



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

**O FOGO NO CERRADO: INFLUÊNCIA DA QUEIMA NOS
ATRIBUTOS DO SOLO**

Gabriela Maria Franz

Lajeado/RS, setembro de 2022

Gabriela Maria Franz

O FOGO NO CERRADO: INFLUÊNCIA DA QUEIMA NOS ATRIBUTOS DO SOLO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências: Ambiente e Desenvolvimento, área de concentração Espaço, Ambiente e Sociedade, linha de pesquisa Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. André Jasper

Coorientador: Prof. Dr. Evandro Luiz Schoninger

Lajeado/RS, setembro de 2022

Gabriela Maria Franz

O FOGO NO CERRADO: INFLUÊNCIA DA QUEIMA NOS ATRIBUTOS DO SOLO

A Banca examinadora abaixo aprova a Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências: Ambiente e Desenvolvimento, na área de concentração Espaço, Ambiente e Sociedade:

Dr. André Jasper – orientador

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Dr. Evandro Luiz Schoninger – coorientador

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

Dra. Marjorie Kauffmann

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Dr. Odorico Konrad

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Dr. Santino Seabra Júnior

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

Lajeado/RS, setembro de 2022

Aos meus pais, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao professor André Jasper, pela orientação e acolhimento, por ser gentil e humano, por transmitir nada além de boas energias. Você foi um achado!

Ao professor Evandro Luiz Schoninger, pela coorientação e parceria, pelas horas de laboratório, pelo bom humor e pela playlist de trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais Luiz e Cleusa, por todo amor e confiança, por despertar em mim o sonho que está se realizando; à minha afilhada Luiza, por me ligar todos os dias quando estive fora pela primeira vez; e ao meu irmão Ismael, por não medir esforços para me auxiliar nas coletas e pela paciência de fazer tudo certo.

Ao meu companheiro, Diego Mafra, por entender minha ausência e por me apoiar em todas as minhas decisões, por ser a parte que me faltava e também ser um inteiro; e a nossa Lilica, que foi uma pessoa melhor que eu, mesmo tendo sido um cão.

Aos meus sogros, Cleusa e Aristides, pelo acolhimento em sua casa e família.

À dona Terezinha, por me receber em sua casa e ter cuidado de mim como a uma filha.

Ao programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento da Univates, pelo ensino, estrutura e atendimento, pelas aulas de campo e pelo passeio a cavalo.

Aos professores que ministraram aula no programa, em especial ao professor Odorico Konrad, professora Neli Teresinha Galarce Machado, professor Eduardo Périco, e novamente ao professor André Jasper, que ensinaram mais do que o conteúdo proposto, e com uma didática e domínio de classe notáveis, me mostraram como ser uma professora melhor.

À UNEMAT, por disponibilizar o laboratório de solos para que parte das análises fosse desenvolvida; ao professor Getúlio de Freitas Seben Júnior, pelo auxílio com as análises físicas; ao laboratório Agrosolo, em especial à professora Natália Casadei Crespo e à laboratorista Isabela Lima, por permitir e auxiliar em parte das análises; e ao professor Benhur Oliveira pela ajuda com o mapa.

Aos colegas Maurício, Walber, Nilson e Allana, pela amizade, pelos chocolates quentes e pelo convívio em Lajeado.

Aos membros do LPEB (Laboratório de Paleobotânica e Evolução de Biomas), por me incluírem nas homenagens aos professores (Cátia, você é uma querida) e permitirem que eu estivesse presente, mesmo de longe.

À banda Sandinara, por proporcionar aporte financeiro e emocional.

A todos que, mesmo que não tenham sido mencionados especificamente, contribuíram para a minha formação. Muito obrigado!

RESUMO

O Cerrado, como outras savanas do mundo, é altamente inflamável durante a estação seca e sujeito a incêndios. Apesar da adaptação do bioma ao fogo, podem ocorrer alterações nas características do solo. Desta forma, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência do fogo nos atributos físicos, químicos e biológicos de três solos do Cerrado brasileiro. O solo foi coletado no município de Nova Mutum - MT, que apresenta o Cerrado como bioma predominante. As coletas foram realizadas em três áreas de Cerrado nativo após incêndios florestais, sendo que, para comparação, foram coletadas parcelas atingidas pelo fogo e parcelas preservadas da ação do fogo localizadas o mais próximo possível das parcelas incendiadas, assumindo que ambas eram similares em sua composição vegetal original, com intervalo de dois meses entre o incêndio e a coleta, em quatro camadas (0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20 cm) e três repetições. As amostras de solo úmido e resfriado foram submetidas à análise biológica (respiração basal) e as amostras de terra fina seca ao ar foram analisadas quanto aos atributos químicos: potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica do solo, carbono orgânico total, nitrogênio total, fósforo disponível, potássio trocável, cátions trocáveis (alumínio, cálcio, magnésio), acidez potencial do solo, hidrogênio extraível, boro, ferro, zinco, manganês, cobre e enxofre; e atributos físicos: análise granulométrica, argila dispersa em água, grau de floculação, índice de estabilidade de agregados, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica. Os resultados foram submetidos ao teste t a 5% de probabilidade para determinar diferenças entre as parcelas atingidas pelo fogo e as respectivas parcelas preservadas da ação do fogo. Nas parcelas atingidas pelo fogo, os valores de pH aumentaram, tornando o solo menos ácido, e as concentrações de alumínio e hidrogênio diminuíram na camada superficial do solo. Os teores de fósforo disponível, potássio trocável, cálcio trocável, zinco, cobre, manganês, matéria orgânica do solo e carbono orgânico total apresentaram aumento significativo nas parcelas atingidas pelo fogo, enquanto os teores de ferro apresentaram declínio em algumas camadas dos solos. As concentrações de magnésio trocável e de nitrogênio total não foram alteradas. O mesmo resultado foi observado para a respiração basal solo. Os teores de boro e de enxofre não apresentaram tendência clara, com aumento em algumas camadas e redução em outras. Os solos amostrados, pertencentes às classes texturais franco-arenosos e franco-argiloarenosos, apresentaram redução da dispersão da argila em água em algumas camadas nas parcelas atingidas pelo fogo, enquanto o grau de floculação apresentou resultado contrário, com aumento significativo nestas parcelas. O índice de estabilidade dos agregados variou significativamente apenas na camada superficial (0-2,5 cm) da área 2, resultando em menor porcentagem na parcela atingida pelo fogo, e o diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico não diferiram significativamente entre as parcelas atingidas e preservadas do fogo. Quanto às frações de carbono orgânico, observou-se aumento significativo do carbono orgânico particulado em algumas camadas, e, conseqüentemente, redução do carbono orgânico associado aos minerais nas parcelas afetadas pelo fogo. O efeito do fogo é variado, pois depende não só das suas características intrínsecas, mas da composição do bioma e solo da região; parece ser superficial, estando mais presente nas camadas superiores do solo; e tem aspecto temporário, com normalização dos atributos a médio e longo prazo.

Palavras-chave: Incêndios vegetacionais. Impacto no solo. Savana. Ecologia do fogo.

ABSTRACT

The Cerrado, like other savannas in the world, is highly flammable during the dry season and subject to fire. Despite the adaptation of the biome to fire, changes in soil characteristics may occur. Thus, the objective of this work was to evaluate the influence of fire on the physical, chemical and biological attributes of three soils in the Brazilian Cerrado. The soil was collected in the municipality of Nova Mutum - MT, which has the Cerrado as the predominant biome. The collections were carried out in three areas of native Cerrado after forest fires, and, for comparison, plots affected by fire and plots preserved from the action of fire located as close as possible to the burned plots were collected, assuming that both were similar in their original plant composition, with an interval of two months between burning and collection, in four layers (0-2.5; 2.5-5; 5-10; 10-20 cm) and three repetitions. The wet and cooled soil samples were submitted to biological analysis (basal respiration) and the air-dried fine soil samples were analyzed for chemical attributes: hydrogenic potential (pH), soil organic matter, total organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, exchangeable potassium, exchangeable cations (aluminium, calcium, magnesium), potential soil acidity, extractable hydrogen, boron, iron, zinc, manganese, copper and sulfur; and physical attributes: granulometric analysis, clay dispersed in water, flocculation degree, aggregate stability index, weighted average diameter, geometric average diameter and physical granulometric fractionation of organic matter. The results were submitted to the t test at 5% probability to determine differences between the plots affected by the fire and the respective plots preserved from the action of fire. In the plots affected by fire, pH values increased, making the soil less acidic, and aluminum and hydrogen concentrations decreased in the topsoil layer. The levels of available phosphorus, exchangeable potassium, exchangeable calcium, zinc, copper, manganese, soil organic matter and total organic carbon showed a significant increase in the plots affected by fire, while the iron content showed a decline in some soil layers. Exchangeable magnesium and total nitrogen concentrations did not change. The same result was observed for soil basal respiration. The boron and sulfur contents did not show a clear trend, with an increase in some layers and a decrease in others. The sampled soils, belonging to the loam-sandy and loam-sandy loam texture classes, showed a reduction in the dispersion of clay in water in some layers in the plots affected by the fire, while the degree of flocculation showed the opposite result, with a significant increase in these plots. The aggregate stability index varied significantly only in the surface layer (0-2.5 cm) of area 2, resulting in a lower percentage in the plot affected by fire, and the weighted average diameter and geometric average diameter did not differ significantly between the affected plots and preserved from fire. As for the organic carbon fractions, a significant increase in particulate organic carbon was observed in some layers, and, consequently, a reduction in organic carbon associated with minerals in the fire-affected plots. The effect of fire is varied, as it depends not only on its intrinsic characteristics, but also on the composition of the biome and soil of the region; appears to be superficial, being more present in the upper layers of the soil; and it has a temporary aspect, with the normalization of attributes in the medium and long term.

Keywords: Vegetation fires. Ground impact. Savanna. Fire ecology.

RESUMEN

El Cerrado, como otras sabanas del mundo, es altamente inflamable durante la estación seca y sujeto a incendios. A pesar de la adaptación del bioma al fuego, pueden ocurrir cambios en las características del suelo. Así, el objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia del fuego en los atributos físicos, químicos y biológicos de tres suelos del Cerrado brasileño. El suelo fue recolectado en el municipio de Nova Mutum - MT, que tiene el Cerrado como bioma predominante. Las colectas se realizaron en tres áreas del Cerrado nativo después de incendios forestales y, a modo de comparación, se recolectaron parcelas afectadas por el fuego y parcelas preservadas de la acción del fuego ubicadas lo más cerca posible de las parcelas quemadas, asumiendo que ambas eran similares en su composición planta original, con un intervalo de dos meses entre el fuego y la recolección, en cuatro capas (0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20 cm) y tres repeticiones. Las muestras de suelo húmedo y enfriado se sometieron a análisis biológico (respiración basal) y las muestras de suelo fino secado al aire se analizaron para determinar los atributos químicos: potencial hidrogenético (pH), materia orgánica del suelo, carbono orgánico total, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio, cationes intercambiables (aluminio, calcio, magnesio), acidez potencial del suelo, hidrógeno extraíble, boro, hierro, zinc, manganeso, cobre y azufre; y atributos físicos: análisis granulométrico, arcilla dispersa en agua, grado de floculación, índice de estabilidad de los agregados, diámetro medio ponderado, diámetro medio geométrico y fraccionamiento físico granulométrico de la materia orgánica. Los resultados fueron sometidos a la prueba t al 5% de probabilidad para determinar diferencias entre las parcelas afectadas por el fuego y las respectivas parcelas preservadas de la acción del fuego. En las parcelas afectadas por el fuego, los valores de pH aumentaron, haciendo que el suelo fuera menos ácido, y las concentraciones de aluminio e hidrógeno disminuyeron en la capa superficial del suelo. Los niveles de fósforo disponible, potasio intercambiable, calcio intercambiable, zinc, cobre, manganeso, materia orgánica del suelo y carbono orgánico total mostraron un aumento significativo en las parcelas afectadas por el fuego, mientras que el contenido de hierro mostró una disminución en algunas capas del suelo. Las concentraciones de magnesio intercambiable y nitrógeno total no cambiaron. El mismo resultado se observó para la respiración basal del suelo. Los contenidos de boro y azufre no mostraron una tendencia clara, con un aumento en algunas capas y una disminución en otras. Los suelos muestreados, pertenecientes a las clases texturales franco-arenosos y franco-limosos, mostraron una reducción en la dispersión de arcilla en agua en algunas capas de las parcelas afectadas por el fuego, mientras que el grado de floculación mostró el resultado contrario, con un incremento significativo en estas parcelas. El índice de estabilidad de los agregados varió significativamente solo en la capa superficial (0-2,5 cm) del área 2, resultando en menor porcentaje en la parcela afectada por el fuego, y el diámetro medio ponderado y el diámetro medio geométrico no difirieron significativamente entre las parcelas afectadas y preservado del fuego. En cuanto a las fracciones de carbono orgánico, se observó un aumento significativo del carbono orgánico particulado en algunas capas y, en consecuencia, una reducción del carbono orgánico asociado a los minerales en las parcelas afectadas por el fuego. El efecto del fuego es variado, pues depende no solo de sus características intrínsecas, sino también de la composición del bioma y suelo de la región; parece ser superficial, estando más presente en las capas superiores del suelo; y tiene un aspecto temporal, con la normalización de atributos en el mediano y largo plazo.

Palabras clave: Incendios de vegetación. Impacto en el suelo. Sabana. Ecología del fuego.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema adaptado das principais fitofisionomias do bioma Cerrado, segundo Ribeiro e Walter (1998).....	21
Figura 2 - Área 1 localizada à esquerda do aceiro aberto para combater o incêndio florestal (a); divisão visível entre parcela atingida e não atingida pelo fogo na área 1 (b).	29
Figura 3 - Área 2 (a) e área 3 (b) com a presença de carvão, parte baixa dos troncos queimada, galhos secos e/ou mortos, ausência ou pouca vegetação rasteira.	30
Figura 4 - Elevada presença de carvão e cinzas acima do solo na área 3.	30
Figura 5 – Mapa de localização das áreas de estudo localizadas no município de Nova Mutum, estado de Mato Grosso, Brasil.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Esquema das 25 fitofisionomias do Bioma Cerrado reconhecidas por Ribeiro e Walter (2008), enumeradas na última coluna à direita.	22
--	----

Quadro 2 - Distribuição aproximada das classes de solo encontradas no Cerrado segundo Reatto e Martins (2005), nomenclatura correspondente no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2018), e correspondência aproximada entre classes de solos em alto nível categórico do SiBCS, World Reference Base for Soil Resources (WRB) e Soil Taxonomy..... 23

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - pH em água (pH em H₂O), pH em cloreto de cálcio (pH em CaCl₂), alumínio trocável (Al) e hidrogênio extraível (H) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021. 41
- Tabela 2 - Fósforo disponível (P), potássio trocável (K), cálcio trocável (Ca) e magnésio trocável (Mg) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021..... 42
- Tabela 3 - Matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N), respiração basal do solo (RBS) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021..... 43
- Tabela 4 - Zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B) e enxofre (S) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021. 44

Tabela 5 - Frações de areia, silte e argila e classificação textural do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.	45
Tabela 6 - Argila dispersa em água (ADA) e grau de flocculação (GF) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.	46
Tabela 7 - Índice de estabilidade de agregados (IEA), diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.....	47
Tabela 8 - Frações de carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COM) resultantes do fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 O bioma Cerrado	19
2.2 O fogo no Cerrado.....	24
2.3 Influência do fogo no solo do Cerrado.....	25
2.4 Caracterização da área de estudo.....	28
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	31
3.1 Coleta do material	31
3.2 Respiração basal do solo (RBS)	32
3.3 pH do solo (pH)	33
3.4 Matéria orgânica do solo (MOS)	33
3.5 Carbono orgânico total (COT)	34
3.6 Nitrogênio total do solo (N).....	34
3.7 Fósforo disponível (P)	34
3.8 Potássio trocável (K)	34
3.9 Cátions trocáveis (Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis)	35
3.10 Acidez potencial do solo (H^+ + Al^{3+})	35
3.11 Hidrogênio extraível (H)	35
3.12 Boro (B)	35

3.13 Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Cobre (Cu).....	35
3.14 Enxofre (S).....	36
3.15 Análise granulométrica	36
3.16 Argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF)	36
3.17 Estabilidade de agregados.....	37
3.18 Fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica.....	38
3.19 Análise estatística	39
4 RESULTADOS	40
4.1 Influência da queima nos atributos químicos e biológicos do solo	40
4.2 Influência da queima nos atributos físicos do solo	44
5 DISCUSSÃO	50
5.1 Influência da queima nos atributos químicos e biológicos do solo	50
5.2 Influência da queima nos atributos físicos do solo	57
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7 CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS.....	66

IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD)

Área de concentração: Espaço, Ambiente e Sociedade

Linha de pesquisa: Ecologia

Estudo da influência da queima nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo do Cerrado: alterações na estrutura e na formação dos aglomerados do solo, mudança na concentração de nutrientes e na atividade biológica de solos atingidos pelo fogo.

APRESENTAÇÃO

De acordo com o Artigo 32 da Resolução 003/Consun/Univates, de 12 de janeiro de 2021, o trabalho de conclusão do PPGAD constitui-se em tese para discentes do Doutorado, podendo ser elaborado na forma usualmente empregada, seguindo o Manual da Univates para trabalhos acadêmicos, e devendo ser defendido oralmente para obtenção do título de Doutor em Ciências: Ambiente e Desenvolvimento. A tese é de responsabilidade individual do aluno e deve ser executada sob a orientação do professor orientador, conforme define o Regimento.

Nesse contexto, o presente documento, constitui-se da tese da estudante Gabriela Maria Franz, regularmente matriculada no programa de doutorado desde julho de 2018.

A queima no Cerrado pode transformar as características químicas, físicas e biológicas do solo, favorecendo o aumento das taxas de sedimentação, erosão e perda de solo. Entretanto, a ação do fogo durante e após sua passagem pode ser variada, dependendo das características do bioma, solo e relevo da região, intensidade e tempo de permanência do fogo. Queimadas intensas em áreas de grande potencial erosivo geram grande produção de sedimento e maiores alterações ao meio ambiente (SWANSON, 1981).

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da queima nos atributos de solos do Cerrado, relacionando a ação do fogo com a atividade biológica, com as alterações dos parâmetros físicos, químicos e na estrutura e formação dos agregados do solo.

Assim, apresenta-se a tese intitulada "**O fogo no Cerrado: influência da queima nos atributos do solo**", para avaliação da banca de defesa. O trabalho está inserido na área de concentração Espaço, Ambiente e Sociedade do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento - PPGAD, na linha de pesquisa Ecologia, com a temática Gênese e Evolução dos Biomas Terrestres.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países de maior diversidade biológica do mundo, pois abriga cerca de 10% das formas de vida do planeta, totalizando cerca de 1,5 milhão de espécies de um universo de aproximadamente 15 milhões (MYERS et al., 2000). Deste total, 33% está no Cerrado (SHEPERD, 2003), bioma considerado a maior formação de savana da América do Sul (MIRANDA et al., 2009) e segundo maior bioma brasileiro, com uma extensão de quase 2 milhões de quilômetros quadrados, ocupa 23,3% do território nacional (IBGE, 2019).

O Cerrado é constituído por um mosaico de formações vegetais que variam desde campos abertos até formações densas de florestas, que podem atingir 30 m de altura (EITEN, 1972; RIBEIRO; WALTER, 1998), caracterizado por um clima com duas estações bem definidas com base na pluviosidade: invernos secos e verões chuvosos. Na estação seca, as médias mensais de precipitação oscilam entre ~ 5–25 mm, as temperaturas médias máximas atingem entre ~ 24–26 °C e a umidade relativa do ar pode apresentar valores de 20 a 40% (IBGE, 2019).

A combinação desses fatores naturais com a pressão antrópica (BOWMAN et al., 2011) faz com que o Cerrado siga a tendência observada em outros sistemas de savana ao redor do mundo, apresentando altos índices de ocorrência de focos de incêndios vegetacionais ao longo da estação seca (MIRANDA et al., 2009), sendo que os aspectos do regime natural do fogo, como frequência, extensão e sazonalidade, podem ser modificados pela atividade humana (SILVA et al., 2021).

