



Quantificação do Fluxo de Carbono em Área Queimada Comparado com Área de Vegetação Nativa no P.E. Mata do Limoeiro-MG e sua Relação com a Precipitação

Yohana Thais Lemos da Silva¹; Ana Carolina Vasques Freitas² e Fernanda Maria Belotti³

¹ Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Rua Irmã Ivone Drumond, 200, Distrito Industrial II, Itabira/MG. yohana.lemos13@unifei.edu.br, ORCID: 0009-0002-0180-5874. ² Professora Dra., Instituto de Ciências Puras e Aplicadas (ICPA), Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Rua Irmã Ivone Drumond, 200, Distrito Industrial II, Itabira /MG. ana.freitas@unifei.edu.br, ORCID: 0000-0002-2633-2607. ³ Professora Dra., Instituto de Ciências Puras e Aplicadas (ICPA), Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Rua Irmã Ivone Drumond, 200, Distrito Industrial II, Itabira/MG. fernandabelotti@unifei.edu.br, ORCID: 0000-0003-3417-3738.

Artigo recebido em 02/06/2024 e aceito em 05/11/2024

RESUMO

Esta pesquisa investiga o impacto de um incêndio ocorrido em uma Unidade de Conservação nas propriedades físicas do solo e no fluxo de CO₂, bem como sua relação com a vegetação e condições meteorológicas, particularmente a precipitação. Para isso, foram coletadas três amostras de solo em quatro pontos amostrais e realizadas medições de fluxo e das condições meteorológicas após o período de estiagem e no final do período chuvoso. O local de estudo foi o Parque Estadual Mata do Limoeiro (PEML), localizado no município de Itabira em Minas Gerais. Deste modo, o objetivo principal da pesquisa foi elaborar uma análise comparativa entre uma área de vegetação queimada e uma área de vegetação nativa, correlacionando os resultados de diversos parâmetros do solo com os fluxos de carbono obtidos e sua relação com a precipitação da região. Após a realização das análises, verificou-se uma diminuição no fluxo de CO₂ diretamente ligada à umidade do solo, após o período chuvoso, nos pontos amostrais com maior solo exposto. Entretanto, dois pontos de coleta, que possuíam maior cobertura vegetal, tiveram seu valor de fluxo de CO₂ aumentado, o que foi justificado pela maior atividade microbiana no solo, sendo eles a área de transição entre a região atingida pelo fogo e a que não fora acometida, e a área com vegetação nativa não atingida pelo incêndio, sendo esta a que apresentou o maior fluxo no período chuvoso. Isto se relaciona com as características físicas do solo, uma vez que estes pontos apresentaram menor densidade e maior porosidade. Por fim, pode-se concluir que o fluxo de CO₂ no solo está relacionado às condições meteorológicas e a presença de vegetação, o que também condiciona as características do solo e vice-versa.

Palavras-chave: fluxo de CO₂; queimada; umidade do solo; atividade microbiana; precipitação.

Quantification of the carbon flux in a burned area compared to an area of native vegetation in the Mata do Limoeiro-MG E.P. and its relationship with precipitation.

ABSTRACT

This research investigates the impact of a fire in a Conservation Unit on soil physical properties and CO₂ flow, as well as its relationship with vegetation and weather conditions, particularly rainfall. To this end, three soil samples were collected at four sampling points and measurements of flow and weather conditions were taken after the dry season and at the end of the rainy season. The study site was the Mata do Limoeiro State Park (PEML), located in the municipality of Itabira in Minas Gerais. The main objective of the research was to carry out a comparative analysis between an area of burnt vegetation and an area of native vegetation, correlating the results of various soil parameters with the carbon fluxes obtained and their relationship with rainfall in the region. After carrying out the analyses, there was a decrease in CO₂ flow directly linked to soil moisture after the rainy season at the sampling points with the most exposed soil. However, two sampling points with greater vegetation cover had an increase in CO₂ flux, which was explained by the greater microbial activity in the soil. These were the transition area between the region affected by the fire and the area that had not been affected, and the area with native vegetation that had not been affected by the fire, which had the highest flux during the rainy season. This is related to the physical characteristics of the soil, since these points showed lower density and greater porosity. Finally, it can be concluded that the flow of CO₂ in the soil is related to weather conditions and the presence of vegetation, which also affects the characteristics of the soil and vice versa. Keywords: CO₂ flux; burning; soil moisture; microbial activity; precipitation.

Introdução

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação, que foi instituído pela Lei 9.985/2000 (Brasil, 2000), define Unidade de Conservação (UC) como um espaço territorial com seus recursos ambientais, que possua características naturais importantes, sendo instituído pelo Poder Público com objetivos de conservação e com garantias de proteção dentro de limites definidos legalmente.

