al.*, 2016).

Foi verificada uma correlação negativa significativa entre a média de UFC g⁻¹ com os elementos Ca, Ca + Mg, P, além do pH e saturação de base ($r = -0,61$; $r = -0,53$; $r = -0,45$; $r = -0,67$; $r = -0,42$ e $p < 0,05$). Além disso, a diversidade dos microrganismos fúngicos apresentou correlação com o Al, CTC, H + Al, matéria orgânica, P, pH, saturação de alumínio e saturação de base ($r = -0,60$; $r = -0,44$; $r = -0,62$; $r = -0,74$; $r = -0,49$; $r = 0,61$; $r = -0,48$; $r = 0,54$; e $p < 0,05$), conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos químicos do solo e média de UFC g⁻¹ e diversidade

Parâmetro do solo		UFC g ⁻¹	Diversidade
Al	cmolc/dm ³	0,14	-0,60
Ca	cmolc/dm ³	-0,61	0,15
Ca + Mg	cmolc/dm ³	-0,53	0,13
CTC	cmolc/dm ³	-0,32	-0,44
H + Al	mg/dm ³	-0,12	-0,62
K	cmolc/dm ³	-0,45	-0,02
Mat. Org.	%	-0,05	-0,74
Mg	%	-0,01	-0,01
P	%	-0,07	-0,49
Ph	%	-0,67	0,61
Sat. Al	%	0,30	-0,48
Sat. Base	%	-0,42	0,54

Fonte: Autores (2020)

Em que: Al: Alumínio; Ca: Cálcio; Ca + Mg: Cálcio e Magnésio; CTC: Capacidade de troca de cátions; H + Al: Hidrogênio e Alumínio; K: Potássio; Mat. Org.: Matéria orgânica; Mg: Magnésio; P: Fósforo; Sat. Al: Saturação de alumínio; Sat. Base: Saturação de base.

A toxicidade do alumínio constitui um dos principais fatores de restrição que retarda o crescimento de fungos, podendo influenciar diretamente na diversidade fúngica destes microrganismos (ELE *et al.*, 2012). O pH possui uma relação direta com

a comunidade fúngica, tendo em vista que este parâmetro pode ser fator limitante para alguns fungos e restringir o estabelecimento destes microrganismos, embora alguns tolerem condições adversas de pH (GENHE *et al.*, 2016).

Além da influência do pH na diversidade e composição de fungos, os cátions trocáveis como Al, Ca, e K atuam como fatores determinantes. Tedersoo *et al.* (2014) afirmam que o Ca é um dos atributos relevantes para a composição fúngica do solo. Esse elemento é importante para inúmeros processos fisiológicos em plantas e microrganismos, podendo influenciar na deposição de matéria orgânica, que é particularmente importante para o fornecimento dos nutrientes, dessa forma atuando diretamente na atividade fúngica e resultando no aumento da diversidade (PEREIRA *et al.*, 2014).

4 CONCLUSÕES

Os gêneros mais ocorrentes foram *Aspergillus* e *Penicillium*, e a recorrência de incêndio florestal nas áreas avaliadas promoveu uma alteração na diversidade dos microrganismos fúngicos no solo.

A queima prescrita ocasionou alterações na microbiota fúngica do solo nas áreas avaliadas, ocorrendo uma recuperação desses microrganismos fúngicos no período de 30 dias.

A realização da queima prescrita no mês de junho ocasionou uma maior diversidade e também menor redução de UFC g⁻¹ após o uso do fogo.

Os gêneros que apresentaram maior redução após a queima foram *Rhizoctonia* sp. e *Fusarium* sp., enquanto os que revelaram aumento foram *Mucor* sp. e *Rhizopus* sp.

As variáveis abundância e diversidade demonstraram possuir associação direta com a temperatura, precipitação e umidade relativa.

Alguns atributos químicos avaliados indicaram relação direta com a abundância (pH, Ca + Mg, Ca, K e Sat. Base) e diversidade (CTC, Mat. Org., pH, H + Al, Al, P, Sat. Al. e Sat. Base) dos microrganismos fúngicos.

AGRADECIMENTOS

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo (CEMAF) e a Rosemarilany Barbosa.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. S. F. *et al.* Fungal diversity in soils across a gradient of preserved Brazilian Cerrado, **Journal of Microbiology**, [s. l.], v. 55, n. 4, p. 273-279, 2017.

DIONÍSIO, J. A. *et al.* **Guia prático de biologia do solo**. 1. ed. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2016. 152 p.

CARDOSO, E. J. B. N. *et al.* **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: FEALQ, 2016.

DONAGEMMA, G. K. *et al.* **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2011.

DOOLEY, S. R.; TRESEDER, K. K. The effect of fire on biomass microbial: a meta-analysis of field studies. **Biogeochemistry**, [s. l.], v. 109, p. 49-61, 2012.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 53, p. 11-15, 2016.

ELE, G. H. *et al.* Microbial and enzyme properties of acidic red soils under aluminum stress. **Fresen Environ Bull.** [s. l.], v. 21, p. 2818-2825, 2012.

FRANÇA, H. 2010. **Os incêndios de 2010 nos parques nacionais do cerrado**. Universidade Federal do ABC. [s. l.], 16 p.