Essa relação estreita do Cerrado com o fogo fez com que a vegetação do bioma se adaptasse à queima, tornando a manutenção da biodiversidade dependente do fogo (SILVA; BATALHA, 2010). Entretanto, estudos anteriores em uma antiga pradaria nos Estados Unidos da América tratada com fogos prescritos (SCHARENBRUCH et al., 2012) e em uma floresta mediterrânea na Espanha com repetidos incêndios experimentais (CAMPO; ANDREU; GIMENO-GARCÍA, 2006) demonstram que as altas temperaturas frequentes resultantes da passagem do fogo sobre o solo podem alterar suas características físicas, químicas e biológicas, podendo favorecer a ocorrência de elevadas taxas de erosão e perda de solo (KNOEPP; DeBANO; NEARY, 2005; KUTIEL; INBAR, 1993; SWANSON, 1981).

As propriedades físicas, químicas e biológicas do solo estão interligadas, e uma pequena mudança afetar toda a dinâmica do solo (SANTOS; BAHIA; TEIXEIRA, 1992). Contudo, os efeitos do fogo sobre as propriedades do solo são variáveis, e estes parâmetros podem variar para mais, para menos ou continuar os mesmos (GONZALEZ-PEREZ et al., 2004), dependendo das características do bioma, solo e relevo da região, intensidade e tempo de permanência do fogo (KNICKER, 2007; SWANSON, 1981). Esta questão é de grande importância porque as propriedades do solo irão determinar os nutrientes disponíveis para o crescimento das plantas e, portanto, a restauração do ecossistema após a passagem do fogo (PEREIRA et al., 2011).

Estudos para identificar os efeitos do fogo devem analisar cada amostragem de forma detalhada, pois o efeito do fogo depende não só das suas características intrínsecas, mas das características do bioma e da tipologia regional de solo. Além disso, as Ciências Ambientais buscam identificar os problemas por uma análise precisa dentro da sua interdisciplinaridade para então encontrar uma solução da relação do homem com o meio ambiente (ROSA et al., 2022). Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do fogo nos atributos físicos, químicos e biológicos de três solos do Cerrado brasileiro.

O documento foi dividido em partes: a) o Referencial Teórico traz uma revisão teórica sobre o bioma Cerrado, a incidência do fogo na região e a influência das queimadas nos atributos dos solos, além da caracterização da área de estudo; b) os Procedimentos Metodológicos apresentam de forma detalhada como foi realizada a coleta do material, as metodologias utilizadas para avaliação de cada atributo do solo, bem como a análise estatística empregada para comparação das áreas atingidas e não atingidas pelo fogo; c) os Resultados apresentam os dados coletados a partir da aplicação dos métodos descritos, sendo eles divididos em duas seções para facilitar a compreensão: 1) influência da queima nos

atributos químicos e biológicos do solo; 2) influência da queima nos atributos físicos do solo; d) a Discussão traz a comparação dos dados de forma crítica com publicações prévias, a investigação e interpretação dos mesmos em busca de elucidar os resultados encontrados. Assim como os Resultados, a Discussão foi dividida em duas seções; e) as Considerações Finais e as Conclusões apresentam os desfechos construídos através dos itens anteriores, bem como a resolução dos objetivos propostos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O bioma Cerrado

O termo “Cerrado”, palavra de origem no idioma espanhol, significa fechado, vedado, denso e faz referência à formação vegetal de difícil travessia encontrada em algumas regiões do bioma (RIBEIRO; WALTER, 1998). As diferentes fitofisionomias do Cerrado formam um gradiente de paisagens ecologicamente relacionadas, como um mosaico (COUTINHO, 1990) com formações campestres, savânicas e florestais (RIBEIRO; WALTER, 1998).

O Cerrado é caracterizado como vegetação de savana na classificação internacional (RATTER; DARGIE, 1992), considerado a savana tropical mais diversificada do mundo (LENTHALL; BRIDGEWATER; FURLEY, 1999) devido à sua grande extensão, variedade de solos, climas e formações vegetais (EITEN, 1972; RIBEIRO; WALTER, 1998). Grande parte da biodiversidade deste bioma está restrita ao seu ambiente, pois o nível de endemismo no Cerrado pode chegar a 44% para as plantas vasculares, o que representa 1,5% de todas as plantas vasculares do mundo (MYERS et al., 2000; OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002; SANO et al., 2008).

No Brasil, o Cerrado é o segundo maior bioma em extensão, ficando atrás somente da Amazônia. Cobre ~ 2 milhões de quilômetros quadrados, representando 23,3% do território nacional. Está amplamente distribuído no Centro-Oeste brasileiro, mas também alcança todas as demais regiões do país, fazendo divisa com os outros biomas brasileiros, exceto o Pampa

(IBGE, 2019). Além disso, engloba diferentes bacias hidrográficas de ordem de grandeza principal, como é o caso das bacias dos rios Amazonas, Tocantins, Paraná, Paraguai, São Francisco e Parnaíba (SILVA et al., 2006).

O Cerrado está na zona Aw de Köppen-Geiger, denominada Equatorial – Tropical quente e semi úmida (KÖPPEN; GEIGER, 1936). A sazonalidade climática, marcada por dois períodos distintos ao longo do ano definidos pela temperatura e precipitação (quente e úmido, frio e seco), é típica de outras regiões semelhantes ao Cerrado - as savanas (CIANCIARUSO; BATALHA; SILVA, 2005; FRANCO, 2002). Estas regiões são marcadas pela frequente ocorrência de incêndios na vegetação e deficiência hídrica nas camadas superficiais do solo no período seco, que pode ter duração de três a sete meses (FRANCO, 2002; MIRANDA; BUSTAMANTE; MIRANDA, 2002; OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002).

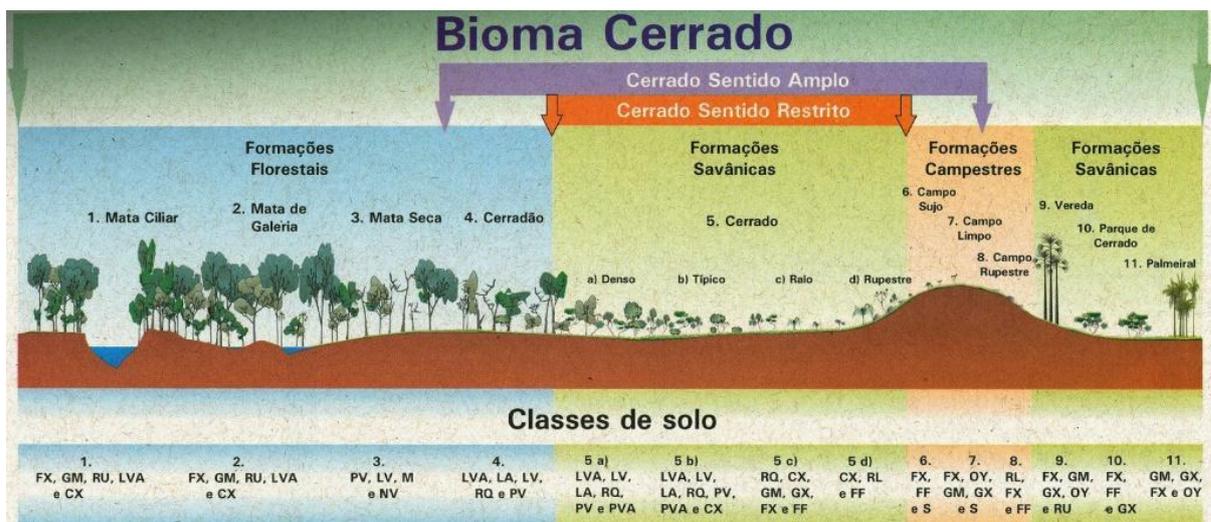
De acordo com Brasil e Alvarenga (1989), o relevo do Cerrado é composto por planaltos, depressões e planícies. Os planaltos apresentam altitude entre 600 e 1.600 metros acima do nível do mar, são superfícies planas, denominadas chapadas, intercaladas com áreas onduladas. Nas depressões estão os solos mais jovens e férteis do bioma, formados por processos erosivos, que criaram as linhas de drenagem e as bacias hidrográficas. As maiores planícies, chamadas terraços aluviais, estão nas depressões, são formadas por sedimentos muito antigos, transportados pelas enchentes (BRASIL; ALVARENGA, 1989).

As formações vegetais do bioma Cerrado são influenciadas por variações na hidrografia, topografia, profundidade do lençol freático, fertilidade e profundidade dos solos de cada local (DANTAS et al., 2015; FURLEY, 1999). A influência desses fatores sobre a formação da vegetação é abordada por diferentes autores, como Eiten (1972), que relaciona as formas fisionômicas do Cerrado a três aspectos ligados ao solo: a fertilidade, a profundidade e o grau de saturação hídrica das camadas superficiais. Entretanto, Ribeiro e Walter (1998) afirmam que a vegetação pode estar associada ao tipo de solo em algumas áreas, mas essa correlação não pode ser generalizada, pois nem sempre as características do solo estão associadas à fitofisionomia do local.

Quanto à terminologia adotada para os tipos de vegetação do bioma Cerrado, Walter (2006) revisou e compilou os conceitos aplicados desde o século XVIII do que se entende por fitofisionomia, e detectou 774 termos e expressões, o que considerou desnecessário e redundante, e concluiu que essa complexidade é nociva às estratégias de conservação da natureza. Uma nomenclatura simplificada criada especificamente para a vegetação do Cerrado, consolidada por Ribeiro e Walter (2008), tem sido utilizada nas publicações

científicas, e, portanto, será adotada neste projeto. Esta classificação é prática, usa de termos populares, e não exige muitos conhecimentos teóricos prévios. Além disso, é uma classificação que pode ser compatibilizada com a adotada pelo IBGE, quando da realização de estudos em escalas de semidetalhe e detalhe (IBGE, 2012).

Figura 1 - Esquema adaptado das principais fitofisionomias do bioma Cerrado, segundo Ribeiro e Walter (1998).



Legenda: Essas fitofisionomias estão apresentadas em um gradiente daquelas de maior biomassa (formações florestais à esquerda) para as de menor biomassa (formações savânicas e campestres à direita), na posição topográfica em que geralmente ocorrem. Esse esquema não implica que cada uma dessas fitofisionomias ocorra na natureza uma ao lado da outra, nessa topossequência. O cerrado sentido amplo é indicado conforme Coutinho (1978). As classes de solos estão de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) e estão destacadas quanto à sua ocorrência em cada fitofisionomia: Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Latossolo Amarelo (LA), Neossolo Quartzarênico (RQ), Argissolo Vermelho (PV), Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), Nitossolo Vermelho (NV), Cambissolo Háplico (CX), Chernossolo (M), Gleissolo Háplico (GX), Gleissolo Melânico (GM), Plintossolo Háplico (FX) Plintossolo Pétrico (FF), Neossolo Flúvico (RU), Neossolo Litólico (RL), Organossolo Mésico ou Háplico (OY) e Planossolo (S).

Fonte: Ribeiro e Walter (2008, p.165).

Ribeiro e Walter (2008) elaboraram um sistema formal dividindo o bioma por critérios com base na fitofisionomia (forma), definida pela estrutura, pelas formas de crescimento dominantes e por possíveis mudanças estacionais, e consideraram ainda os aspectos do ambiente, como os fatores edáficos e a composição florística. Desta forma, foram descritos onze tipos fitofisionômicos para o bioma Cerrado, enquadrados em formações florestais,

formações savânicas e formações campestres, conforme apresentado na Figura 1 (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Considerando os subtipos, no sistema de Ribeiro e Walter (2008) são reconhecidas 25 fitofisionomias. Os subtipos são separados com base nos critérios anteriormente mencionados, e ainda no ambiente e na composição florística, nesta ordem. As 25 fitofisionomias estão elencadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Esquema das 25 fitofisionomias do Bioma Cerrado reconhecidas por Ribeiro e Walter (2008), enumeradas na última coluna à direita.

Bioma Cerrado	Cerrado Sentido Amplo	Formações Florestais	Mata Ciliar	1. Mata Ciliar
			Mata de Galeria	2. Não Imundável 3. Imundável
			Mata Seca	4. Sempre-Verde 5. Semidecídua 6. Decídua
			Cerradão	7. Mesotrófico 8. Distrófico
		Formações Campestres	Campo Sujo	9. Seco 10. Úmido 11. Com Murundus
			Campo Limpo	12. Seco 13. Úmido 14. Com Murundus
	Campo Rupestre		15. Campo Rupestre	
	Cerrado Sentido Restrito	Formações Savânicas	Cerrado Sentido Restrito	16. Cerrado Denso 17. Cerrado Típico 18. Cerrado Ralo 19. Cerrado Rupestre
			Vereda	20. Vereda
			Parque de Cerrado	21. Parque de Cerrado
			Palmeiral	22. Babaçual 23. Buritizal 24. Guerobal 25. Macubal

Fonte: adaptado de Ribeiro e Walter (2008).

Em relação aos solos do Cerrado, Reatto e Martins (2005) estimam a ocorrência aproximada das classes de solo na extensão da superfície total do bioma Cerrado, com base no Mapa de Solos do Brasil na escala 1:5.000.000 de Reatto, Correia e Spera (1998). Três classes de solo merecem destaque pela grande superfície que ocupam: os Latossolos (46% da superfície total do Cerrado); os Neossolos Quartzarênicos (cerca de 15% da superfície do bioma) e os Argilosolos (15% da superfície do Cerrado) (REATTO; MARTINS, 2005).

Quadro 2 - Distribuição aproximada das classes de solo encontradas no Cerrado segundo Reatto e Martins (2005), nomenclatura correspondente no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2018), e correspondência aproximada entre classes de solos em alto nível categórico do SiBCS, World Reference Base for Soil Resources (WRB) e Soil Taxonomy.

Ocupação no Cerrado (%)	SiBCS (EMBRAPA, 2018)	WRB (IUSS Working Group WRB, 2015) ¹	Soil Taxonomy (ESTADOS UNIDOS, 2014) ²
22,1	Latossolo Vermelho (LV)	Ferralsols	Oxisols
21,6	Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)		
2,0	Latossolo Amarelo (LA)		
15,0	Neossolos Quartzarênicos (RQ)	Arenosols	Quartzipsamments
6,9	Argissolo Vermelho (PV)	Acrisols; Lixisols; Alisols	Ultisols; alguns Oxisols
8,2	Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)		
1,7	Nitossolos (N)	Nitisols; Lixisols ou Alisols	Ultisols, Oxisols, Alfisols
3,1	Cambissolos (C)	Cambisols	Inceptisols
0,1	Chernossolos (M)	Phaeozems; Kastanozems; Chernozems	Molisols
3,0	Plintossolos (F)	Plinthosols	Subgrupos Plinthic (classes de Oxisols, Ultisols, Alfisols, Entisols, Inceptisols)
2,3	Gleissolos (G)	Gleysols; Stagnosols	Entisols
7,3	Neossolo Litólico (RL)	Leptosols	Lithic...Orthents; Lithic...Psamments
-	Neossolos Flúvicos (RY)	Fluvisols	Fluvents
-	Organossolos Háplico (OX)	Histosols	Histosols
-	Planossolo (S)	Planosols	Alfisols

Legenda: – (sem dados).

O Quadro 2 apresenta as classes de solo descritas por Reatto e Martins (2005) e a porcentagem de ocorrência de cada uma no Cerrado. A nomenclatura das classes de solo está de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, adotado por Ribeiro e Walter (2008) na Figura 1, atualizadas conforme a publicação mais recente da Embrapa (EMBRAPA, 2018). O Quadro 2 ainda faz a correspondência aproximada entre classes de solos em alto nível categórico do SiBCS (EMBRAPA, 2018) com o WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015), sistema universal reconhecido pela International Union of Soil Science

(IUSS) e FAO e com a Soil Taxonomy (ESTADOS UNIDOS, 2014), classificação oficial atualmente vigente nos EUA.

2.2 O fogo no Cerrado

Dentre os objetivos das Ciências Ambientais, Miller (2008) destaca aprender como a vida na Terra evoluiu, como se dá a interação do homem com o meio e o enfrentamento dos problemas ambientais em busca da sustentabilidade. O fogo é um fenômeno natural que sempre existiu na superfície do planeta, sendo um dos responsáveis pela predominância de vários ecossistemas terrestres (SOARES, 1995). Este fenômeno histórico e frequente fez com que a vegetação moldasse suas características morfológicas para adaptar-se ao fogo, como casca espessa e investimento em biomassa de raízes (BOWMAN et al., 2009).

A ignição do fogo no Cerrado pode ter origem natural, associada à ocorrência de raios no início da estação chuvosa, quando tempestades se formam e a vegetação ainda está seca, extinguindo-se rapidamente com as chuvas (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000). Além de acontecer de forma natural, as queimadas podem ser provocadas direta ou indiretamente pelo homem, sendo comum seu uso em muitas regiões tropicais e subtropicais para o manejo de produções agrícolas (BEHLING; PILLAR, 2007; CARDOSO et al., 2003; HERINGER et al., 2002; RHEINHEIMER et al., 2003).

Após a ignição, a propagação do fogo se dá pelo calor da chama que gera novas chamas enquanto houver gases, e depois, quando as temperaturas são muito altas, inicia-se a combustão sem chama (FERNANDES; BOTELHO; LOUREIRO, 2002). A propagação do fogo também tem ligação com o ambiente e com o tipo de combustível a ser queimado, como o teor de umidade das plantas (SOUZA; VALE, 2019), o arranjo espacial da vegetação, o relevo e os fatores meteorológicos da região (FERNANDES; REGO, 2010).

O regime de fogo tem sido alterado na história recente devido a mudanças climáticas, como o aumento da temperatura e a intensificação da seca (ENRIGHT et al., 2015; PAUSAS; KEELEY, 2009). Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2020), foram detectados mais de 197 mil focos de queimadas no Brasil em 2019, o que representa um aumento de ~ 48% em relação ao ano anterior. Neste mesmo ano, o Cerrado concentrou 73,5% do total de área queimada em relação aos outros biomas brasileiros (INPE, 2020).

O Cerrado apresenta alta heterogeneidade vegetal, com formações campestres,

savânicas e florestais e alta sazonalidade climática (RIBEIRO; WALTER, 2008), e por isso é afetado pelo fogo de maneiras diferentes. A alteração do regime natural do fogo pode modificar a fitofisionomia do bioma (HOFFMAN; MOREIRA, 2002) de tal maneira que não podemos prever se todas as espécies conseguirão se adaptar aos atuais regimes de fogo (PAUSAS; KEELEY, 2009).

O aumento da frequência do fogo, principalmente durante a estação seca, ameaça a recuperação das formações campestres (MEDEIROS; MIRANDA, 2005), savânicas (SATO; MIRANDA; MAIA, 2010) e florestais (BRANDO et al., 2014). Essas queimadas consecutivas, em intervalos próximos há dois anos, têm sido associadas à redução da vegetação arbórea (SATO; MIRANDA; MAIA, 2010) e da diversidade de espécies (ABREU et al., 2017; DURIGAN; HERMÓGENES DE FREITAS; RODRIGUES, 1994; RIBEIRO et al., 2012).

Por outro lado, a exclusão do fogo ameaça a vegetação savânica que depende do fogo para manter sua estrutura, biodiversidade e funcionamento (ABREU et al., 2017; DURIGAN; RATTER, 2015), pode levar ao adensamento da vegetação arbórea e a exclusão de espécies não arbóreas (PINHEIRO; DURIGAN, 2009; PINHEIRO; KOLB; ROSSATTO, 2016). Além disso, o acúmulo de material combustível gerado pela exclusão do fogo pode resultar em queimadas descontroladas e de maior severidade (FIDELIS; PIVELLO, 2011; PIVELLO, 2011).

2.3 Influência do fogo no solo do Cerrado

A “queima controlada” – prescrita e conduzida, com intensidade controlada é diferente dos “incêndios”, que se propagam livremente, sem controle das chamas, intensidade ou temperatura atingida (ARAÚJO; RIBEIRO, 2005). Os autores citados afirmam que a temperatura no solo durante e após a passagem do fogo depende das condições topográficas, climáticas e da disponibilidade de material combustível vegetal. A intensidade do fogo também é influenciada pelo horário em que se inicia a queima, o grau de umidade vegetal e do solo (COSTA; RODRIGUES, 2015).

A presença de altas temperaturas frequentes agem sobre o solo, transformando suas características químicas (DICK et al., 2008), físicas e biológicas (SPERA et al., 2000). Essas alterações no solo pós-incêndio favorecem o aumento das taxas de erosão hídrica e eólica (KUTIEL; INBAR, 1993; SWANSON, 1981) graças à redução da estabilidade dos agregados

do solo (BENAVIDES-SOLORIO; MACDONALD, 2001) e o aumento do escoamento superficial (COSTA; RODRIGUES, 2014).