A criação e proteção de UCs contribui efetivamente para a redução do desmatamento, auxiliando na preservação ambiental (Joppa et al., 2008; Medeiros e Young, 2011) e na garantia de provisão de serviços ecossistêmicos (Silva, Beltrão e Morales, 2021), resultando na redução da concentração de gases de efeito estufa (GEE).

Nesse sentido, a vegetação presente nos ecossistemas terrestres sequestra aproximadamente 25% das emissões antrópicas anuais de carbono e os fluxos deste elemento estão associados aos padrões de precipitação, uma vez que ecossistemas que sofrem de estresse hídrico fazem menos fotossíntese, afetando, assim, a quantidade de carbono que pode ser sequestrada (Trugman et al., 2018). Portanto, o sequestro de carbono e os recursos hídricos guardam íntima relação simbiótica.

Contudo, o sequestro de carbono pode ser comprometido tanto pelo desmatamento, quanto devido a ocorrências de incêndios florestais. Pontes-Lopes et al. (2023) encontraram, para o Estado do Pará, que os incêndios em florestas primárias, não associados ao desmatamento, anularam 54,5% das remoções por florestas secundárias nas últimas duas décadas.

Segundo Soares (1995), o fogo resulta em empobrecimento do solo, especialmente quando ocorrem incêndios de alta intensidade, que degradam quase toda a matéria orgânica do solo e a maior parte dos nutrientes; além do fato de que queimas sucessivas reduzem gradualmente o estoque de nutrientes do solo sem permitir a sua recomposição.

O impacto do fogo nos solos depende do tipo de solo, do ecossistema e das espécies atingidas, das condições topográficas da área afetada, das condições meteorológicas durante e depois da ocorrência, do histórico e da severidade do fogo na área, sendo que no caso de incêndios de alta severidade é necessário um longo tempo de

recuperação (vários anos) para que o solo registre níveis pré-fogo (Francos et al., 2018).

Devido à queima, podem surgir alterações na taxa de infiltração e evapotranspiração do solo, na sua porosidade e no incremento da sua vulnerabilidade à erosão hídrica e eólica e ademais, o solo sem proteção amplia as chances de lixiviação e percolação de nutrientes (Redin et al., 2011). Nesse sentido, a lixiviação das cinzas pela precipitação pós-incêndio promove a mobilização dos nutrientes para os cursos de água, afetando a qualidade dos recursos hídricos (Swindle et al., 2021).

Ademais, Santos et al. (1992), comentam que ocorrem alterações biológicas nos solos que passam por processo de queima. Alterações estas que, segundo o autor, decorrem do aumento na disponibilidade dos nutrientes, da alteração do pH, do aumento da fonte de carbono e da oxidação da matéria orgânica do solo. Por fim, destaca-se que a fumaça dos incêndios florestais libera gases tóxicos, ocasionando diversos problemas de saúde aos brigadistas e a população, de forma geral (Fiedler et al., 2023).

A área de estudo desta pesquisa é a Unidade de Conservação Parque Estadual Mata do Limoeiro (PEML), que foi criado pelo Governo Estadual, mediante o Decreto N° 45.566, de 22 de março de 2011 (Minas Gerais, 2011), contando atualmente com uma área de 2.056,7 hectares e tendo por composição biológica a combinação dos mosaicos de vegetação da Serra do Espinhaço e da Mata Atlântica, tornando-se uma região de transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado (Oliveira et al., 2021).

Além de uma exuberante biodiversidade, contando inclusive com espécies em risco de extinção, o PEML é muito importante também para a educação ambiental da região (Oliveira et al., 2021).

No dia 11 de setembro de 2022, um incêndio atingiu cerca de 236 hectares do parque, tendo registros de mortes de tatus, cobras, roedores, bem como perda de ninhos e ovos de pássaros que foram destruídos pelo fogo. De acordo com a gerência do PEML¹, o fogo teve início na área de pastagem coberta com braquiária ressecada, localizada no interior do parque, próximo de uma estrada vicinal que liga ao povoado de Laranjeiras. Além disso, a causa exata do incêndio ainda permanece em aberto; entretanto, sabe-se que teve origem humana.