GENHE, H. *et al.* Isolation, Identification and Characterization of Two Aluminum-Tolerant Fungi from Acidic Red Soil. **Indian J Microbiol**, [s. l.], v. 56, p. 344-352, 2016.

HATTEN, J. A.; ZABOWSKI, D. Fire severity effects on soil organic matter from a ponderosa pine forest: a laboratory study. **Int. J. Wildland Fire**, [s. l.], v. 19, p. 613-623, 2010.

KIPFER, T. *et al.* Susceptibility of ectomycorrhizal fungi to soil heating. **Fungal Biol.**, v. 114, p. 467-472, 2010.

MIRANDA, H. S. (ed.). 2010. **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo**. Brasília: Ibama.

MITTAL, D. *et al.* Fire in pine-grown regions of Himalayas depletes cultivable plant growth promoting beneficial microbes in the soil. **Applied Soil Ecology**. [s. l.], v. 139, p. 117-124, 2019.

OLIVER, A. K.; CALLAHAM, M. A.; JUMPPONEN, A. Soil fungal communities respond compositionally to recurring frequent prescribed burning in a managed southeastern US forest ecosystem. **For. Ecol. Manage.**, [s.l.], v. 345, p. 1-9, 2015.

PEREIRA, A. *et al.* Microbial diversity in Cerrado biome (neotropical Savanna) soils. **PLoS One**, [s. l.], v. 11, p. 85-93, 2016.

PEREIRA, P. *et al.* Wildfire effects on extractable elements in ash from a Pinus pinaster forest in Portugal Hydrol. **Process**, [s. l.], v. 28, p. 3681-3690, 2014.

PONTES, S. D. *et al.* Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the Brazilian's Cerrado and in soybean under conservation and conventional tillage. **Applied Soil Ecology**. [s. l.], v. 118, p. 178-189, 2017.

POURREZA, M. *et al.* Soil microbial activity in response to fire severity in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests, Iran, after one year. **Geoderma**, [s. l.], v. 213, p. 95-102, 2014.

RUTIGLIANO, F. A. *et al.* Dynamics of fungi and fungivorous microarthropods in a Mediterranean maquis soil affected by experimental fire. **European Journal of Soil Biology**, [s. l.], v. 56, p. 33-43, 2013.

SAMSON, R. A.; VARGA, J. "What is a species in *Aspergillus*?". **Med. Mycol.**, [s. l.], v. 47, p. 13-20, 2010.

SANTOS, G. R. *et al.* Fire effects on soil fungi in a Cerrado vegetation area according to the collection period. **FLORESTA**, [s. l.], v. 50, p. 1113-1122, 2020.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO SUPERINTENDÊNCIA DO PLANEJAMENTO E GESTÃO CENTRAL DE POLÍTICAS PÚBLICAS (SEPLAN). Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DEZ). **Base de dados geográficos do Tocantins**, Palmas, 2015.

SOLERA, M. J. *et al.* p. 134-176, **Forest Fire Effects on Soil Microbiology**, [s. l.], 2010.

SOUSA, R. R. *et al.* Impacto da queima de vegetação do Cerrado sobre fungos habitantes do solo. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 965-974, 2019.

TEDERSOO, L. *et al.* Global diversity and geography of soil fungi. **Science**, v. 346, n. 6213, p. 1256688, 2014.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente do Estado do Tocantins. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Cantão**: Revisão. Palmas, 2004.

WALTER, B. M. T.; RIBEIRO, J. F. 2010. **Diversidade fitofisionômica e o papel do fogo no bioma Cerrado**. In Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo, p. 59-76. Brasília: IBAMA.

WATANABE, T. **Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species**, 2 ed. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press. 2002. 486 p

Contribuição de Autoria

1 – Cássia Silva

Engenheira Florestal, Mestra em Ciências Florestais e Ambientais

<https://orcid.org/0000-0003-4038-7142> • fcassia.silv@gmail.com

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Visualização de dados, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

2 – Igor Viana

Engenheiro Florestal, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais

<https://orcid.org/0000-0002-0015-6238> • igor.souza@mail.uft.edu.br

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Visualização de dados

3 – Dalmácia de Souza

Química, Ma., Doutoranda

<https://orcid.org/0000-0002-1756-5265> • dalmarciaadm@yahoo.com.br

Contribuição: Investigação, Metodologia

4 – Damiana Silva

Química, Dra.

<https://orcid.org/0000-0003-2962-9964> • damisb@gmail.com

Contribuição: Investigação, Metodologia, Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal

5 – Augustus Portella

Estatístico, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0001-5178-9257> • portella@uft.edu.br

Contribuição: Obtenção de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Recursos, Supervisão

6 – Marcos Giongo

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0003-1613-6167> • giongo@uft.edu.br

Contribuição: Obtenção de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Recursos, Supervisão

Como citar este artigo

Silva, C.; Viana, J.; Souza, D.; Silva, D.; Portella, A.; Giongo, M. Efeito do fogo na abundância e diversidade fúngica no solo do Cerrado. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 1910-1929, 2021. DOI 10.5902/1980509854717. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509854717>.