Os efeitos do fogo sobre as propriedades físicas do solo estão ligados à redução da infiltração da água no solo (MEIRELLES, 1990; OLIVEIRA; SILVA, 1994), compactação, aumento da microporosidade e densidade do solo (SPERA et al., 2000). Isso ocorre devido à repelência do solo à água gerada por elementos hidromórficos voláteis do material combustível (OLIVEIRA; SILVA, 1994), à crosta de cinzas que entope os poros da camada superficial do solo (MALLIK; GIMINGHAM; RAHMAN, 1984) e ao impacto da chuva no solo desnudo (SPERA et al., 2000).

Entretanto, os efeitos do fogo sobre as propriedades físicas do solo não podem ser generalizados, pois estes dependem das características do incêndio e das condições do solo antes e após a ocorrência do fogo (NEARY et al., 1999). A exemplo disso, Spera et al. (2000) constaram aumento da taxa de infiltração de água no solo após um mês da queima em Latossolo e Meirelles (1990) não encontrou diferenças desta taxa entre áreas queimadas e não queimadas em campo sujo de Cerrado.

O aumento da temperatura durante e após a passagem do fogo também altera características químicas do solo, como os teores de matéria orgânica, as reações de troca catiônica, os nutrientes e o pH do solo (KNOEPP; DeBANO; NEARY, 2005). O impacto do fogo sobre a matéria orgânica do solo depende da intensidade do fogo, do tipo de vegetação e da textura do solo (KNICKER, 2007). Incêndios sucessivos e de alta intensidade empobrecem o solo, degradam quase toda a matéria orgânica e reduzem gradualmente o estoque de nutrientes do solo sem permitir a sua recomposição (SOARES, 1995).

Imediatamente após a passagem do fogo ocorre um aumento da disponibilidade de nutrientes complexados para as plantas, como o N, P, K, Na, Ca, Mg, (CEDDIA et al., 1999; GATTO et al., 2003; RHEINHEIMER et al., 2003; SOARES, 1995) em consequência do acúmulo de cinzas na superfície do solo (KNICKER, 2007). As cinzas também podem ter efeito sobre a acidez do solo, pois ocorre diminuição do Al trocável nos solos do Cerrado após a queima (COUTINHO, 1990), elevação do pH, e aumento concentração de bases (ULERY; GRAHAM, 1993).

Entretanto, o efeito das cinzas sobre o pH do solo é temporário (COUTINHO, 1990), e o aumento de nutrientes notado imediatamente após a queima tende a desaparecer devido à lixiviação destes pelas chuvas, resultando em concentrações de nutrientes menores do que às

observadas em solos que não sofreram ação do fogo (KNICKER, 2007). DeBano (1989) afirma ainda que grandes quantidades de N, S e P podem ser volatilizadas durante um incêndio, dependendo das condições ambientais e das características do solo e do fogo.

Quando as propriedades químicas do solo são alteradas em função do fogo, ocorre, simultaneamente, uma variação nas características biológicas do solo, como a redução ou alteração da população microbiana, pois estas estão interligadas (SANTOS et al., 1992). O efeito do fogo sobre os microrganismos do solo depende da umidade do solo antes do incêndio, da duração e intensidade do fogo, que resultam em efeitos imediatos, em curto, médio e longo prazo (RODRIGUES, 1999).

De imediato, os efeitos da queima sobre a fauna do solo são mais intensos nos níveis populacionais (ARAÚJO; RIBEIRO, 2005) com a redução do número de táxons (WIKARS; SCHIMMEL, 2001). Isso ocorre porque as altas temperaturas das chamas causam a morte dos organismos (BARRAT et al., 2006) e reduzem a quantidade de material orgânico que é fonte de energia dos microrganismos (ASSAD, 1996).

Em curto prazo após as queimadas é observado o restabelecimento das populações, sugerindo uma tendência à recuperação da abundância e riqueza de espécies da meso e macrofauna do solo (BARRAT et al., 2006; MALMSTRÖM et al., 2009). Além de temporários, os efeitos do fogo sobre a biota do solo restringem-se aos primeiros centímetros do solo (2,5 cm superiores) (ARAÚJO; RIBEIRO, 2005). Em médio e longo prazo, o impacto do fogo sobre a microbiota edáfica pode demorar até 10 anos para desaparecer, dependendo da severidade da queimada (MATAIX-SOLERA et al., 2011).

Em relação à erosão, trata-se de um processo natural do ecossistema terrestre, no entanto, os incêndios promovem uma degradação mais intensa do solo (CERTINI, 2005; COELHO et al., 2004). A intensidade do processo erosivo pós-fogo varia de acordo com o regime, intensidade, tempo de permanência do fogo, sensibilidade geomorfológica (SWANSON, 1981), características e distribuição da precipitação (CAMPO; ANDREU; GIMENO-GARCÍA, 2006). Queimadas intensas em áreas que apresentam grande potencial erosivo vão produzir maiores quantidades de sedimento e causar alterações mais graves ao meio ambiente geomorfológica (SWANSON, 1981).

O aumento da suscetibilidade à erosão do solo após a queima se deve à retirada da cobertura vegetal, que deixa o solo exposto à ação das gotas da chuva, do escoamento superficial e da intemperização física (CAMMERAAT; IMESON, 1999; CERDÀ; IMESON;

CALVO, 1995). Outro fator ligado à erosão é o acúmulo de cinzas na superfície do solo após a combustão que desenvolve repelência da água pelo solo (MALLIK; GIMINGHAM; RAHMAN, 1984). O solo hidrofóbico tem menor capacidade de infiltração da água da chuva, e, portanto, é vulnerável ao escoamento superficial (OLIVEIRA; SILVA, 1994).

A erodibilidade também está associada à alteração do complexo coloidal do solo, à mudança na estrutura e à redução da estabilidade de agregados em solos que foram submetidos às queimadas (BENAVIDES-SOLORIO; MACDONALD, 2001; CHEN; SHRESTHA, 2012). À medida que ocorre a ruptura dos agregados, o escoamento superficial pela água da chuva aumenta, e isto produzirá mais erosão (GUERRA, 1990).

A determinação dos parâmetros de natureza física, química e biológica do solo tem sido realizada por meio de análises laboratoriais (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992; GRISI, 1978; KEMPER; CHEPIL, 1965; TEIXEIRA et al., 2017; YEOMANS; BREMNER, 1988). Dados importantes para estudos de conservação do solo, como as condições estruturais do solo, a resistência do solo à degradação, e, conseqüentemente, a resistência do solo à ação dos agentes erosivos, podem ser obtidos por meio dessas análises (DONTSOVA et al., 2009; FREITAS, 2011). Thomaz (2017) ressalta ainda a importância da análise para detectar diferenças entre solos de sistemas com e sem a utilização de fogo.

2.4 Caracterização da área de estudo

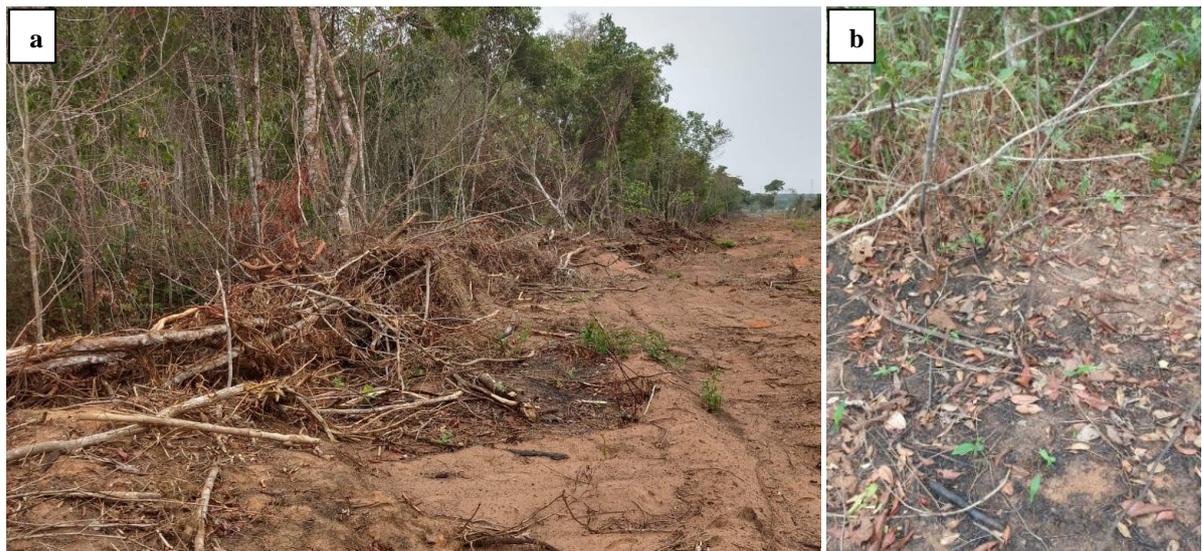
O município de Nova Mutum ocupa um território de 9.536,8 km² (IBGE, 2022) na porção central do estado de Mato Grosso, Brasil. As amostras de solo estudadas foram coletadas em três áreas (denominadas área 1, área 2 e área 3) na zona rural deste município, enquadradas no bioma Cerrado segundo o mapa de biomas do IBGE (2004; 2019).

O bioma predominante no município de Nova Mutum é o Cerrado e este representa uma área de 354,823 km² no Mato Grosso. O bioma caracteriza-se pela vegetação de Savana, com mais de 6,5 mil plantas catalogadas, o clima é quente, semi úmido e apresenta duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco (IBGE, 2019). O município apresenta ainda uma pequena parcela do bioma Amazônia, que ocupa um território de 480,215 km² no Mato Grosso. Este bioma é caracterizado por diferentes aspectos fisionômicos, com presença de palmeiras e cipós, clima úmido, sem período de estiagem, com chuvas bem distribuídas durante o ano e temperaturas elevadas (IBGE, 2019).

O clima do bioma Cerrado é do tipo Aw, denominado Equatorial - Tropical quente e semi úmido, segundo classificação de Köppen-Geiger (KÖPPEN; GEIGER, 1936), com duas estações bem definidas: inverno seco entre maio e setembro, e verão chuvoso de outubro a abril (RIBEIRO; WALTER, 2008). Em Nova Mutum, as temperaturas médias anuais se mantêm em torno de 24 °C, com máxima média de 33 °C e mínima média de 21 °C. A precipitação média anual é de 2.200 mm, variando de 1.850 mm a 2.400 mm e a umidade relativa do ar chega a 80% no período chuvoso, podendo cair para 35% na estiagem (NOVA MUTUM, 2018).

Nas áreas de estudo ocorreram incêndios florestais cerca de dois meses antes das coletas de solo, e em cada uma das três áreas de estudo foi selecionada uma parcela atingida pelo fogo e uma parcela preservada da ação do fogo, localizada o mais próximo possível da respectiva área incendiada, e considerando que ambas tinham características de solo e vegetação semelhantes. A ação do fogo, mesmo após 2 meses dos incêndios florestais, pôde ser percebida pela presença de carvão acima do solo, sinais de queima na parte mais baixa dos troncos das árvores e arbustos, presença de galhos secos e/ou mortos, ausência ou pouca vegetação rasteira nas áreas de coleta (FIGURAS 2, 3 e 4).

Figura 2 - Área 1 localizada à esquerda do aceiro aberto para combater o incêndio florestal (a); divisão visível entre parcela atingida e não atingida pelo fogo na área 1 (b).



Fonte: da autora (2020).

Figura 3 - Área 2 (a) e área 3 (b) com a presença de carvão, parte baixa dos troncos queimada, galhos secos e/ou mortos, ausência ou pouca vegetação rasteira.



Fonte: da autora (2020).

Figura 4 - Elevada presença de carvão e cinzas acima do solo na área 3.



Fonte: da autora (2020).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Coleta do material

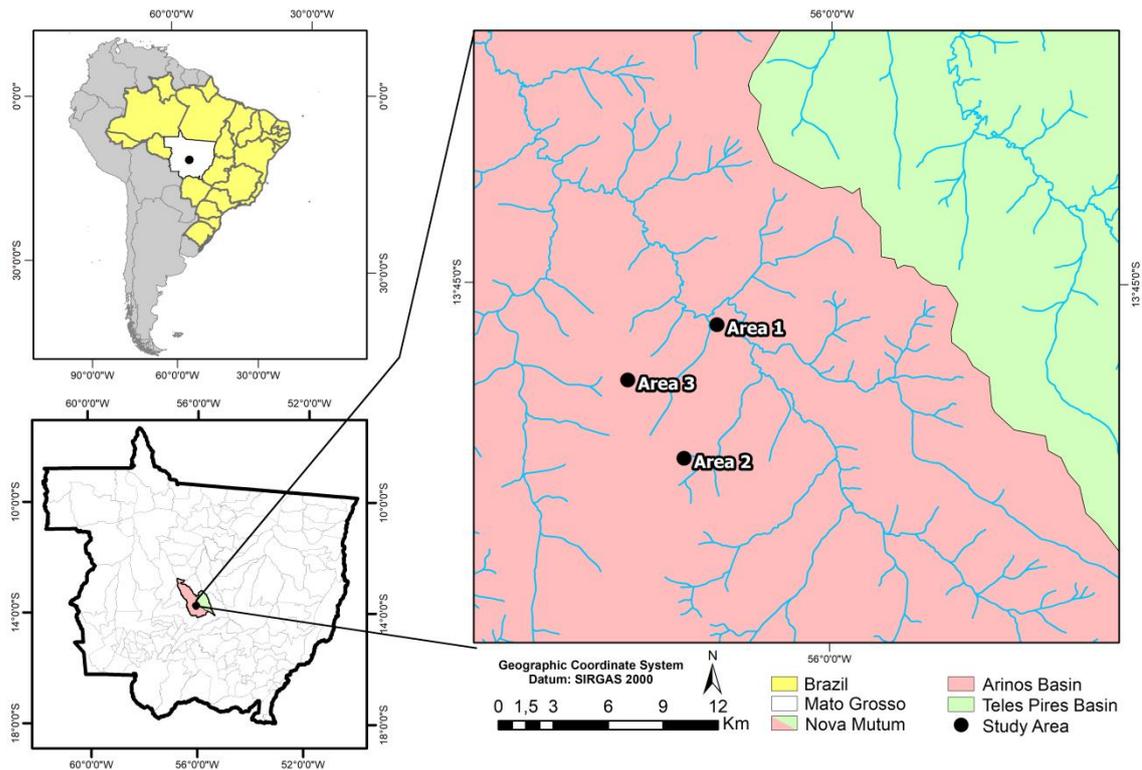
Para o estudo observacional, o solo foi coletado em outubro e novembro de 2020 em três áreas de Cerrado nativo denominadas área 1, área 2 e área 3 (FIGURA 5) após incêndios florestais que ocorreram em agosto e setembro do mesmo ano, tendo um intervalo de dois meses entre o incêndio e a coleta de cada área. Em cada uma das três áreas, o solo foi coletado na parcela atingida pelo fogo (AF), e na parcela preservada da ação do fogo (PF) localizada o mais próximo possível da parcela incendiada, assumindo que ambas eram similares em sua composição vegetal original.

As amostras foram coletadas com auxílio de uma pá de corte, sendo cinco amostras simples, misturadas imediatamente no campo para compor uma amostra composta, em três repetições e quatro camadas ou profundidades (0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20 cm). As amostras compostas foram colocadas em sacos plásticos, lacrados e identificados, e posteriormente transportadas em um isopor com gelo.

Para a análise biológica (respiração basal do solo) as amostras de solo úmido homogeneizado foram peneiradas em malha de 2 mm e armazenadas em sacos de polietileno sob refrigeração a 4 °C até as análises. A umidade do solo foi determinada em estufa a 105 °C, e a determinação da capacidade máxima de retenção de água (capacidade de campo) foi realizada através da saturação do solo por capilaridade, seguida de drenagem. Para as demais

análises, o solo foi seco ao ar, peneirado (2 mm) e armazenado em sacos de polietileno em temperatura ambiente.

Figura 5 – Mapa de localização das áreas de estudo localizadas no município de Nova Mutum, estado de Mato Grosso, Brasil.



Fonte: da autora (2022).

3.2 Respiração basal do solo (RBS)

A respiração edáfica consiste na produção de CO_2 ou consumo de O_2 através dos processos metabólicos de organismos vivos do solo (PARKIN; DORAN; FRANCO-VIZCAINO, 1996). Este é um dos parâmetros mais utilizados para quantificar a atividade microbiana, e pode ser um bioindicador de mudanças na dinâmica do carbono do solo em áreas que sofreram alterações (FEIGL; STEUDLER; CERRI, 1995).

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada conforme a metodologia de Jenkinson e Powlson (1976), descrita por Silva, Azevedo e De-Polli (2007).

As amostras foram analisadas em duplicata, sendo cada subamostras de 50 g

aconditionada em um frasco de 100 mL, acompanhada de outro frasco com 10 mL de NaOH 1 M, ambos em um frasco de 1 L fechado, criando um ambiente de captação para que não houvesse entrada de CO₂ do ar externo ou fuga do CO₂ internamente produzido. Também foram incubados dois frascos de 1 L contendo apenas o frasco com NaOH para controle (branco). A data e a hora do início da incubação foram anotadas, e as amostras foram mantidas em incubadora BOD isenta de luminosidade e com temperatura de 25 a 28 °C durante um período de 9 dias.

Após a incubação, foram adicionados 2 mL de BaCl₂ 10% (m/v) aos frascos com NaOH para a completa precipitação do CO₂, e a titulação foi realizada sob agitação magnética com solução 0,5 M de ácido clorídrico (HCl), utilizando 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v) como indicador.

A respiração basal do solo foi calculada pela equação:

$$\text{RBS (mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}) = ((V_b - V_a) \cdot M \cdot 6 \cdot 1000) / (P_s \cdot T)$$

onde: RBS = carbono oriundo da respiração basal do solo; V_b (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle (branco); V_a (mL) = volume gasto na titulação da amostra; M = molaridade do HCl; P_s (g) = massa de solo seco e T = tempo de incubação da amostra em horas.

3.3 pH do solo (pH)

O pH do solo foi baseado no princípio da medição do potencial hidrogeniônico por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido, na proporção 1:2,5 seguindo a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). O pH foi determinado em água destilada e em solução de CaCl₂ (0,01 mol L⁻¹).

3.4 Matéria orgânica do solo (MOS)

Essa determinação foi realizada pelo princípio da oxidação da matéria orgânica do solo por meio de uma solução sulfocrômica, seguida da leitura espectrofotométrica em colorímetro (TEDESCO et al., 1995).

3.5 Carbono orgânico total (COT)

O carbono orgânico (COT) foi determinado dividindo a concentração da matéria orgânica do solo (MOS) pelo fator de van Bemmelen (1,724), com base no pressuposto de que a matéria orgânica contém 58% de carbono orgânico (EMBRAPA, 1997).

3.6 Nitrogênio total do solo (N)

O nitrogênio total do solo foi determinado de acordo com o método descrito por Kjeldahl (1883) com pequenas modificações (TEDESCO et al., 1995) para aumentar a sensibilidade e exatidão do método. Neste método, o nitrogênio da amostra foi reduzido a NH_4^+ pela digestão com H_2SO_4 concentrado associado a sais (Na_2SO_4), catalisadores (CuSO_4) e aumento de temperatura com bloco digestor (350-375 °C). Posteriormente, a amostra foi alcalinizada (NaOH 10M) e destilada, onde o vapor de água favoreceu a volatilização da amônia, que condensa em solução de ácido bórico para então ser titulada com H_2SO_4 .

3.7 Fósforo disponível (P)

O fósforo disponível corresponde à fração do teor total de fósforo no solo que é utilizada pelas plantas e a determinação foi realizada seguindo a metodologia de Teixeira et al. (2017), que baseia-se no princípio da dissolução de minerais contendo fósforo e/ou deslocamento de fósforo retido nas superfícies sólidas do solo para a solução extratora Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L^{-1} e H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1}) por ânions capazes de competir com o fósforo pelos sítios de retenção. Forma-se o complexo fósforo-molibdico de cor azul obtido após redução do molibdato com ácido ascórbico e a determinação foi realizada por espectrofotometria.

3.8 Potássio trocável (K)

A determinação seguiu a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017), baseada na extração com solução Mehlich-1 e posterior determinação por espectrofotometria de chama.

3.9 Cátions trocáveis (Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis)

Os cátions trocáveis adsorvidos com auxílio de solução extratora de KCl 1 mol L⁻¹ foram analisados por métodos volumétricos (titulação para determinação do alumínio), ou absorção atômica (leitura em espectrofotômetro de absorção atômica para determinação do cálcio e magnésio), de acordo Teixeira et al. (2017).

3.10 Acidez potencial do solo (H^+ + Al^{3+})

A extração da acidez potencial do solo foi realizada com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinação volumétrica (titulação) com solução de NaOH em presença de fenolftaleína como indicador (TEIXEIRA et al., 2017).

3.11 Hidrogênio extraível (H)

A partir da diferença entre a acidez potencial e o alumínio trocável, determinou-se o teor de hidrogênio no solo (TEIXEIRA et al., 2017).

3.12 Boro (B)

A mensuração quantidade de boro no solo foi realizada pela extração com água quente, com adição de ácido clorídrico 1/1 e determinação em espectrofotômetro após evaporação do extrato em banho-maria com Curcumina (TEIXEIRA et al., 2017).

3.13 Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Cobre (Cu)

A determinação dos micronutrientes foi realizada em solução extratora de Mehlich-1 com posterior leitura por espectrometria de absorção atômica com chama (TEIXEIRA et al., 2017).

3.14 Enxofre (S)

A determinação do enxofre nas amostras de solo foi realizada pela extração em fosfato de cálcio monobásico $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$, conforme indicado por Van Raij et al. (2001).

3.15 Análise granulométrica

A análise granulométrica quantifica a distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo através da ruptura dos agregados do solo e a individualização dessas partículas por meio de uma combinação de energia mecânica e química, com a formação de uma suspensão estabilizada, e a quantificação após a separação das frações (TEIXEIRA et al., 2017).

A determinação das frações de areia, silte e argila foi realizada seguindo o manual de métodos de análises físicas (TEIXEIRA et al., 2017), através do método da pipeta, sendo solo (terra fina seca ao ar - TFSA) combinado à uma solução dispersante de hidróxido de sódio 1 mol L^{-1} em agitador (tipo Wagner 30 rpm por 16 horas), seguido da separação das frações por peneiramento e sedimentação. As frações foram pesadas após secagem em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$.

Posteriormente, as frações foram agrupadas em classes texturais, de acordo com o Triângulo Textural proposto pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 1951), adaptado por Lemos e Santos (1996).

3.16 Argila dispersa em água (ADA) e grau de flocculação (GF)

O grau de flocculação (GF) pode ser calculado por meio da argila dispersa em água (ADA), que é utilizada em estudos relacionados à agregação, à erosão e como indicador de qualidade de solo (TEIXEIRA et al., 2017).

Primeiramente, as amostras de solo (terra fina seca ao ar - TFSA) foram submetidas às análises físicas de granulometria, e de argila dispersa em água, sendo posteriormente calculado o grau de flocculação (GF). A argila dispersa em água (ADA) foi determinada a partir da TFSA, utilizando-se agitação mecânica lenta (tipo Wagner 50 rpm por 16 horas) e água destilada. Tanto a análise granulométrica quanto a argila dispersa em água (ADA) foram realizadas pelo método da pipeta, conforme Teixeira et al. (2017).

O grau de flocculação (GF) da argila foi calculado pela metodologia descrita no manual de métodos de análises físicas (TEIXEIRA et al., 2017).

3.17 Estabilidade de agregados

De acordo com Kemper e Chepil (1965) o tamanho dos agregados e o estado de agregação do solo podem ser determinados usando como parâmetros o Diâmetro Médio Ponderado (DMP), o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e o Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA). Quanto maior a porcentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores, maior é o DMP; o DMG é uma estimativa da classe de agregados de maior ocorrência; e o IEA é uma medida da agregação total do solo, sem considerar a distribuição por classes de agregados (quanto mais agregados < 0,25 mm, menor o IEA) (KEMPER; CHEPIL, 1965).

Para a avaliação da estabilidade de agregados foi utilizado o método proposto por Kemper e Chepil (1965), sendo que as variáveis morfológicas foram avaliadas em via úmida, com posterior cálculo para determinar o índice de estabilidade de agregados (IEA), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG).

Inicialmente, foi realizada a separação dos agregados com tamanho entre 6,35 e 4,00 mm e entre 2,00 e 1,00 mm, as amostras foram secas ao ar e posteriormente a umidade foi determinada em estufa a 105 °C.

Os agregados de 6,35 a 4,00 mm foram colocados sobre um conjunto de peneiras de malhas de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 mm de diâmetro, imersas em água (sem pré-umedecimento) e agitadas por um oscilador mecânico de Yoder (YODER, 1936) de frequência 29 ciclos min⁻¹ e 4 cm de amplitude vertical, durante 15 min para determinação do diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG).

Os agregados de 2,00 a 1,00 mm foram colocados sobre peneiras de malhas de 0,25 mm de diâmetro, imersas em água e agitadas sob mesma condição por 3 min, para determinação do índice de estabilidade de agregados em água (IEA).

As análises foram realizadas em duplicata e as porções retidas em cada peneira foram transferidas para cápsulas de alumínio com o auxílio de jatos de água, e secas em estufa a 105 °C por um período de 24 h para posterior pesagem. A partir dos valores dessas massas, calculou-se o DMP, o DMG e o IEA (KEMPER; CHEPIL, 1965). O conteúdo de areia

presente nas classes de agregados não foi descartado, pois essas partículas participam do processo de agregação do solo (CASTRO FILHO; MUZILLI; PADANOSCHI, 1998).

3.18 Fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS) é todo o carbono orgânico presente no solo, seja na forma de resíduos (frescos ou em decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral) ou na porção viva (raízes e fauna) (ROSCOE, 2002). Existem diferentes esquemas de fracionamento da MOS, entretanto, os métodos físicos são considerados menos destrutivos e mais relacionados com a função e estrutura da MOS *in situ* do que os métodos químicos (FELLER et al., 2001).

O método de fracionamento físico granulométrico de Cambardella e Elliott (1992) tem como princípio a separação da matéria orgânica por peneiramento. Assim, pode ser realizada a separação dos compartimentos da MOS em carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COM) e carbono orgânico total (COT) (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). Desta forma, pode-se utilizar a distribuição das frações de MOS na avaliação de modificações no solo como indicador da mudança de manejo do solo ou da qualidade ambiental (BAYER et al., 2004).

O fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica do solo (MOS) foi realizado de acordo com o método descrito por Cambardella e Elliott (1992), que consistiu na adição de 10 g das amostras secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm (terra fina seca ao ar - TFSA) em frascos de 100 mL, contendo 30 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}), e agitação da suspensão por 16 horas em agitador horizontal ($150 \text{ oscilações min}^{-1}$). A suspensão foi lavada com jato de água em peneira ($53 \mu\text{m}$), sendo a fração retida na peneira (fração areia $> 53 \mu\text{m}$) correspondente ao carbono orgânico particulado (COP), e a fração que passou pela peneira (fração silte/argila $< 53 \mu\text{m}$) correspondente ao carbono orgânico associado aos minerais (COM). As frações granulométricas foram secas em estufa de ventilação forçada de ar à temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$, até peso constante, para obtenção do percentual de cada fração em relação à massa total da amostra (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992).

3.19 Análise estatística

Os resultados das análises do estudo observacional foram submetidos ao teste t a 5% de probabilidade para determinar as diferenças estatísticas entre às parcelas atingidas pelo fogo (AF) e as respectivas parcelas preservadas da ação do fogo (PF) de cada uma das três áreas amostradas, comparando os resultados por profundidades, usando a ferramenta estatística SAS (SAS on demand, 2022).

4 RESULTADOS

Os resultados das análises físicas, químicas e biológicas do solo das áreas amostradas estão apresentados a seguir, com a comparação por meio do teste t dentro de cada uma das três áreas para cada parcela atingida pelo fogo (AF) e a respectiva parcela preservada da ação do fogo (PF) por profundidade.

4.1 Influência da queima nos atributos químicos e biológicos do solo

Os valores de pH aumentaram, tornando o solo menos ácido, e as concentrações de alumínio trocável (Al) e hidrogênio extraível (H) diminuíram na camada mais superficial do solo (de 0 a 2,5 cm) nas parcelas atingidas pelo fogo nas três áreas estudadas, embora apenas na área 1 essa mudança tenha sido estatisticamente significativa. O aumento significativo do pH e a redução do alumínio trocável (Al) e hidrogênio extraível (H) também foram observados nas camadas mais profundas do solo da área 3 na parcela atingida pelo fogo (TABELA 1).

Na área 1 foi observada redução significativa do pH em água na camada de 10 a 20 cm e aumento da concentração de hidrogênio extraível (H) de 2,5 a 10 cm nas parcelas atingidas pelo fogo (TABELA 1). Na área 2 não ocorreram alterações significativas para as características pH, alumínio trocável (Al) e hidrogênio extraível (H) em todas as camadas

analisadas, com exceção da concentração de hidrogênio extraível (H), que aumentou significativamente nas parcelas afetadas pelo fogo (TABELA 1).

Tabela 1 - pH em água (pH em H₂O), pH em cloreto de cálcio (pH em CaCl₂), alumínio trocável (Al) e hidrogênio extraível (H) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.

Camada amostrada (cm)	pH em H ₂ O		pH em CaCl ₂		Al (cmol _c dm ⁻³)		H (cmol _c dm ⁻³)	
	PF	AF	PF	AF	PF	AF	PF	AF
Área 1								
0,0 – 2,5	4,35 b	4,85 a	3,76 b	4,43 a	1,07 a	0,33 b	7,73 a	6,38 b
2,5 – 5,0	4,67 a	4,44 a	3,79 a	3,84 a	1,22 a	1,21 a	4,53 b	7,31 a
5,0 – 10,0	4,62 a	4,38 a	3,84 a	3,82 a	1,11 a	1,20 a	3,41 b	4,57 a
10,0 – 20,0	4,69 a	4,45 b	3,88 a	3,88 a	0,91 a	0,98 a	2,71 a	2,83 a
Área 2								
0,0 – 2,5	4,67 a	5,69 a	3,83 a	4,86 a	1,12 a	0,57 a	3,94 a	5,20 a
2,5 – 5,0	4,68 a	4,64 a	3,82 a	3,84 a	1,09 a	1,06 a	2,62 a	4,31 a
5,0 – 10,0	4,73 a	4,42 a	3,84 a	3,80 a	1,06 a	0,95 a	2,10 b	3,49 a
10,0 – 20,0	4,69 a	4,59 a	3,88 a	3,84 a	0,94 a	0,95 a	1,68 a	2,99 a
Área 3								
0,0 – 2,5	4,72 a	5,33 a	3,98 a	4,76 a	0,80 a	0,47 a	4,83 a	3,07 a
2,5 – 5,0	4,40 b	5,25 a	3,78 b	4,66 a	1,19 a	0,19 b	4,69 a	2,44 b
5,0 – 10,0	4,18 b	5,12 a	3,79 b	4,56 a	1,33 a	0,20 b	3,68 a	2,57 b
10,0 – 20,0	4,16 b	4,94 a	3,85 b	4,29 a	1,13 a	0,46 b	2,89 a	3,52 a

Legenda: Dentro de cada camada, médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

O fósforo disponível (P) apresentou aumento significativo na parcela atingida pelo fogo apenas na camada mais superficial do solo (de 0 a 2,5 cm) na área 1, e na camada de 2,5 a 20 cm na área 2. Na área 3 o elemento não apresentou mudança significativa (TABELA 2).

A concentração de potássio trocável (K) teve aumento significativo nas camadas de solo de camada 2,5 a 20 cm na área 1 e 5 a 20 cm na área 3 na parcela atingida pelo fogo. Nas demais camadas das áreas 1 e 3 e em toda área 2 esse aumento não foi significativo a 5% de probabilidade pelo teste t (TABELA 2).

Os teores de cálcio trocável (Ca) tiveram aumento significativo nas parcelas atingidas pelo fogo até 5 cm de profundidade na área 1 e de 2,5 a 20 cm na área 3, sendo que esta

diferença não foi observada na área 2 em todas as camadas amostradas (TABELA 2). Por fim, a concentração de magnésio trocável (Mg) no solo não foi alterada nas parcelas afetadas pelo fogo em nenhuma das camadas das três áreas (TABELA 2).

Tabela 2 - Fósforo disponível (P), potássio trocável (K), cálcio trocável (Ca) e magnésio trocável (Mg) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.

Camada amostrada (cm)	P (mg dm ⁻³)		K (mg dm ⁻³)		Ca (cmol _c dm ⁻³)		Mg (cmol _c dm ⁻³)	
	PF	AF	PF	AF	PF	AF	PF	AF
Área 1								
0,0 – 2,5	2,77 b	6,93 a	44,77 a	65,44 a	0,72 b	1,81 a	0,13 a	0,25 a
2,5 – 5,0	1,69 a	2,67 a	18,40 b	34,53 a	0,02 b	0,25 a	0,00 a	0,00 a
5,0 – 10,0	1,55 a	1,74 a	13,45 b	22,59 a	0,00 a	0,04 a	0,00 a	0,00 a
10,0 – 20,0	1,47 a	1,40 a	10,09 b	16,02 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Área 2								
0,0 – 2,5	3,68 a	19,59 a	31,13 a	83,72 a	0,09 a	1,42 a	0,00 a	0,33 a
2,5 – 5,0	2,42 b	4,00 a	26,97 a	44,34 a	0,00 a	0,37 a	0,00 a	0,00 a
5,0 – 10,0	1,95 b	2,54 a	21,41 a	31,97 a	0,00 a	0,16 a	0,00 a	0,00 a
10,0 – 20,0	1,71 b	2,18 a	18,22 a	27,03 a	0,00 a	0,11 a	0,00 a	0,00 a
Área 3								
0,0 – 2,5	3,02 a	6,72 a	41,90 a	66,94 a	1,14 a	1,91 a	0,26 a	0,64 a
2,5 – 5,0	2,48 a	2,30 a	43,26 a	44,81 a	0,58 b	1,64 a	0,00 a	0,15 a
5,0 – 10,0	2,41 a	2,02 a	19,16 b	35,39 a	0,16 b	1,57 a	0,00 a	0,05 a
10,0 – 20,0	2,10 a	2,05 a	16,37 b	30,52 a	0,04 b	1,22 a	0,00 a	0,00 a

Legenda: Dentro de cada camada, médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

As concentrações de matéria orgânica do solo (MOS) e carbono orgânico total (COT) não diferiram estatisticamente entre as parcelas atingidas e não atingidas pelo fogo nas três áreas, com exceção da camada de 2,5 a 5 cm na área 1, e da camada de 10 a 20 cm na área 3, onde foi observado aumento significativo das duas variáveis nas parcelas atingidas pelo fogo (TABELA 3).

A concentração de nitrogênio total (N) não mudou significativamente em nenhuma das camadas das três áreas analisadas quando comparadas as parcelas atingidas pelo fogo e preservadas da ação do fogo. A mesma tendência foi observada para respiração basal do solo (RBS) com os teores de CO₂ resultado da respiração de organismos vivos do solo (TABELA 3).

Tabela 3 - Matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N), respiração basal do solo (RBS) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.

Camada amostrada (cm)	MOS (g dm ⁻³)		COT (g dm ⁻³)		N (% m/m)		RBS (mg de C-CO ₂ por kg de solo por hora)	
	PF	AF	PF	AF	PF	AF	PF	AF
Área 1								
0,0 – 2,5	35,29 a	36,61 a	20,47 a	21,23 a	0,15 a	0,16 a	0,57 a	0,51 a
2,5 – 5,0	21,32 b	32,56 a	12,36 b	18,88 a	0,12 a	0,14 a	0,50 a	0,34 a
5,0 – 10,0	16,16 a	20,59 a	9,37 a	11,94 a	0,06 a	0,09 a	0,28 a	0,17 a
10,0 – 20,0	13,61 a	14,20 a	7,90 a	8,24 a	0,05 a	0,06 a	0,15 a	0,24 a
Área 2								
0,0 – 2,5	28,35 a	32,56 a	16,44 a	18,89 a	0,08 a	0,09 a	0,04 a	0,04 a
2,5 – 5,0	20,12 a	21,81 a	11,67 a	12,65 a	0,06 a	0,07 a	0,10 a	0,00 a
5,0 – 10,0	16,11 a	18,55 a	9,34 a	10,76 a	0,05 a	0,05 a	0,00 a	0,02 a
10,0 – 20,0	14,31 a	15,17 a	8,30 a	8,80 a	0,05 a	0,05 a	0,00 a	0,04 a
Área 3								
0,0 – 2,5	38,70 a	33,41 a	22,45 a	19,38 a	0,10 a	0,10 a	0,49 a	0,45 a
2,5 – 5,0	31,37 a	21,96 a	18,20 a	12,74 a	0,09 a	0,06 a	0,34 a	0,20 a
5,0 – 10,0	24,16 a	24,46 a	14,01 a	14,19 a	0,08 a	0,07 a	0,32 a	0,30 a
10,0 – 20,0	19,77 b	25,12 a	11,46 b	14,57 a	0,06 a	0,07 a	0,21 a	0,39 a

Legenda: Dentro de cada camada, médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Nas parcelas atingidas pelo fogo, houve aumento significativo dos teores de zinco (Zn) nas áreas 1 e 3 nas camadas de 5 a 10 cm do solo. Nas demais camadas e na área 2 não foi observada mudança no teor deste elemento (TABELA 4).

A concentração de cobre (Cu) aumentou significativamente nas parcelas atingidas pelo fogo apenas na área 1 na camada de 0 a 5 cm. Nas demais camadas da área 1 e em todas as camadas amostradas nas áreas 2 e 3 não houve mudança significativa do teor de cobre (Cu) (TABELA 4). Tendência contrária foi observada para o ferro (Fe), com declínio da concentração deste elemento nas camadas de 2,5 a 5 cm na área 1, de 10 a 20 cm na área 3 e em todas as camadas amostradas na área 2 nas parcelas afetadas pelo fogo (TABELA 4).

O manganês (Mn) não apresentou mudanças, com exceção da camada de 5 a 10 cm na área 3, onde houve aumento significativo deste microelemento no solo da parcela afetada pelo fogo (TABELA 4). O teor de boro (B) no solo não apresentou uma tendência clara, sendo que na área 1 houve aumento significativo na camada de 0 a 2,5 cm de solo, e na área 2 houve

redução significativa de 5 a 10 cm nas parcelas atingidas pelo fogo. Nas demais camadas das áreas 1 e 2 e em todas as camadas amostradas na área 3 não houve mudança significativa da concentração deste elemento (TABELA 4).

O enxofre (S) também não apresentou tendência clara, pois na área 2 houve aumento significativo da concentração do elemento nas camadas de 0 a 5 cm da parcela atingida pelo fogo, porém, na camada de 5 a 10 cm não houve diferença estatística e de 10 a 20 cm a concentração de enxofre (S) diminuiu significativamente (TABELA 4). Ainda, nas áreas 1 e 3 não foi observada diferença significativa para o enxofre (S) em nenhuma das camadas amostradas.

Tabela 4 - Zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B) e enxofre (S) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.

Camada amostrada (cm)	Zn (mg dm ⁻³)		Cu (mg dm ⁻³)		Fe (mg dm ⁻³)		Mn (mg dm ⁻³)		B (mg dm ⁻³)		S (mg dm ⁻³)	
	PF	AF	PF	AF	PF	AF	PF	AF	PF	AF	PF	AF
Área 1												
0,0 – 2,5	3,93 a	4,92 a	0,09 b	0,17 a	110,06 a	121,67 a	19,75 a	34,23 a	0,49 b	0,69 a	5,03 a	4,82 a
2,5 – 5,0	1,77 a	2,94 a	0,09 b	0,13 a	140,01 a	106,43 b	7,00 a	25,74 a	0,61 a	0,63 a	5,27 a	4,88 a
5,0 – 10,0	0,67 b	1,18 a	0,05 a	0,10 a	177,88 a	161,48 a	0,27 a	8,39 a	0,43 a	0,59 a	4,66 a	4,52 a
10,0 – 20,0	0,56 a	0,63 a	0,07 b	0,15 a	185,54 a	180,83 a	0,10 a	0,71 a	0,50 a	0,52 a	5,05 a	4,23 a
Área 2												
0,0 – 2,5	1,55 a	4,32 a	0,24 a	0,27 a	156,56 a	123,54 b	6,03 a	18,71 a	0,78 a	0,60 a	3,46 b	5,79 a
2,5 – 5,0	0,99 a	1,71 a	0,28 a	0,57 a	168,93 a	124,78 b	0,16 a	1,69 a	0,88 a	0,45 a	4,18 b	5,80 a
5,0 – 10,0	0,97 a	1,28 a	0,37 a	0,51 a	170,22 a	138,58 b	0,00 a	0,40 a	0,70 a	0,40 b	4,02 a	5,05 a
10,0 – 20,0	0,64 a	0,88 a	0,26 a	0,29 a	177,50 a	148,33 b	0,00 a	0,00 a	0,69 a	0,82 a	4,30 a	3,78 b
Área 3												
0,0 – 2,5	6,13 a	5,45 a	0,35 a	0,25 a	170,93 a	149,63 a	23,73 a	24,07 a	0,95 a	1,01 a	4,66 a	4,72 a
2,5 – 5,0	3,50 a	5,38 a	0,37 a	0,46 a	177,45 a	169,98 a	5,63 a	12,34 a	0,71 a	0,93 a	5,38 a	5,01 a
5,0 – 10,0	1,84 b	5,46 a	0,34 a	0,47 a	190,64 a	168,82 a	0,43 b	12,85 a	0,76 a	0,90 a	4,68 a	4,92 a
10,0 – 20,0	1,33 a	4,63 a	0,31 a	0,44 a	194,26 a	161,68 b	0,00 a	9,10 a	0,70 a	0,66 a	4,85 a	5,16 a

Legenda: Dentro de cada camada, médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

4.2 Influência da queima nos atributos físicos do solo

Os resultados da análise granulométrica estão descritos na Tabela 5. As frações de areia variaram de 724 a 795 g kg⁻¹ nas áreas 1 e 2, enquanto na área 3 os valores ficaram entre 507 e 668 g kg⁻¹. A maior fração de silte (77 g kg⁻¹) foi observada na área 3. A argila apresentou fração variando de 186 a 249 g kg⁻¹ nas áreas 1 e 2, porém os maiores teores de

argila foram registrados na área 3 (variando de 309 a 455 g kg⁻¹) (TABELA 5).

Tabela 5 - Frações de areia, silte e argila e classificação textural do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.

Camada amostrada (cm)	Areia (g kg ⁻¹)		Silte (g kg ⁻¹)		Argila (g kg ⁻¹)		Classificação textural*	
	PF	AF	PF	AF	PF	AF	PF	AF
Área 1								
0,0 – 2,5	767 a	768 a	20 a	11 a	213 a	221 a	FAA	FAA
2,5 – 5,0	778 a	758 a	11 a	17 a	211 a	225 a	FAA	FAA
5,0 – 10,0	795 a	766 b	15 a	15 a	190 b	219 a	FA	FAA
10,0 – 20,0	783 a	760 a	13 a	23 a	204 a	217 a	FA	FAA
Área 2								
0,0 – 2,5	724 a	763 a	48 a	50 a	228 a	186 a	FAA	FA
2,5 – 5,0	733 b	756 a	17 b	48 a	249 a	196 b	FAA	FA
5,0 – 10,0	730 b	778 a	22 a	15 a	248 a	207 b	FAA	FA
10,0 – 20,0	769 a	761 a	15 a	36 a	216 a	203 a	FAA	FA
Área 3								
0,0 – 2,5	668 a	588 a	23 a	77 a	309 a	335 a	FAA	FAA
2,5 – 5,0	507 a	535 a	38 a	41 a	455 a	424 a	FAA	FAA
5,0 – 10,0	554 a	508 b	55 a	47 a	390 a	445 a	FAA	FAA
10,0 – 20,0	591 a	617 a	66 a	34 a	343 a	349 a	FAA	FAA

Legenda: Dentro de cada camada, médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade. FA: Franco-arenosa; FAA: Franco-argiloarenosa. *Classificação textural de acordo com o Triângulo Textural proposto pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 1951), adaptado por Lemos e Santos (1996).

Na área 1, a fração de areia apresentou redução significativa na camada de 5 a 10 cm na parcela atingida pelo fogo, e aumento da fração argila na mesma camada. A área 2 apresentou aumento significativo da fração areia e redução significativa da fração da argila na camada de 2,5 a 10 cm na parcela afetada pelo fogo, e ainda, a fração silte aumentou significativamente na camada de 2,5 a 5 cm na mesma parcela. Na área 3 observou-se mudança significativa apenas na fração de areia, sendo que na parcela afetada pelo fogo o teor foi menor na camada de 5 a 10 cm do solo (TABELA 5).

Quanto à classificação textural, observa-se que os solos amostrados se enquadram nas classes franco-arenosos e franco-argiloarenosos, sendo os menores teores de argila encontrados nos solos franco-arenosos. Na área 1, apenas o solo amostrado nas camadas de 5-

10 e 10-20 cm apresentou classe textural diferente quando comparadas as parcelas afetadas e não afetadas pelo fogo, sendo classificado como franco-arenosos nas parcelas conservadas da ação do fogo e franco-argiloarenosos nas parcelas afetadas pelo fogo. As camadas de 0-2,5 e 2,5-5 cm foram classificadas como franco-argiloarenosos em ambas as parcelas, afetadas e não afetadas pelo fogo (TABELA 5).

Na área 2, o solo coletado em todas as profundidades na parcela preservada da ação do fogo foi classificado como franco-argiloarenoso, e como franco-arenoso nas parcelas atingidas pelo fogo. Na área 3, todas as amostras foram classificadas como franco-argiloarenosos (TABELA 5).

Tabela 6 - Argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.

Camada amostrada (cm)	ADA (g kg ⁻¹)		GF (%)	
	PF	AF	PF	AF
Área 1				
0,0 – 2,5	32,61 a	36,03 a	84,66 a	83,60 a
2,5 – 5,0	33,25 a	36,29 a	84,24 a	83,86 a
5,0 – 10,0	49,84 a	41,23 b	73,75 b	81,18 a
10,0 – 20,0	47,69 a	43,38 a	76,39 a	79,98 a
Área 2				
0,0 – 2,5	73,02 a	54,40 b	67,45 a	69,45 a
2,5 – 5,0	86,19 a	56,30 b	65,43 a	71,32 a
5,0 – 10,0	89,49 a	56,17 b	63,88 b	72,84 a
10,0 – 20,0	90,88 a	60,99 b	57,96 a	68,75 a
Área 3				
0,0 – 2,5	226,16 a	180,06 a	26,76 a	45,43 a
2,5 – 5,0	235,28 a	230,60 a	48,45 a	45,35 a
5,0 – 10,0	251,88 a	239,59 a	35,59 b	46,18 a
10,0 – 20,0	220,34 a	276,96 a	35,80 a	20,28 a

Legenda: Dentro de cada camada, médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Para a análise da argila dispersa em água (ADA), observou-se redução significativa dos teores nas parcelas afetadas pelo fogo na camada de 5 a 10 cm da área 1 e em todas as camadas amostradas na área 2. Na área 3, não houve diferença significativa na dispersão da argila (ADA) comparando as parcelas afetadas e não afetadas pelo fogo (TABELA 6).

O grau de floculação (GF) apresentou tendência contrária, sendo registrado aumento significativo nas parcelas atingidas pelo fogo na camada de 5 a 10 cm nas três áreas estudadas. As demais camadas amostradas nas áreas de estudo não foram alteradas significativamente (TABELA 6).

Tabela 7 - Índice de estabilidade de agregados (IEA), diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.

Camada amostrada (cm)	IEA (%)		DMP (mm)		DMG (mm)	
	PF	AF	PF	AF	PF	AF
Área 1						
0,0 – 2,5	81,48 a	80,16 a	4,31 a	3,28 a	4,84 a	4,94 a
2,5 – 5,0	93,60 a	91,04 a	6,35 a	6,48 a	4,78 a	4,86 a
5,0 – 10,0	95,89 a	94,06 a	6,35 a	6,33 a	4,74 a	4,76 a
10,0 – 20,0	95,50 a	94,75 a	6,27 a	6,23 a	4,66 a	4,63 a
Área 2						
0,0 – 2,5	96,62 a	89,93 b	6,44 a	5,67 a	4,79 a	4,67 a
2,5 – 5,0	97,71 a	95,72 a	6,40 a	5,88 a	4,74 a	4,74 a
5,0 – 10,0	98,03 a	96,79 a	6,28 a	6,29 a	4,58 a	4,66 a
10,0 – 20,0	96,16 a	92,40 a	6,26 a	6,15 a	4,56 a	4,80 a
Área 3						
0,0 – 2,5	88,30 a	89,67 a	4,74 a	5,15 a	3,61 a	3,85 a
2,5 – 5,0	94,95 a	87,42 a	5,99 a	4,42 a	4,48 a	3,35 a
5,0 – 10,0	95,07 a	90,99 a	6,01 a	5,40 a	4,42 a	4,04 a
10,0 – 20,0	96,01 a	93,52 a	6,07 a	5,62 a	4,22 a	4,18 a

Legenda: Dentro de cada camada, médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

O índice de estabilidade dos agregados (IEA) variou significativamente apenas na camada superficial (0 a 2,5 cm) da área 2, resultando em menor porcentagem na parcela atingida pelo fogo. Nas demais amostras, não houve diferença significativa para o índice de estabilidade dos agregados (IEA) (TABELA 7).

O diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) não apresentaram diferença significativa comparando as parcelas afetadas e não afetadas pelo fogo em todas as camadas das três áreas estudadas. Os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) variaram, respectivamente, de 3,28-6,48 mm e

4,63-4,94 mm na área 1, de 5,67-6,44 mm e 4,56-4,80 mm na área 2 e de 4,74-6,07 mm e 3,35-4,48 mm na área 3 (TABELA 7).

Tabela 8 - Frações de carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COM) resultantes do fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica do solo de três áreas do Cerrado em parcela preservada da ação do fogo (PF – preservada da ação do fogo) e na respectiva parcela próxima atingida pelo fogo (AF – atingida pelo fogo) dois meses após incêndio florestal. Nova Mutum-MT, Brasil, 2021.

Camada amostrada (cm)	COP (%)		COM (%)	
	PF	AF	PF	AF
Área 1				
0,0 – 2,5	92,25 a	92,36 a	7,74 a	7,63 a
2,5 – 5,0	90,62 a	90,45 a	9,37 a	9,54 a
5,0 – 10,0	90,41 a	89,72 a	9,58 a	10,27 a
10,0 – 20,0	90,03 a	89,16 a	9,96 a	10,83 a
Área 2				
0,0 – 2,5	85,35 b	89,23 a	14,64 a	10,76 b
2,5 – 5,0	84,39 b	88,43 a	15,60 a	11,57 b
5,0 – 10,0	83,54 b	87,31 a	16,46 a	12,68 b
10,0 – 20,0	83,55 b	87,26 a	16,44 a	12,73 b
Área 3				
0,0 – 2,5	60,49 a	65,33 a	39,51 a	34,66 a
2,5 – 5,0	58,00 a	61,27 a	41,99 a	38,72 a
5,0 – 10,0	60,99 a	54,50 b	39,00 b	45,49 a
10,0 – 20,0	62,68 a	51,99 a	37,31 a	48,00 a

Legenda: Dentro de cada camada, médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

As frações de carbono orgânico resultantes do fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica estão descritas na Tabela 8, onde se observa aumento significativo da porcentagem de carbono orgânico particulado (COP) em todas as camadas amostradas na área 2 e na camada de 5 a 10 cm na área 3 nas parcelas afetadas pelo fogo. Conseqüentemente, nestas mesmas amostras, foi detectada redução significativa da porcentagem de carbono orgânico associado aos minerais (COM). Na área 1 e nas demais camadas amostradas na área 3 não houve diferença significativa das frações de carbono orgânico quando comparadas as parcelas atingidas e não atingidas pelo fogo (TABELA 8).

É importante ressaltar que as áreas 1 e 2 apresentaram valores próximos de carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COM), variando de 83,54 a 92,36% e de 7,63 a 16,46%, respectivamente, enquanto a área 3 se diferenciou com

uma porcentagem mais baixa de carbono orgânico particulado (COP) (entre 52,99 e 65,33%) e mais alta de carbono orgânico associado aos minerais (COM) (entre 34,66 e 48,00%) quando comparada com as áreas 1 e 2 (TABELA 8).

5 DISCUSSÃO

5.1 Influência da queima nos atributos químicos e biológicos do solo

De forma geral, os solos do subtipo Cerrado Sentido Restrito apresentam altos teores de Al, carência de nutrientes, principalmente P e N e baixos valores de pH, sendo considerados forte ou moderadamente ácidos (RIBEIRO; WALTER, 2008; SOUSA; LOBATO, 2004). Estas características foram observadas nas áreas do presente estudo que, mesmo após o aumento dos valores de pH e redução das concentrações de Al e H (acidez potencial do solo), ainda teriam a mesma classificação quanto à acidez.

O fogo pode tornar o solo menos ácido e reduzir os teores de Al e ácidos orgânicos temporariamente, além de aumentar a concentração de elementos como Ca, Mg e K na superfície do solo devido à oxidação da matéria orgânica gerada pela passagem do fogo e à mistura do solo com as cinzas que são compostas por carbonatos, óxidos e cátions básicos (K e Na) (AKABURAK et al., 2018; CERTINI, 2005; HUSEYIN, 2006; PEREIRA et al., 2011; PEREIRA et al., 2014; ÚBEDA; OUTEIRO, 2009; GRANGED et al., 2011b).

Fonseca et al. (2017) constataram valores de pH significativamente maiores 2 e 6 meses após a queima do que aqueles observados antes da passagem do fogo em todas as profundidades analisadas, mesmo nas camadas mais profundas (até 20 cm). Entretanto, após 36 meses o mesmo autor constatou valores de pH similares aos valores pré-queima, demonstrando que os impactos causados pelo fogo no solo não estavam mais presentes. De

acordo com Mataix-Solera e Guerrero (2007), o tempo de recuperação do pH inicial do solo é variável e depende do tempo que as cinzas permanecem no solo.

Alguns autores como Franco-Vizcaíno e Sous-Ramirez (1997) defendem que as diferenças entre os valores de pH de zonas queimadas e não queimadas não são significativas. Em concordância com isto, Hueso-González, Martínez-Murillo e Ruiz-Sinoga (2018) não notaram mudanças significativas no pH do solo após o fogo prescrito, pois o pH manteve-se estável durante todo o período do experimento (5 anos), indicando que o fogo não afetou o pH do solo a longo prazo possivelmente devido a baixa severidade do fogo (HUESO-GONZÁLEZ; MARTÍNEZ-MURILLO; RUIZ-SINOCA, 2018).

O pH pode não apresentar alterações significativas em áreas atingidas pelo fogo por causa de um destes fatores: recuperação do pH inicial do solo pré-queima, visto que o tempo de recuperação é variável e a coleta das amostras ocorreu dois meses após a passagem do fogo; ou baixa severidade do fogo, o que não foi aferido neste estudo. Ainda assim, é importante ressaltar que a intensidade dos incêndios florestais está ligada à quantidade de material combustível disponível, e o Cerrado apresenta biomassa combustível de cerca de 25 Mg ha⁻¹, valor baixo quando comparado à outros ecossistemas tropicais brasileiros, como a Caatinga (74 Mg ha⁻¹) e a floresta amazônica (435 Mg ha⁻¹) (CASTRO; KAUFFMAN, 1998). O não acúmulo de material combustível no Cerrado pode estar ligado à maior frequência de incêndios florestais que o bioma apresenta quando comparado a outros.

Por outro lado, a redução do pH e aumento dos teores de Al juntamente com a acidez potencial (Al + H) após a queima foi constatada em um estudo em pastagem natural nos campos sulinos brasileiros (HERINGER et al., 2002).

O aumento da temperatura durante e pós a ação do fogo altera características químicas do solo, influenciando a taxa de decomposição de resíduos e mineralização da matéria orgânica, e conseqüentemente a disponibilidade de nutrientes já complexados para a utilização pelas plantas, como o NH₄⁺, P inorgânico, Na, Ca, Mg e parte do K (GIRARDI-DEIRO; MOTA; GONÇALVES, 1994).

Entretanto, resultados diferentes têm sido relatados na literatura. No trabalho de Akaburak et al. (2018), os cátions trocáveis (Ca, Mg, K, Na, Mn) tiveram valores semelhantes nas parcelas queimadas e não queimadas, sem diferença estatística e sem mudança temporal clara induzida pelo fogo. No estudo de Scharenbroch et al. (2012) observou-se aumento do Ca, Mg, K e Na disponíveis para as plantas após o fogo, porém, nenhuma diferença na

concentração destes elementos foi reportada no estudo de Vega et al. (2013). Shakesby et al. (2015) observaram concentrações maiores de K extraível no solo um ano após o fogo comparado a situação pré-queima, por outro lado, Oliveira-Filho et al. (2018) encontraram concentrações de macronutrientes (Ca, Mg, K e P) muito similares em solos com e sem a presença do fogo durante um ano de estudo.

Um fator relevante é a interação dos nutrientes analisados com o pH do solo, pois Pereira et al. (2011) afirmam que a maior solubilidade do Ca é encontrada em pH entre 7 e 8, o que pode explicar não ter havido mudanças no Ca de várias das amostras deste estudo, pois o pH do solo está fora da faixa de solubilidade do Ca.

A intensidade do incêndio, que tem relação direta com a velocidade de propagação do fogo (FIEDLER et al., 2015) também pode influenciar no aumento, redução ou manutenção dos teores de cada elemento. Costa e Rodrigues (2015) afirmam que em seu estudo os teores de Ca, Al, Mg, P e K se mantiveram semelhantes em todas as parcelas com e sem fogo, não apresentando um padrão de alteração, o que poderia ser justificado pelo fato da queimada aplicada ser de baixa intensidade, concentrando poucas alterações na disponibilidade de nutrientes do solo na porção mais superficial do solo (0 – 10 cm) ou não promovendo alterações significativas.

A solubilidade dos elementos também deve ser considerada, pois, segundo Fonseca, Leite e Figueiredo (2011), os cátions Ca, Mg, K, Na e Al geralmente sofrem redução dos seus teores após a queima em todas as camadas do solo, o que pode ser associado à erosão do solo e processos de lixiviação, visto que esses elementos são muito solúveis. A lixiviação destes elementos também pode estar ligada a queima da matéria orgânica do solo (MOS) que leva à diminuição da capacidade de troca catiônica (CTC) e, conseqüentemente, menor capacidade de retenção dos nutrientes nos colóides do solo (GRANGED et al., 2011b; RAIJ, 1991).

A concentração de P extraível, que tende a aumentar após a queima devido à mineralização de formas orgânicas deste elemento e da presença das cinzas da vegetação queimada na camada superficial do solo (HUSEYIN, 2006) também são suscetíveis a perdas por erosão e lixiviação (WIENHOLD; KLEMMEDSON, 1992), o que pode explicar a redução da concentração dos elementos em questão em algumas das amostras deste estudo coletadas dois meses após a queima, resultando na ausência de diferença significativa entre o solo afetado e não afetado pelo fogo, resultado observado também no trabalho de Fonseca et al. (2017).

Sendo assim, as alterações nas concentrações dos elementos citados podem variar com o tempo. No trabalho de Alcañiz et al. (2014) observou-se aumento na concentração de P após a passagem do fogo, mas um ano após a queima, os valores estavam abaixo dos encontrados antes do fogo, concordando com Certini (2005), que afirma que o aumento do P é temporário e dura menos de um ano. Rheinheimer et al. (2003) registraram que o aumento da concentração de K, Ca, Mg, dos valores do pH e o decréscimo do Al em solo sob pastagem nativa registrado imediatamente após o fogo sumiu após três meses. Tendência semelhante foi relatada para o K extraível que apresentou concentrações menores quando comparado a situação pré-queima um (FONSECA et al., 2017) e três anos (ÚBEDA; OUTEIRO, 2009) após o fogo, condição atribuída por Úbeda e Outeiro (2009) ao consumo do nutriente pela vegetação emergente.

O aumento temporário do P também pode ser explicado, pois, com a queima parte do P orgânico é convertido para P inorgânico (GALANG; MARKEWITZ; MORRIS, 2010) e passa a ser detectado na análise de solo. No entanto, com o passar do tempo, o P vai sendo fixado aos óxidos de Fe e Al, abundantes nos solos do Cerrado, ficando retidos à fração sólida do solo, tornando-se novamente indisponível às plantas e indetectável na análise realizada, assim como acontece com o P disponibilizado na adubação (LEITE et al., 2016).

As alterações nos nutrientes no solo podem ter relação ainda com a frequência da incidência de fogo e chuvas na região. Pivello et al. (2010) afirmam que a disponibilidade de Ca, Mg e K no solo de uma savana brasileira aberta (campo sujo) não foi afetada pelo tempo de queima, mas pela frequência do fogo, e Ruiz-Sinoga et al. (2012) afirmam que a maior quantidade de chuva pode modificar o processo de lixiviação do solo e reduzir a concentração de cátions, associando essa tendência mais à sazonalidade das chuvas do que aos efeitos de longo prazo do fogo no solo (HUESO-GONZÁLEZ; MARTÍNEZ-MURILLO; RUIZ SINOGA, 2014). Porém, tais efeitos só poderiam ser aferidos nas áreas estudadas com o levantamento do histórico nas regiões específicas, o que não é o objetivo deste estudo.

As concentrações de matéria orgânica do solo (MOS) se apresentaram semelhantes ao trabalho de Fonseca et al. (2017) que encontrou padrões de variações temporais da concentração de matéria orgânica do solo (MOS) parecidos para todas as camadas amostradas, sem diferenças significativas seis e 36 meses após a passagem do fogo em relação a situação pré-queima. No estudo de Alcañiz et al. (2014) foi observado aumento na concentração da matéria orgânica do solo (MOS) imediatamente após a passagem do fogo

prescrito, porém, um ano depois essa concentração se mostrou menor do que aquela registrada antes da queima, o que sugere que o aumento desta variável pode ser temporário.

O aumento da matéria orgânica do solo (MOS) pode estar relacionado ainda a uma limitação do método de análise que, segundo o Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2007), detecta outras formas de carbono não-orgânico existentes no solo, tais como carvão. Sendo assim, partes vegetais que preservadas da ação do fogo seriam maiores do que a malha da peneira e, portanto, não apareceriam na análise de matéria orgânica do solo (MOS), podem ser transformadas pela queima em pequenos pedaços de carvão (< 2 mm) que passam a ser mensurados como matéria orgânica em laboratório.

Por outro lado, no estudo desenvolvido por Granged et al. (2011b), após a queima restou apenas 34,6% da matéria orgânica do solo (MOS) e essa concentração não variou significativamente depois de um ano do fogo, voltando a aumentar levemente nos dois anos seguintes. A matéria orgânica é quase completamente removida após um aquecimento do solo acima dos 400 °C (FERNANDEZ; CABANEIRO; CARBALLAS et al., 1997), e a concentração de carbono orgânico cai significativamente em aquecimento a 200 e 300 °C em laboratório, e se perde completamente a 500 °C (TEREFE et al., 2008). Entretanto, Hatten et al. (2005) afirmam que queimadas de baixa intensidade não afetam os teores de carbono e de matéria orgânica. Uma queimada de baixa intensidade possivelmente foi o motivo da não redução significativa dos teores de matéria orgânica do solo (MOS) neste estudo.

Apesar dos estudos acima mencionados, os efeitos do fogo sobre a matéria orgânica do solo (MOS) não são completamente conhecidos para que se possa descrever com precisão a sua dinâmica quantitativa e qualitativa no solo após o fogo (ARMAS-HERRERA et al., 2016; GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2004).

O carbono orgânico total (COT) neste estudo seguiu o comportamento da matéria orgânica do solo (MOS), visto que este teor foi determinado dividindo a concentração da matéria orgânica do solo (MOS) pelo fator de van Bemmelen (1,724), com base no pressuposto de que a matéria orgânica contém 58% de carbono orgânico (EMBRAPA, 1997).

Outros autores (AKBURAK et al., 2018; NAVE et al., 2011) não encontraram diferenças significativas no N mineral do solo após a queima prescrita. Outros estudos mostraram também efeitos neutros do fogo prescrito no N do solo (FULTZ et al., 2016; MARCOS et al., 2009). Segundo San Emeterio et al. (2016), a ausência de variações

significativas com o tempo pode ser explicada pela baixa incorporação de cinzas e materiais carbonizados no solo.

Diferente do presente estudo, alguns autores encontraram aumento no N do solo após a queima (ALCAÑIZ et al., 2016; SAN EMETERIO et al., 2016), e ainda, Girona-García et al. (2018) encontraram redução de 52 e 44% nas concentrações de N na camada mais superficial do solo (0 a 1 cm) após a queima, atribuída à combustão da matéria orgânica do solo (MOS) que só é iniciada quando as temperaturas atingem 200-250 °C (CERTINI, 2005).

Sendo assim, os efeitos do fogo induzido no N do solo são altamente variáveis controversos (AKBURAK et al., 2018), e isso pode ser atribuído a diferenças nas características da vegetação, das propriedades do solo e severidade do fogo (WANG et al., 2012). Esses efeitos também podem ser temporários, como observado por Rheinheimer et al. (2003) em solo sob pastagem nativa que registraram aumento da concentração do N disponível para as plantas imediatamente após o fogo e redução após dois meses, sendo este período o mesmo descrito entre a queima e a coleta das amostras deste trabalho.

Indicadores específicos como respiração basal do solo (RBS) são essenciais para caracterizar a extensão da perturbação do fogo à microbiota do solo (VEGA et al., 2013), pois o fogo pode causar impactos nas propriedades microbianas do solo com mudanças na sua composição, nas atividades microbianas e na disponibilidade de carbono e nutrientes (ILSTEDT et al., 2003). A respiração basal do solo (RBS) consiste na produção de CO₂ ou consumo de O₂ através dos processos metabólicos de organismos vivos do solo (PARKIN; DORAN; FRANCO-VIZCAINO, 1996). Este é um dos parâmetros mais utilizados para quantificar a atividade microbiana, e pode ser um bioindicador de mudanças na dinâmica do carbono do solo em áreas que sofreram alterações (FEIGL; STEUDLER; CERRI, 1995).

A ausência de diferença estatística para a respiração basal do solo (RBS) também foi observada em florestas de carvalho por Akburak et al. (2018) e Scharenbroch et al. (2012) comparando áreas queimadas e não queimadas. A redução na respiração basal do solo (RBS) após a queima é um efeito comumente registrado entre os autores (ARMAS-HERRERA et al., 2016; HAMMAN; BURKE; KNAPP, 2008; WANG et al. 2012), especialmente nas camadas mais superficiais do solo, como relatado por Girona-García et al. (2018) que encontraram valores de respiração basal do solo (RBS) significativamente maiores no solo sem a influência do fogo, registrando decréscimo de 72% após a queima na camada de 0 a 1 cm de solo.

É importante ressaltar que a liberação de CO₂ produzido pelos microorganismos pode ser influenciada por fatores como a vegetação, clima, temperatura, concentração de CO₂ no sistema solo-atmosfera, propriedades físicas do solo e pressão do ambiente (LA SCALA JR. et al., 2000). Portanto, para quantificar os principais processos biológicos indicadores de qualidade do solo seria importante analisar também a biomassa microbiana e o quociente respiratório metabólico (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

O fogo pode afetar diretamente a vida dos microorganismos ou alterar a disponibilidade dos nutrientes do solo e as condições do ambiente em ecossistemas florestais, e isto pode gerar efeitos na atividade microbiana do solo a curto ou longo prazo (POURREZA et al., 2014). Porém, assim como as demais alterações causadas pelo fogo no solo, Fontúrbel et al. (2012) observaram que a respiração basal do solo (RBS) na camada de 0 a 5 cm do solo foi recuperada 180 dias após a queima prescrita.

A ausência de diferença significativa após o fogo para a concentração de Fe no solo pode estar relacionada, principalmente, à baixa solubilidade do Fe nas cinzas (KHANNA; RAISON; FALKINER, 1994), enquanto o declínio do Fe pode estar associado à queimadas recorrentes (GARCÍA-MARCO; GONZÁLEZ-PRIETO, 2008). Segundo Certini (2005), o comportamento do Mn não é muito conhecido e a concentração de Zn pode ser rapidamente lixiviada (ZHAN et al., 1996).

O aumento na concentração de Cu foi reportado por Stankov Jovanovic et al. (2011). Entretanto, Gómez-Rey et al. (2013) observaram um forte declínio na concentração do Cu disponível no solo queimado, sugerindo perdas rápidas deste elemento, provavelmente associadas à erosão (CHIRENJE; RIVERO; MA, 2002) após as primeiras chuvas depois da passagem do fogo (SMITH et al., 2011), o que pode ter acontecido nas áreas 2 e 3 que normalizaram os teores de Cu após dois meses da queima, e sendo estas áreas as que foram coletadas mais tardiamente, ficando mais expostas às chuvas.

Outros autores (FERREIRO et al., 2011; PONDER; TADROS; LOEWENSTEIN, 2009) observaram maiores concentrações do B em solos queimados, entretanto, Khanna, Raison e Falkiner (1994) afirmam que o B é facilmente dissolvido. Apesar de Knoepp, DeBano e Neary (2005) citarem que o teor de S é uma das características do solo mais comumente alteradas pelo fogo, e Kauffman; Cummings; Ward (1994) e Pivello; Coutinho (1992) registrarem reduções de aproximadamente 60% na concentração deste elemento no solo após a queima, as alterações na concentração deste elemento só foram observadas na área 2 do presente estudo.

O efeito do fogo é variado em sua intensidade, profundidade no solo e na sua duração, e a variedade de ecossistemas e metodologias de amostragem e análise torna mais difícil à comparação de resultados, ainda assim, a literatura aponta alguns fatores como os principais para a variação dos resultados: a intensidade e duração da queima (GRANGED et al., 2011a); o tipo, umidade e quantidade de vegetação (NEARY et al., 1999); as condições climáticas (FERNANDES et al., 2013); e a umidade do solo que cessa o aumento da temperatura durante a fase evaporativa da secagem do solo (MASSMAN, 2012).

5.2 Influência da queima nos atributos físicos do solo

Solos severamente queimados apresentam maiores alterações na sua textura do que solos de áreas levemente ou moderadamente queimadas (ULERY; GRAHAM, 1993). González-Pérez et al. (2004) afirmam que o fogo pode gerar pequenas alterações nas partículas de silte e argila, normalmente redução da argila e aumento do silte, resultando em texturas mais grosseiras. Ainda, Inbar et al. (2014) demonstraram que as frações de argila e areia foram significativamente menores e silte maior em um solo após a queima quando comparado ao solo não queimado.

A mudança nos teores de cada partícula do solo pode ser atribuída a diferentes fatores: a ação do fogo e consequente aquecimento do solo podem formar agregados estáveis com as partículas de argila que se tornam do tamanho de partículas de silte, resultando na diminuição do teor de argila e aumento de silte após o fogo (ARE et al., 2009; HUBBERTE et al., 2006); a transformação térmica dos óxidos de ferro e alumínio fazem com que eles atuem como agentes cimentantes da argila que formam partículas fortes do tamanho de silte (GIOVANNINI; LUCCHESI; GIACHETTI, 1988; TEREFE et al., 2008); e ainda, segundo Arocena e Opió (2003), a passagem do fogo pode resultar em rachaduras induzidas pelo calor nas partículas de areia que levam à sua quebra e, conseqüentemente, uma menor quantidade dessas partículas no solo.

Embora tenha ocorrido diferença estatística em algumas situações quando analisadas as frações de areia, silte e argila, na prática, essas diferenças não são expressivas, conforme esperado, pois a textura do solo é um dos atributos de difícil alteração em curto prazo. Além disso, a mudança da classe textural ocorreu, pois a variação da fração de argila se deu no limite entre as classes, e mesmo sendo uma variação muito pequena, como por exemplo, de

19 para 21% na camada de 5 a 10 cm da área 1, fez com que o solo mudasse de nome de classe textural, porém, essa variação não é expressiva na prática.

A fração argila está intimamente relacionada com a estrutura do solo e é utilizada como índice para avaliar sua estabilidade e erodibilidade (MOTA; FREIRE; ASSIS JÚNIOR, 2013) estando presente em duas formas no solo, dispersa ou floclada, sendo que um solo melhor estruturado apresenta maiores teores de argila floclada, pois a argila dispersa em água (ADA) torna o solo susceptível à compactação e erosão (ALVES et al., 2015; IGWE, 2005). Em relação aos valores de argila dispersa em água (ADA) e grau de floclação (GF) encontrados no presente trabalho, observa-se que as amostras que sofreram alterações significativas após a passagem do fogo tiveram um comportamento que, geralmente, não é o esperado. Segundo Mills e Fey (2004), não se sabe se queimadas frequentes afetam a dispersão da argila, mas é esperado que a argila dispersa em água (ADA) seja maior em parcelas queimadas do que em parcelas não queimadas, e conseqüentemente, que o grau de floclação (GF) seja menor.

Entretanto, Alves et al. (2015) e Igwe (2005) observaram que os teores de argila dispersa em água (ADA) seguem a tendência da argila total, ou seja, quanto maior o teor de argila, maior a quantidade de argila dispersa em água (ADA), o que pode justificar a redução da argila dispersa em água (ADA) no presente trabalho, levando em consideração que houve também uma redução da argila total nas parcelas atingidas pelo fogo na área 2. O aumento do grau de floclação (GF) nas parcelas atingidas pelo fogo nas áreas estudadas justifica-se, pois, a argila dispersa em água (ADA) e o grau de floclação (GF) são propriedades inversamente proporcionais (EFFGEN et al., 2006; RODRIGUES et al., 2011), sendo assim, o grau de floclação (GF) apresentou maiores índices onde houve redução da argila dispersa em água (ADA), mesmo que esta redução não tenha sido significativa.

A estabilidade dos agregados do solo é fundamental para avaliar a qualidade estrutural do solo, e esta pode ser medida em função da resistência que os agregados apresentam à ação da água e de forças mecânicas, sendo que agregados maiores são mais estáveis e resistentes à erosão do que os agregados menores, que tendem a desaparecer e se dispersarem (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Agregados mais estáveis são de extrema importância, principalmente em áreas afetadas pelo fogo, pois esses agregados sofrerão impacto direto das gotas da chuva, visto que, após a passagem do fogo, o solo encontra-se desnudo (SPERA et al., 2000) e se os agregados não forem muito estáveis, podem se desfazer e favorecer a formação do selamento superficial do solo (PANACHUKI et al., 2011), diminuindo assim a

taxa de infiltração de água e aumentando o escoamento superficial (COSTA; RODRIGUES, 2014).

Portanto, uma maior quantidade de macroagregados pode proporcionar maior macroporosidade no solo, e, conseqüentemente, maior taxa de infiltração de água e menor deflúvio, e assim, menor erosão (ENGEL et al., 2009; ŠIMANSKÝ, 2012). Quanto maior a porcentagem de agregados grandes, maior é o diâmetro médio ponderado (DMP); o diâmetro médio geométrico (DMG) é uma estimativa da classe de agregados de maior ocorrência; e o índice de estabilidade de agregados (IEA) é uma medida da agregação total do solo (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI et al., 1998; KEMPER; CHEPIL, 1965).

O fogo é indicado por alguns autores como um fator que reduz a estabilidade dos agregados do solo devido à quebra dos agregados e dos agentes cimentantes do solo (CEDDIA et al., 1999; CHIEF; YOUNG; SHAFER, 2012; GRANGED et al., 2011a), o que pode ter acontecido na amostra de solo que teve alterações deste índice no presente estudo. Entretanto, outros estudos que investigaram os efeitos do fogo na estrutura do solo mostram que solos submetidos a temperaturas abaixo de 220 °C não apresentam alteração significativa na estabilidade dos agregados (ARCENEGUI et al., 2008; SCHARENBRUCH et al., 2012) porque os incêndios de baixa intensidade não rompem os agentes cimentantes dos agregados do solo (BADÍA; MARTÍ, 2003; HUESO-GONZÁLEZ; MARTÍNEZ-MURILLO; RUIZ-SINOVA, 2018).

Ainda, alguns autores (CHRISTENSEN, 2001; WENDLING et al., 2005) afirmam que a estabilidade dos agregados, expressa por diversos índices (dentre eles o diâmetro médio ponderado – DMP e o diâmetro médio geométrico - DMG), apresentam correlação positiva com o teor de matéria orgânica (MOS) e carbono orgânico (COT) do solo, e estes foram pouco modificados pela passagem do fogo, o que pode justificar a ausência do efeito do fogo nas demais amostras deste estudo.

Segundo Albalasmeh et al. (2012) e DeBano (1990), os agregados atuam como reservatório de umidade, nutrientes e carbono orgânico do solo, logo, a estabilidade dos agregados observada no presente trabalho pode ter refletido na ausência de diferença significativa das frações de carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COM) na área 1 e área 3 (com exceção da camada de 5 a 10 cm) após a passagem do fogo.

Por outro lado, a área 2 apresentou aumento do carbono orgânico particulado (COP), e, conseqüentemente, redução do carbono orgânico associado aos minerais (COM), o que não é esperado, pois, a matéria orgânica associada aos minerais da fração fina do solo é mais estável, tem ciclagem mais lenta e é menos modificada pelo manejo do solo a curto prazo, pois está protegida dentro dos microagregados ($< 53 \mu\text{m}$) (BAYER et al., 2004). A redução do carbono orgânico associado aos minerais (COM) e o aumento do carbono orgânico particulado (COP), neste caso, podem ter sido reflexo do aumento da fração areia e redução da fração argila, detectados na análise textural (TABELA 1), tendo em vista que o carbono orgânico particulado (COP) é a fração da matéria orgânica do solo (MOS) associada à fração areia ($> 53 \mu\text{m}$) e o carbono orgânico associado aos minerais (COM) às frações silte e argila do solo ($< 53 \mu\text{m}$) (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). O mesmo pode ser atribuído à redução do carbono orgânico particulado (COP) na camada de 5 a 10 cm da área 3, que teve também redução na fração areia após a queima.

É importante ressaltar também que a presença de carvão nas amostras de solo queimadas pode dificultar a interpretação do fracionamento da matéria orgânica. Segundo Schmidt, Rumpel e Knabner (1999), o fracionamento granulométrico em solos com elevada quantidade de carvão pode resultar em partículas de tamanho diferentes.

Na maioria dos incêndios, somente o efeito gerado pelo aquecimento não é capaz de alterar significativamente as propriedades físicas do solo, mas mesmo pequenas mudanças afetam toda a dinâmica do solo (NEARY et al., 1999), visto que as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo estão interligadas e são influenciadas pelo fogo simultaneamente (SANTOS; BAHIA; TEIXEIRA, 1992; SPERA et al., 2000) em diferentes graus que dependem de vários outros fatores, como tipo de solo, cobertura vegetal, duração, intensidade e frequência da queimada na região (REDIN et al., 2011).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A influência do fogo nos três solos de Cerrado deste estudo parece ter sido leve, superficial e temporária, e há de se dizer que nem todos os parâmetros analisados apresentaram uma tendência clara.

Notou-se que, para aqueles atributos que sofreram modificações nas parcelas afetadas pelo fogo, esta foi observada com maior frequência nas camadas de 0-2,5 cm do solo, demonstrando que os efeitos do fogo são superficiais. Esta superficialidade pode ser justificada pela possível baixa intensidade da queimada, que promove poucas alterações apenas nas camadas superiores do solo. Apesar de não ter sido aferida, é importante ressaltar que a intensidade dos incêndios florestais é um dos fatores que reduz a estabilidade dos agregados do solo, o que não aconteceu no presente trabalho, caracterizando possíveis incêndios de baixa intensidade. Além disso, a intensidade das queimadas está ligada à quantidade de material combustível disponível, e o Cerrado apresenta biomassa combustível baixa quando comparado a outros ecossistemas, especialmente quando a vegetação é queimada com frequência. Queimadas recorrentes podem, também, ter sido o motivo do declínio do ferro observado em algumas camadas do solo no presente estudo.

Existe a possibilidade de que o solo imediatamente após a queimada apresentasse resultados diferentes dos encontrados no presente estudo, com alterações mais presentes, porém, com a coleta realizada cerca de dois meses após a ação do fogo, alguns atributos não mostraram diferença quando comparados às áreas preservadas da ação do fogo porque,

provavelmente, os dois meses entre os incêndios e as coletas foram tempo suficiente para que o solo recuperasse sua condição inicial. Isto também pode ser percebido através da respiração basal do solo, que caracteriza a extensão e a duração da perturbação do fogo à microbiota do solo, e assim como outras alterações causadas pelo fogo no solo, este índice não apresentou mudanças nas análises, apontando que a respiração basal do solo foi recuperada, permitindo que os teores de CO₂ emitidos pelo solo fossem normalizados após dois meses do incêndio florestal, possivelmente pela recuperação da atividade microbiana e das condições ambientais para tal, como, por exemplo, a disponibilidade de nutrientes.

A normalização da concentração dos nutrientes no solo dois meses após o incêndio também pode estar associada ao processo de lixiviação, pois estes elementos são muito solúveis e, devido à sazonalidade climática da região, as áreas de coleta ficaram expostas às chuvas nos meses de outubro e novembro. Além disso, com as chuvas pode ter ocorrido o deflúvio, ou seja, o escoamento superficial do solo descoberto, visto que a vegetação rasteira foi queimada. Com as partículas de solo também são perdidas as cinzas, o que, conseqüentemente, reduz a sua incorporação no solo, podendo ser a explicação para a ausência de variações entre as áreas afetadas e não afetadas pelo fogo, pois as cinzas são responsáveis pela redução da acidez e pela maior disponibilidade de nutrientes no solo após as queimadas.

Os solos do Cerrado apresentam atributos físicos considerados bons e capazes de manterem-se praticamente inalterados após a queima e, mesmo os atributos que apresentaram diferenças significativas na análise estatística comparando as áreas afetadas e não afetadas pelo fogo – como o pH, a concentração de nutrientes e os teores de areia, silte e argila – não apresentaram alterações expressivas na prática, pois como os solos do Cerrado são forte ou moderadamente ácidos e existe uma carência generalizada de nutrientes essenciais e teor médio a baixo de matéria orgânica, as pequenas alterações causadas pela queima não são capazes de alterar a condição desses solos. Além do mais, a mudança da classe textural dos solos comparando as áreas atingidas e não atingidas pelo fogo deve-se ao limite teórico entre elas e à classificação didática, pois, na prática uma variação pequena – como o acréscimo de 2% do teor de argila em uma camada de solo – não é expressiva.

O efeito do fogo é variado, pois depende não só das suas características intrínsecas como intensidade, profundidade no solo, frequência e duração, mas da composição do bioma, da umidade e da quantidade de vegetação, da variedade dos ecossistemas envolvidos, das condições climáticas e dos atributos do solo da região. Mesmo que as alterações geradas pela

queima tenham sido leves e de difícil comparação devido à variação de metodologias encontradas na literatura e a presença de carvão nas amostras de solo queimadas que podem ter dificultado a interpretação das análises, estas devem ser consideradas, pois irão afetar toda a dinâmica do solo temporariamente. Os dados do presente trabalho demonstram que, no espectro deste estudo observacional, o fogo não interfere negativamente no solo, o que pode indicar que o Cerrado é um bioma adaptado ao fogo.

7 CONCLUSÕES

- A ação do fogo aumentou os valores de pH de forma geral, tornando o solo menos ácido, e, conseqüentemente, reduzindo as concentrações de Al e H. Esta tendência foi observada especialmente na camada superficial do solo (de 0 a 2,5 cm);

- O fósforo disponível, o potássio trocável, o cálcio, o zinco e o cobre apresentaram aumento significativo nas parcelas afetadas pelo fogo apenas em algumas camadas do solo, sendo, na maioria dos casos, nas camadas superficiais;

- As concentrações de magnésio trocável, de nitrogênio total e de manganês no solo, assim como a quantidade de CO₂ emitido pela respiração de organismos vivos do solo não foram alteradas pela passagem do fogo;

- As concentrações de matéria orgânica do solo e carbono orgânico total apresentaram aumento em poucas camadas analisadas, porém, na maioria não houve influência do fogo;

- Os teores de ferro apresentaram declínio nas áreas afetadas pelo fogo em algumas camadas do solo;

- Os teores de boro e de enxofre no solo não apresentaram tendência clara, com aumento em algumas camadas, redução e manutenção em outras quando comparadas as parcelas afetadas e não afetadas pelo fogo;

- Os solos foram classificados como franco-arenosos e franco-argiloarenosos e a mudança da classe textural em algumas camadas comparando parcelas atingidas e não

atingidas pelo fogo deve-se ao limite teórico entre elas e à classificação didática, não é expressiva na prática.

- A argila dispersa em água apresentou redução em algumas camadas e o grau de floculação apresentou tendência contrária comparando parcelas atingidas e não atingidas pelo fogo;

- O índice de estabilidade de agregados diminuiu significativamente apenas na camada superficial da área 2 na parcela atingida pelo fogo, enquanto o diâmetro médio ponderado e o diâmetro médio geométrico não foram influenciados pela passagem do fogo;

- A fração de carbono orgânico particulado resultante do fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica do solo teve aumento significativo em algumas camadas, e, conseqüentemente, nestas mesmas amostras foi detectada redução do carbono orgânico associado aos minerais nas parcelas atingidas pelo fogo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. C. R.; HOFFMANN, W. A.; VASCONCELOS, H. L.; PILON, N. A.; ROSSATTO, D. R.; DURIGAN, G. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science Advances**, v. 3, p. 1-8, 2017.
- AKBURAK, S.; SON, Y.; MAKINECI, E.; ÇAKIR, M. Impacts of low-intensity prescribed fire on microbial and chemical soil properties in a *Quercus frainetto* Forest. **Journal of Forestry Research**, v. 9, n.3, p. 687–696, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0486-4>.
- ALBALASMEH, A. A.; BERLI, M.; SHAFER, D. S.; GHEZZEHEI, T. A. Degradation of moist soil aggregates by rapid temperature rise under low intensity fire. **Plant Soil**, v. 362, p. 335–344, 2012.
- ALCAÑIZ, M.; OUTEIRO, L.; FRANCOS, M.; FARGUELL, J.; ÚBEDA, X. Long-term dynamics of soil chemical properties after a prescribed fire in a Mediterranean forest (Montgrí Massif, Catalonia, Spain). **Science of the Total Environment**. v. 572, p. 1329–1335, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.115>.
- ALCAÑIZ, M.; ÚBEDA, X.; OUTEIRO, L.; FARRÉS, M. Effects of a prescribed fire in a calcareous soil (Montgrí Massif, NE Spain). **Flamma**, v. 5, n. 1, p. 45–48, 2014.
- ALVES, A. S.; IORI, P.; SILVA, R. B. da; BENTO, M. de S.; NAKAMURA, R.; GAVA, J. L. Flocculação e dispersão da argila em solos cultivados com Eucalipto. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal-RN, 2015.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 66-75, 2007.
- ARAÚJO, E. A.; RIBEIRO, G. A. Impactos do fogo sobre a entomofauna do solo em ecossistemas florestais. **Natureza & Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, p. 75-85, 2005.
- ARCENEGUI, V.; MATAIX-SOLERA, J.; GUERRERO, C.; ZORNOZA, R.; MATAIX-BENEYTO, J.; GARCÍA-ORENES, F. Immediate effects of wild fires on water repellency and aggregate stability in Mediterranean calcareous soils. **Catena**, v. 74, p. 219–226, 2008.
- ARE, K. S.; OLUWATOSIN, G. A.; ADEYOLANU, O. D.; OKE, A. O. Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: Soil physical properties. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 4-10, 2009.
- ARMAS-HERRERA, C. M.; MARTÍ, C.; BADÍA, D.; ORTIZ-PERPIÑÁ, O.; GIRONA-GARCÍA, A.; PORTA, J. Immediate effects of prescribed burning in the Central Pyrenees on the amount and stability of topsoil organic matter. **Catena**, v. 147, p. 238–244, 2016.
- AROCENA, J.; OPIO, C. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. **Geoderma**, v. 113, p. 1–16, 2003.

ASSAD, M. L. R. C. L. Recursos biológicos: ocorrência e viabilidade. *In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS*, 1996, Brasília. **Anais** [...] Planaltina: Embrapa-CPAC, 1996. p. 20-24.

BADÍA, D.; MARTÍ, C. Effect of simulated fire on organic matter and selected microbiological properties of two contrasting soils. **Arid Land Research and Management**, v. 17, p. 55–59, 2003.

BARRAT, B. I. P.; TOZER, P. A.; WIEDEMER, R. L.; FERGUSON, C. M.; JOHNSTONE, P. D. Effect of fire on microarthropods in New Zealand indigenous grassland. **Rangeland Ecology & Management**, Durban, v. 59, n. 4, p. 383-391, 2006.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BEHLING, H.; PILLAR, V. P. Late quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazil highland and their implication for conservation and management of modern araucaria forest and grassland ecosystems. **Philosophical Transactions B**, v. 362, n. 1478, p. 243-251, 2007.

BENAVIDES-SOLORIO, J.; MACDONALD, L. H. Post fire runoff and erosion from simulated rainfall on small plots: Colorado front range. **Hydrological Processes**, v. 15, p. 2931-2952, 2001.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6.ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.

BOWMAN, D. M. J. S.; BALCH, J. K.; ARTAXO, P.; BOND, W. J.; CARLSON, J. M.; COCHRANE, M. A.; ANTONIO, C. M. D.; DEFRIES, R. S.; DOYLE, J. C.; HARRISON, S. P.; JOHNSTON, F. H.; KEELEY, J. E.; KRAWCHUK, M. A.; KULL, C. A.; MARSTON, J. B.; MORITZ, M. A.; PRENTICE, I. C.; ROOS, C. I.; SCOTT, A. C.; SWETNAM, T. W.; WERF, G. R. van der; PYNE, S. J. Fire in the Earth System. **Science**, v. 324, n. 481, p. 1–7, 2009.

BOWMAN, D. M.; BALCH, J.; ARTAXO, P.; BOND, W. J.; COCHRANE, M. A.; D'ANTONIO, C. M.; DEFRIES, R.; JOHNSTON, F. H.; KEELEY, J. E.; KRAWCHUK, M. A.; KULL, C. A.; MACK, M.; MORITZ, M. A.; PYNE, S.; ROOS, C. I.; SCOTT, A. C.; SODHI, N. S.; SWETNAM, T. W.; WHITTAKER, R. The human dimension of fire regimes on Earth. **Journal of biogeography**, v. 38, n. 12, p. 2223–2236, 2011.

BRANDO, P. M.; BALCH, J. K.; NEPSTAD, D. C.; MORTON, D. C.; PUTZ, F. E.; COE, M. T.; SILVÉRIO, D.; MACEDO, M. N.; DAVIDSON, E. A.; NÓBREGA, C. C.; ALENCAR, A.; SOARES-FILHO, B. S. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 111, p. 6347–6352, 2014.

BRASIL, A. E.; ALVARENGA, S. M. Relevô. *In: GEOGRAFIA do Brasil: região Centro-Oeste*. Rio de Janeiro: IBGE, v. 1, 1988. p. 53-72.

- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CAMMERAAT, L. H.; IMESON, A. C. The evolution and significance of soil-vegetation patterns following land abandonment and fire in Spain. **Catena**, v. 37, p. 107-127, 1999.
- CAMPO, J.; ANDREU, V.; GIMENO-GARCÍA, E. Occurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment. **Geomorphology**, v. 82, p. 376-387, 2006.
- CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; RODRIGUES, C. A. G.; BARIONI JÚNIOR, W. Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 747-752, 2003.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 527-538, 1998.
- CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, n. 3, maio 1998.
- CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. C. dos; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L. A. da. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1467-1473, 1999.
- CERDÀ, A.; IMESON, A. C.; CALVO, A. Fire and aspect induced differences on the erodibility and hydrology of soils at La Costera, Valencia, southeast Spain. **Catena**, v. 24, p. 289-304, 1995.
- CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, v. 143, n. 1, p. 1-10, 2005.
- CHEN, H. Y. H.; SHRESTHA, B. M. Stand age, fire and clearcutting affect soil organic carbon and aggregation of mineral soils in boreal forests. **Soil Biology and Biochemistry**, Leicestershire, v. 50, p. 149-157, 2012.
- CHIEF, K.; YOUNG, M. H.; SHAFER, D. S. Changes in soil structure and hydraulic properties in a wooded- shrubland ecosystem following a prescribed fire. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, p. 1965-1977, 2012.
- CHIRENJE, T.; RIVERO, C.; MA, L. Q. Leachability of Cu and Ni in wood ash-amended soil as impacted by humic and fulvic acid. **Geoderma**, v. 108, n. 1-2, p. 31-47, 2002.
- CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, p. 345-353, 2001.

- CIANCIARUSO, M. V.; BATALHA, M. A.; SILVA, I. G. A. Seasonal variation of a hyperseasonal cerrado in Emas National Park, Central Brazil. **Flora**, London, v. 200, p. 345-353, 2005.
- COELHO, C. O. A.; FERREIRA, A. D. J.; BOULET, A. K.; KEIZER, J. J. K. Overland flow generation processes, erosion yields and solute loss following different intensity fires. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, v. 37, p. 233-240, 2004.
- COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Efeito do fogo sobre vegetação e solo a partir de estudo experimental em ambiente de cerrado. **Revista do Departamento de Geografia – USP**. São Paulo, v. 30, p. 149-165, 2015.
- COSTA, Y.; RODRIGUES, S. Estudo sobre a ação do fogo em solo característico do Cerrado a partir de parcelas experimentais em diferentes condições de cobertura vegetal. **Revista Geonorte**, v. 5, n. 14, p. 113 – 118, 2014.
- COUTINHO, L. M. Fire in the Ecology of the Brazilian Cerrado. *In*: GOLDAMMER, J. G. (eds) **Fire in the Tropical Biota**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1990, p. 82-105, v. 84.
- DANTAS, V. D. L.; BATALHA, M. A.; FRANÇA, H.; PAUSAS, J. G. Resource availability shapes fire-filtered savannas. **Journal of Vegetation Science**, v. 26, n. 2, p. 395-403, 2015.
- DeBANO, L. F. Effects of fire on chaparral soil in Arizona and California and post fire management implications. *In*: SYMPOSIUM ON FIRE AND WATERSHED MANAGEMENT. 1988, Sacramento. **Proceedings**. USDA Forest Service, Berkeley, PSW-109, 1989, p. 55-62.
- DeBANO, L. F. Effects of fire on the soil resource in Arizona chaparral. *In*: KRAMMERS, J. S. (Ed.), **Effects of Fire Management of Southwestern Natural Resources**. U.S. Forest Service Rocky Mountain. Fort Collins CO, p. 65–77 (General Technical Report)-RM-191, 1990.
- DICK, D. P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R. S. D.; JACQUES, A. V. Á.; MIELNICZUK, J.; ROSA, A. S. Impacto da queima nos atributos químicos do solo, na composição da material orgânica e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 633-640, 2008.
- DONTSOVA, K. M.; HAYES, C. ; PENNINGTON, J. C.; PORTER, B. Sorption of high explosives to water-dispersible clay: influence of organic carbon, aluminosilicate clay, and extractable iron. **Journal of environmental quality**, v. 38, n. 4, p. 1458-1465, 2009.
- DURIGAN, G.; HERMÓGENES DE FREITAS, L. F.; RODRIGUES, R. R. Phytosociology and structure of a frequently burnt cerrado vegetation in SE-Brazil. **Flora**, v. 189, p. 153–160, 1994.
- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v.53, p. 11–15, 2015.
- EFFGEN, E. M.; DARDENGO, M. C. J. D.; SILVA, P. A.; PASSOS, R. R.; EFFGEN, T. A. M. Caracterização de atributos físicos de solos em área sob cultivo de sorgo no sul do Estado

do Espírito Santo. *In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 10.; *ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO – UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA*, 6., 2006, São José dos Campos, SP. *Anais [...]*. São José dos Campos, SP, 2006, p. 2842-2845.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review*, v. 2, n. 38, p. 201-340, 1972.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

ENGEL, F. L.; BERTOL, I.; RITTER, S. R.; PAZ GONZÁLEZ, A.; PAZ-FERREIRO, J.; VIDAL VÁZQUEZ, E. Soil erosion under simulated rainfall in relation to phenological stages of soybeans and tillage methods in Lages, SC, Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 103, p. 216-221, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2008.05.017.

ENRIGHT, N. J.; FONTAINE, J. B.; BOWMAN, D. M. J. S.; BRADSTOCK, R. A.; WILLIAMS, R. J. Interval squeeze: Altered fire regimes and demographic responses interact to threaten woody species persistence as climate changes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 13, p. 265–272, 2015.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. 12 ed. Washington, DC, 2014. 360 p.

FEIGL, B. J.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C. Effects of pasture introduction on soil CO₂ emissions during the dry season in the state of Rondônia, Brazil. *Biogeochemistry*, v. 31, p. 1–14, 1995.

FELLER, C.; BALESSENT, J.; NICOLARDOT, B.; CERRI, C. Approaching "functional" soil organic matter pools through particle-size fractionation : examples for tropical soils. In : LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (eds.). **Assessment methods for soil carbon**. Boca Raton: CRC Press, 2001, p. 53-67.

FERNANDES, P. M.; DAVIES, G. M.; ASCOLI, D.; FERNÁNDEZ, C.; MOREIRA, F.; RIGOLOT, E.; STOOFF, C. R.; VEGA, J. A.; MOLINA, D. Prescribed burning in southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 11, p. 4–14, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1890/120298>.

FERNANDES, P.; BOTELHO, H.; LOUREIRO, C. **Manual de Formação para a Técnica do Fogo Controlado**. Vila Real, Portugal: Universidade de Trás-os Montes e Alto Douro, 2002.

FERNANDES, P.; REGO, F. Combustíveis e Combustão em Ambiente Florestal. *In: MOREIRA, F.; CATRY, F. X.; SILVA, J. S.; REGO, F. (Eds.), Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas*. ISA Press, Lisboa, p. 13-20, 2010.

FERNANDEZ, I.; CABANEIRO, A.; CARBALLAS, T. Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil comparison with laboratory soil heating. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 29, p. 1–11, 1997.

FERREIRO, A.; MERINO, A.; DÍAZ, N.; PIÑEIRO, J. Improving the effectiveness of wood-ash fertilization in mixed mountain pastures. **Grass & Forage Science**, v. 66, n. 3, p. 337–350, 2011.

FIDELIS, A.; PIVELLO, V. R. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? **Biodiversidade Brasileira**, v. 1, p. 12–25, 2011.

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

FONSECA, F.; FIGUEIREDO, T. de; NOGUEIRA, C.; QUEIRÓS, A. Effect of prescribed fire on soil properties and soil erosion in a Mediterranean mountain área. **Geoderma**, v. 307, p. 172–180, 2017.

FONSECA, F.; LEITE, M.; FIGUEIREDO, T. Soil properties in burned and unburned Mediterranean shrublands of Montesinho Natural Park, Northeast Portugal. *In:* GONÇALVES, A. B.; VIEIRA, A. (Eds.), **Fire Effects on Soil Properties**. University of Minho, Guimarães, Portugal, 2011.

FONTÚRBEL, M. T.; BARREIRO, A.; VEGA, J. A.; MARTÍN, A.; JIMÉNEZ, E.; CARBALLAS, T.; FERNÁNDEZ, C.; DÍAZ-RAVIÑA, M. Effects of an experimental fire and post-fire stabilization treatments on soil microbial communities. **Geoderma**, v. 191, p. 51–60, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.037>.

FRANCO, A. C. Eco physiology of woody plants. *In:* OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (eds.) **The Cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002, p.178-197.

FRANCO-VIZCAÍNO, E.; SOSA-RAMIREZ, J. Soil properties and nutrient relations in burned and unburned Mediterranean-climate shrublands of Baja California, Mexico. **Acta Ecologica**, v. 18, n. 4, p. 503-517, 1997.

FREITAS, R. D. C. A. **Argila dispersa em água determinada por agitação rápida, lenta e ultrassom**. 2011. 50 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

FULTZ, L.M., MOORE-KUCERA, J., DATHE, J., DAVINIC, M., PERRY, G., WESTER, D., SCHWILK, D.W., RIDEOUT-HANZAK, S. Forest wildfire and grassland prescribed fire effects on soil biogeochemical processes and microbial communities: two case studies in the semi-arid Southwest. **Applied Soil Ecology**, v. 99, p. 118–128, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.023>.

FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, n. 3-4, p. 223-241, 1999.

- GALANG, M. A.; MARKEWITZ, D.; MORRIS, L. A. Soil phosphorus transformations under forest burning and laboratory heat treatments. *Geoderma*, Amsterdam, v. 155, n. 3-4, p. 401-408, mar. 2010.
- GARCÍA-MARCO, S.; GONZÁLEZ-PRIETO, S. Short- and medium-term effects of fire and fire-fighting chemicals on soil micronutrient availability. **The Science of the Total Environment**, v. 407, n. 1, p. 297–303, 2008.
- GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de; COSTA, L. M. da; NEVES, J. C. L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 635-646, 2003.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S.; GIACHETTI, M. Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. **Soil Science**, v. 146, p. 255–261, 1988.
- GIRARDI-DEIRO, A. M.; MOTA, A. F.; GONÇALVES, J. O. N. Efeito do corte de plantas lenhosas sobre o estrato herbáceo da vegetação da Serra do Sudeste, RS, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 12, p. 1823-1832, 1994.
- GIRONA-GARCÍA, A.; BADÍA-VILLAS, D.; MARTÍ-DALMAU, C.; ORTIZ-PERPIÑÁ, O.; MORA, J. L.; ARMAS-HERRERA, C. M. Effects of prescribed fire for pasture management on soil organic matter and biological properties: A 1-year study case in the Central Pyrenees. **Science of the Total Environment**, v. 618, p. 1079-1087, 2018.
- GÓMEZ-REY, M. X.; COUTO-VÁZQUEZ, A.; GARCÍA-MARCO, S.; GONZÁLEZ-PRIETO, S. J. Impact of fire and post-fire management techniques on soil chemical properties. **Geoderma**, v. 195–196, p. 155–164, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.12.005>.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A.; GONZÁLEZ-VILA, F. J.; ALMENDROS, G.; KNICKER, H. The effect of fire on soil organic matter – a review. **Environment International**, v. 30, p. 855-870, 2004.
- GRANGED, A. J. P.; JORDÁN, A.; ZAVALA, L. M.; MUÑOZ-ROJAS, M.; MATAIX-SOLERA, J. Short-term effects of experimental fire for a soil under eucalyptus forest (SE Australia). **Geoderma**, v. 167–168, p. 125–134, 2011a.
- GRANGED, A.; ZAVALA, L.; JORDÁN, A.; BARCENAS-MORENO, G. Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: a 3-year study. **Catena**, v. 164, p. 85–94, 2011b.
- GRISI, B. M. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. **Ciência e Cultura**, v. 30, n. 1, p. 82-88, 1978.
- GUERRA, A. J. T. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. **Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ**, v. 13. p. 43-52, 1990.

- HAMMAN, S. T.; BURKE, I. C.; KNAPP, E. E. Soil nutrients and microbial activity after early and late season prescribed burns in a Sierra Nevada mixed conifer forest. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 367–374, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.030>.
- HATTEN, J.; ZABOWSKI, D.; SCHERER, G.; DOLAN, E. A comparison of soil properties after contemporary wildfire and fire suppression. **Forest Ecology & Management**, v. 220, p. 227–241, 2005.
- HERINGER, I.; JACQUES, A. V. Á.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. Características de um Latossolo Vermelho sob pastagem natural sujeita à ação prolongada do fogo e de práticas alternativas de manejo. **Ciência Rural**, v. 32, n. 2, p. 309-314, 2002.
- HOFFMAN, W. A.; MOREIRA, A. G. The role of fire in population dynamics of woody plants. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIZ, R. J. (eds.). **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. 398 p.
- HUBBERT, K. R.; PREISLER, H. K.; WOHLGEMUTH, P. M.; GRAHAM, R. ;C.; NAROG, M. G. Prescribed burning effects on soil physical properties and soil water repellency in a steep chaparral watershed, southern California, USA. **Geoderma**, v. 130, p. 284-298, 2006.
- HUESO-GONZÁLEZ, P.; MARTÍNEZ-MURILLO, J. F.; RUIZ SINOGA, J.; D. The impact of organic amendments on forest soil properties under Mediterranean climatic conditions. **Land Degradation & Development**, v. 25, p. 604–612, 2014.
- HUESO-GONZÁLEZ, P.; MARTÍNEZ-MURILLO, J. F.; RUIZ-SINOGA, J. D. Prescribed fire impacts on soil properties, overland flow and sediment transport in a Mediterranean forest: A 5 year study. **Science of the Total Environment**, v. 636, p. 1480-1489, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.004>.
- HUSEYIN, E. Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Çanakkale. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2006.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área da unidade territorial: Área territorial brasileira 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil - 1:250.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**, 2ª edição. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manuais Técnicos em Geociências, n. 4, 2007, p. 316.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro. Séries Manuais Técnicos em Geociências, n. 1, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

IGWE, C. A. Erodibility in relation to water-dispersible clay for some soils of eastern Nigeria. **Land Degradation & Development**, v. 16, p. 87–96, 2005.

ILSTEDT, U.; GIESLER, R.; NORDGREN, A.; MALMER, A. Changes in soil chemical and microbial properties after a wildfire in a tropical rainforest in Sabah, Malaysia. **Soil Biol Biochem**, v. 35, p. 1071–1078, 2003.

INBAR, A.; LADO, M.; STERNBERG, M.; TENAU, H.; BEN-HUR, M. Forest fire effects on soil chemical and physicochemical properties, infiltration, runoff, and erosion in a semiarid Mediterranean region. **Geoderma**, v. 221–222, p. 131–138, 2014.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2020. [WWW Document]. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/>>. Acesso em: 16 jul. 2020.

IUSS WORKING GROUP WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. **International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. Rome: FAO, 2015. 192 p. (World Soil Resources Reports, 106). Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology**, v. 82, p. 519–531, 1994. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2261261>.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Sizedistributionofaggregates. *In*: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 449-510.

KHANNA, P. K.; RAISON, R. J.; FALKINER, R. A. Chemical properties of ash derived from eucalyptus litter and its effects on forest soils. **Forest Ecology and Management**, v. 66, n. 1–3, p. 107–125, 1994.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 85, n. 11, p. 91-118, 2007.

KNOEPP, J. D.; DEBANO, L. F.; NEARY, D. G. Soil Chemistry. *In*: NEARY, D. G.; RYAN, K. C.; DEBANO, L. F. (eds.). **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water**. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2005. p. 53-71.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie. – **Gebrüder Bornträger**, Berlim, v. 1, p. 1–44, 1936, part C.

KUTIEL, P.; INBAR, M. Fire impacts on soil nutrients and soil erosion in a Mediterranean pine forest plantation. **Catena**, v. 20, n. 1-2, p.129-139, 1993.

- LA SCALA JR., N.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G. T.; CORA, J. E. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from a Brazilian bare soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, p. 1459-1462, 2000.
- LEITE, J. N. F.; CRUZ, M. C. P. da; FERREIRA, M. E.; ANDRIOLI, I.; BRAOS, L. B. Frações orgânicas e inorgânicas do fósforo no solo influenciados por plantas de cobertura e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 11, p. 1880-1889, 2016.
- LEMONS, R. C. de; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3. ed., p. 83, Campinas-SP, 1996.
- LENTHALL, J.; BRIDGEWATER, S.; FURLEY, P. A phytogeographic analysis of the woody elements of New World savannas. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 56, n. 2, p. 293-305, 1999.
- MALLIK, A. U.; GIMINGHAM, C. H.; RAHMAN, A. A. Ecological effects of heather burning: I. Water infiltration, moisture retention and porosity of surface soil. **Journal of Ecology**, v. 72, p. 767–776, 1984.
- MALMSTRÖM, A.; PERSSON, T.; AHLSTRÖM, K.; GONGALSKY, K. B.; BENGTTSSON, J. Dynamics of soil meso and macrofauna during a 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest. **Applied Soil Ecology**, v. 43, n. 1, p. 61-74, 2009.
- MARCOS, E.; VILLALÓN, C.; CALVO, L.; LUIS-CALABUIG, E. Short-term effects of experimental burning on soil nutrients in the Cantabrian heathlands. **Journal of Ecological Engineering**, v. 35, p. 820–828, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.011>.
- MASSMAN, W. J. Modeling soil heating and moisture transport under extreme conditions: forest fires and slash pile burns. **Water Resources Research**, v. 48, W10548, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011WR011710>.
- MATAIX-SOLERA, J.; CERDÀ, A.; ARCENEGUI, V.; JORDÁN, A.; ZAVALA, L. M. Fire effects on soil aggregation: A review. **Earth-science Reviews**, v. 109, p. 44-60, 2011.
- MATAIX-SOLERA, J.; GUERRERO, C. Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades edáficas. In: **Incendios forestales, suelos y erosión hídrica** (Mataix- Solera, J. coord.), Alcoi, Edit. Caja Mediterráneo CEMACAM, p. 5–40, 2007.
- MEDEIROS, M. B.; MIRANDA, H. S. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. **Acta Botanica Brasílica**, v. 19, p. 493-500, 2005.
- MEIRELLES, M. L. Efeito do fogo sobre a umidade do solo em área de campo sujo de cerrado. **Ciência e Cultura**, v. 42, n. 7, p. 359-360, 1990.
- MILLER, G. T. **Ciência Ambiental**. 11 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

MILLS, A. J.; FEY, M. V. Frequent fires intensify soil crusting: physicochemical feedback in the pedoderm of long-term burn experiments in South Africa. **Geoderma**, v. 121, p. 45–64, 2004.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M.; MIRANDA, A. C. The firefactor. *In*: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (eds.) **The Cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002. p.178-197.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; NETO, W. N.; AIRES, F. S. Fires in the cerrado, the Brazilian savanna. *In*: **Tropical Fire Ecology**, Springer Praxis Books, p. 427–450, 2009. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-77381-8_15.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1196, 2013.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, G. A. B.; KENTS, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NAVE, L. E.; VANCE, E. D.; SWANSTON, C. W.; CURTIS, P. S. Fire effects on temperate forest soil C and N storage. **Ecological Applications**, v. 21, p. 1189–1201, 2011.

NEARY, D. G.; KLOPATEK, C. C.; DE BANO, L. F.; FFLOLLLOT, P. F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **Forest Ecology and Management**, v. 137, p. 51-71, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00032-8).

NOVA MUTUM. Prefeitura Municipal. **Perfil Socioeconômico – Edição 2018**. Nova Mutum: Mercatto Comunicação, 2018.

OLIVEIRA, M. E. de; SILVA, I. L. da. Efeitos do fogo sobre o solo. **Floresta e Ambiente**, p. 142-145, 1994.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. *In*: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, T. J. **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91-120.

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; BRITO, D. Q.; DIAS, Z. M. B.; GUARIEIRO, M. S.; CARVALHO, E. L.; FASCINELI, M. L.; NIVA, C. C.; GRISOLIA, C. K. Effects of ashes from a Brazilian savanna wildfire on water, soil and biota: an ecotoxicological approach. **The Science of the Total Environment**, v. 618, p. 101–111, 2018.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S. de; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1777-1785, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000500032.

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and Laboratory Tests of Soil Respiration. *In*: DORAN, J. W. et al. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 231-245.

PAUSAS, J. G.; KEELEY, J. E. A burning story: The role of fire in the history of life. **Bioscience**, v. 59, p. 593–601, 2009.

PEREIRA, P.; ÚBEDA, X.; MARTIN, D.; MATAIX-SOLERA, J.; CERDÀ, A.; BURGUET, M. Wildfire effects on extractable elements in ash from a *Pinus pinaster* forest in Portugal. **Hydrological Processes**, v. 28, p. 3681–3690, 2014.

PEREIRA, P.; ÚBEDA, X.; MARTIN, D.; MATAIX-SOLERA, J.; GUERRERO, C. Effects of a low severity prescribed fire on water-soluble elements in ash from a cork oak (*Quercus suber*) forest located in the northeast of the Iberian Peninsula. **Environmental Research**, v. 111, n. 2, p. 237–247, 2011.

PINHEIRO, E. D. S.; DURIGAN, G. Dinâmica espaço-temporal (1962-2006) das fitofisionomias em unidade de conservação do Cerrado no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, p. 441–454, 2009.

PINHEIRO, L. F. S.; KOLB, R. M.; ROSSATTO, D. R. Changes in irradiance and soil properties explain why typical non-arboreal savanna species disappear under tree encroachment. **Australian Journal of Botany**, v. 64, p. 333–341, 2016.

PIVELLO, R. V.; COUTINHO, L. M. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an Open Cerrado (Brazilian Savanna). **Journal of Tropical Ecology**, p. 487–497, 1992.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and present. **Fire Ecology**, v. 7, p. 24–39, 2011.

PIVELLO, V. R.; OLIVERAS, I.; MIRANDA, H. S.; HARIDASAN, M.; SATO, M. N.; MEIRELLES, S. T. Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. **Plant Soil**, v. 337, p. 111–123, 2010.

PONDER, F.; TADROS, M.; LOEWENSTEIN, E. F. Microbial properties and litter and soil nutrients after two prescribed fires in developing savannas in an upland Missouri Ozark Forest. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 2, p. 755–763, 2009.

POURREZA, M.; HOSSEINI, S. M.; SINEGANI, A. A. S.; MATINIZADEH, M.; DICK, W. A. Soil microbial activity in response to fire severity in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests, Iran, after one year. **Geoderma**, v. 213, p. 95–102, 2014.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. Lightning fires in a Brazilian Savanna National Park: Rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, p. 675–684, 2000.

RATTER, J. A.; DARGIE, T. C. D. An analysis of the floristic composition of 26 cerrado areas in Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 49, p. 235–250, 1992.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 47-83.

REATTO, A.; MARTINS, E. S. Classes de solo em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado. *In*: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2005. p. 49-59.

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

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

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Orgs.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa, 2008. p. 152-212.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. (edd.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 89-166.

RIBEIRO, M. N.; SANCHEZ, M.; PEDRONI, F.; PEIXOTO, K. das. Fogo e dinâmica da comunidade lenhosa em Cerrado Sentido Restrito, Barra do Garças, Mato Grosso. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 203–217, 2012.

RODRIGUES, C. A. G. **Efeitos do fogo e da presença animal sobre a biomassa aérea e radicular, nutrientes do solo, composição florística, fenologia e dinâmica de um campo de capim-carona (*Elyonurus muticus* (Spreng.) O. Ktze.) no Pantanal (sub-região da Nhecolândia)**. 1999. 285 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

RODRIGUES, C.; OLIVEIRA, V. Á. D.; SILVEIRA, P. M. D.; SANTOS, G. G. Chemical dispersants and pre-treatments to determine clay in soils with different mineralogy. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1589-1596, 2011.

ROSA, G. M. da; SANTOS, C. E.; SARTOR, D.; SEBEN, D.; LAZZARETTI, G. Ações antrópicas e o advento das ciências ambientais. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 180-197, 2022.

ROSCOE, R. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.

RUIZ-SINOGA, J. D.; PARIENTE, S.; ROMERO DÍAZ, M. A.; MARTÍNEZ-MURILLO, J. M. Variability of relationships between soil organic carbon and some soil properties in Mediterranean rangelands under different climatic conditions (South of Spain). **Catena**, v. 94, p. 17–25, 2012.

- SAN EMETERIO, L.; MÚGICA, L.; UGARTE, M. D.; GOICOA, T.; CANALS, R. M. Sustainability of traditional pastoral fires in highlands under global change: effects of soil function and nutrient cycling. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 235, p. 155–163, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.009>.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO J. L.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.
- SANTOS, D.; BAHIA, V. G.; TEIXEIRA, W. G. Queimadas e erosão do solo. **Informe Agropecuário**, v. 16, n. 176, p. 62-68, 1992.
- SATO, M. N.; MIRANDA, H. S.; MAIA, J. M. F. O fogo e o estrato arbóreo do Cerrado: efeitos imediatos e a longo prazo, *In*: MIRANDA, H. S. (ed.). **Efeitos Do Regime de Fogo Sobre a Estrutura de Comunidades de Cerrado**: Projeto Fogo. Ibama, Brasília-DF, 2010. p. 77–91.
- SCHARENBRUCH, B. C.; NIX, B.; JACOBS, K. A.; BOWLES, M. L. Two decades of low-severity prescribed fire increases soil nutrient availability in a Midwestern, USA oak (*Quercus*) forest. **Geoderma**, v. 183, p. 80–91, 2012.
- SCHMIDT, M.; RUMPEL, C.; KNABNER, K. Particle size fractionation of soil containing coal and combusted particles. **European Journal of Soil Science**, v. 50, p. 515-522, 1999.
- SHAKESBY, R. A.; BENTO, C. P. M.; FERREIRA, C. S. S.; FERREIRA, A. J. D.; STOOF, C. R.; URBANEK, E.; WALSH, R. P. D. Impacts of prescribed fire on soil loss and soil quality: an assessment based on an experimentally burned catchment in central Portugal. **Catena**, v. 128, p. 278–293, 2015.
- SHEPHERD, G. J. **Avaliação do estado do conhecimento da diversidade biológica do Brasil: plantas terrestres**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília: COBIO/MMA – GTB/CNPq – NEPAM/UNICAMP, 2003, 59 p.
- SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Comunicado Técnico 99. Embrapa. 2007.
- SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Woody plant species co-occurrence in Brazilian savannas under different fire frequencies. **Acta Oecologica**, v. 36, n. 1, p. 85-91, 2010.
- SILVA, J. F.; FARIÑAS, M. R.; FELFILI, J. M.; KLINK, C. A. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 536-548, 2006.
- SILVA, P. S.; NOGUEIRA, J.; RODRIGUES, J. A.; SANTOS, F. L. M.; PEREIRA, J. M. C.; DA CAMARA, C. C.; DALDEGAN, G. A.; PEREIRA, A. A.; PERES, L. F.; SCHMIDT, I. B.; LIBONATI, R. Putting fire on the map of Brazilian savanna ecoregions. **Journal of Environmental Management**, v. 296, 113098. 2021.

ŠIMANSKÝ, V. Soil structure stability and distribution of carbon in water-stable aggregates in different tilled and fertilized Haplic Luvisol. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, Brno, v. 60, n. 3, p. 173–178, 2012.

SMITH, H. G.; SHERIDAN, G. J.; LANE, P. N. J.; NYMAN, P.; HAYDON, S. Wildfire effects on water quality in forest catchments: a review with implications for water supply. **Journal of Hydrology**, v. 396, n. 1–2, p. 170–192, 2011.

SOARES, R. V. Queimas controladas: prós e contras. *In*: FÓRUM NACIONAL SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 1.; REUNIÃO CONJUNTA IPEF/FUPEF/SIF, 3., 1995, Piracicaba. **Anais [...]** Piracicaba: IPEF, 1995, p. 6-10.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. p. 395.

SOUZA, M. A. de; VALE, A. T. do. Levantamento de plantas de baixa inflamabilidade em áreas queimadas de Cerrado no Distrito Federal e análise das suas propriedades físicas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 181-192, 2019.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SILVA, J. C. S. Características físicas de um Latossolo Vermelho-escuro no cerrado de Planaltina, DF, submetido à ação do Fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 9, p. 1817-1824, 2000.

STANKOV JOVANOVIĆ, V. P.; ILIĆ, M. D.; MARKOVIĆ, M. S.; MITIĆ, V. D.; NIKOLIĆ MANDIĆ, S. D.; STOJANOVIĆ, G. S. Wild fire impact on copper, zinc, lead and cadmium distribution in soil and relation with abundance in selected plants of Lamiaceae family from Vidlic Mountain (Serbia). **Chemosphere**, v. 84, n. 11, p. 1584–1591, 2011.

SWANSON, F. J. Fire and Geomorphic Processes. *In*: MOONEY, H. A. et al (org.). **Fire regimes and ecosystem properties**. Honolulu: General Technical Report Wo-26, 1981. p. 401-420.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

TEREFE, T.; MARISCAL-SANCHO, I.; PEREGRINA, F.; ESPEJO, R. Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils. A laboratory study. **Geoderma**, v. 143, p. 273–280, 2008.

THOMAZ, E. L. Fire changes the larger aggregate size classes in slash-and-burn agricultural systems. **Soil and Tillage Research**, v. 165, p. 210-217, 2017.

ÚBEDA, X.; OUTEIRO, L. Physical and chemical effects of fire on soil. *In*: CERDÀ, A.; ROBICHAUD, P. R. (Eds.), **Fire Effects on Soils and Restoration Strategies**. Science Publishers, Enfield, NH, p. 105–133, 2009.

ULERY, A. L.; GRAHAM, R. C. Forest fire effects on soil color and texture. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 135–140, 1993.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 2001. 285 p.

VEGA, J. A.; FONTURBEL, T.; MERINO, A.; FERNÁNDEZ, C.; FERREIRO, A.; JIMÉNEZ, E. Testing the ability of visual indicators of soil burn severity to reflect changes in soil chemical and microbial properties in pine forests and shrubland. **Plant Soil**, v. 369, n. 1–2, p. 73–91, 2013.

WALTER, B. H. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. 2006. 389 f. Tese. (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

WANG, Q.; ZHONG, M.; WANG, S. A meta-analysis on the response of microbial biomass, dissolved organic matter, respiration, and N mineralization in mineral soil to fire in forest ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 271, p. 91–97, 2012.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WIENHOLD, B.; KLEMMEDSON, J. O. Effect of Prescribed Fire on Nitrogen and Phosphorus in Arizona Chaparral Soil-Plant Systems. **Arid Soil Research and Rehabilitation**, v. 6, p. 285-296. 1992.

WIKARS, L.; SCHIMMEL, J. Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests. **Forest Ecology and Management**, v. 141, n. 3, p. 189-200, 2001.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, v. 28, p. 337-351, 1936.

ZHAN, G.; ERICH, M. S.; OHNO, T. Release of trace elements from wood ash by nitric acid. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 88, n. 3, p. 297–311, 1996.



UNIVATES

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09