¹ Comunicação pessoal

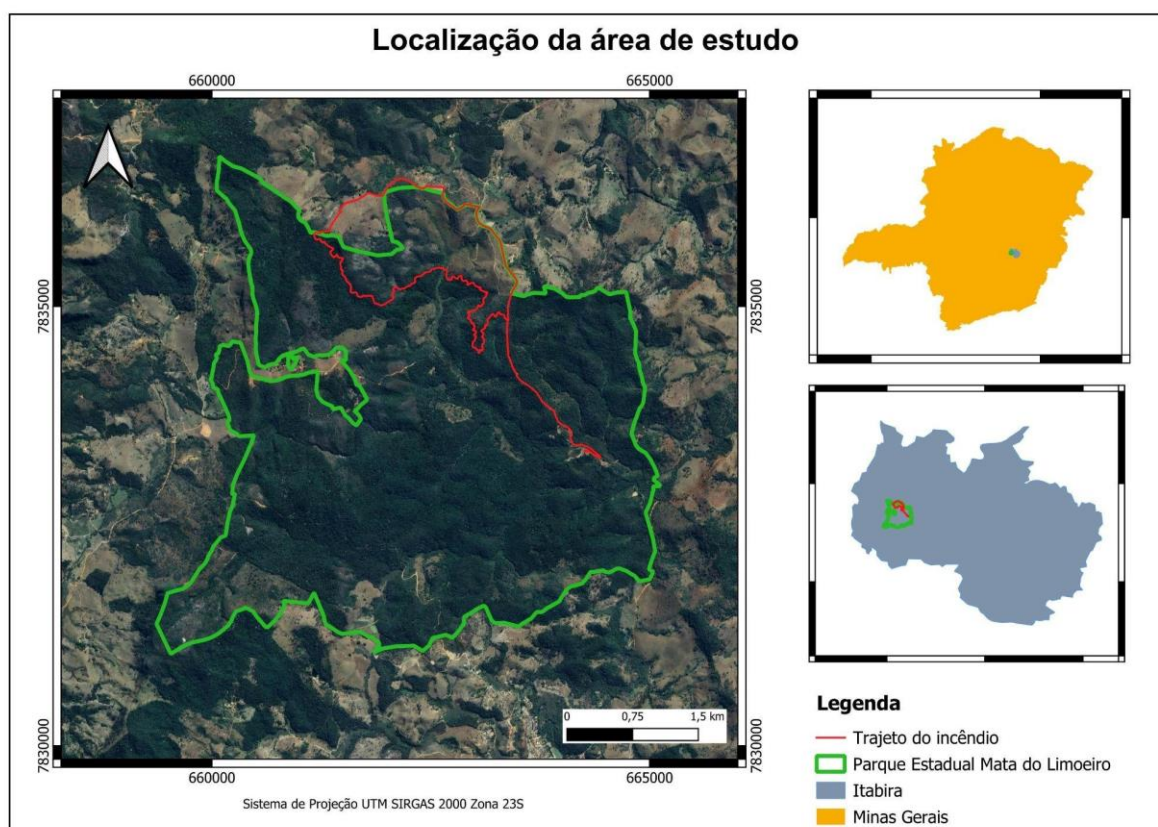


Figura 1. Localização do PEML e delimitação da área de estudo.

Em vista da proporção do incêndio e a importância da atuação na recuperação da área em todos os seus aspectos, torna-se indispensável realizar pesquisas acerca dos impactos causados por este incidente por meio de análise do solo e do fluxo de carbono.

Posto isto, este estudo pretende realizar um comparativo entre o fluxo de carbono em parte da área queimada em relação a área com vegetação nativa que não passou pelo processo de queima, além de uma área em regime de transição. Além disso, pretende-se avaliar a relação entre os fluxos de carbono e a precipitação. Espera-se que os resultados deste estudo contribuam para aprimorar o entendimento dos impactos dos incêndios florestais no solo e no fluxo de carbono e a relação destes com a precipitação.

Material e métodos

Área de Estudo

A área de estudo desta pesquisa é o Parque Estadual Mata do Limoeiro (doravante identificado como PEML), que é uma UC que se encontra na porção noroeste do município de Itabira, no distrito de Ipoema, estado de Minas Gerais, fazendo divisa com a Área de Proteção Ambiental (APA) Morro da

Pedreira e distando cerca de 7 km do Parque Nacional da Serra do Cipó (IEF, 2021).

Na localidade do parque, o clima é tropical de altitude (IEF, 2021), portanto, possui invernos frios e secos e verões quentes e úmidos. De acordo com a classificação climática de Köppen Geiger, o clima na região é do tipo Cwb, contando com temperaturas médias abaixo de 18°C no mês mais frio e acima de 22°C no mês mais quente, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

Em seguida é possível verificar o mapa de localização da área de estudo (Figura 1), bem como a área atingida pelo incêndio em 2022.

Coleta de amostras do solo

Foram coletadas 12 (doze) amostras de solo, 3 (três) amostras em cada área de amostragem selecionada previamente (Figura 2). As amostras foram coletadas em um transecto dentro da área queimada, no entorno dos pontos de medição do fluxo de carbono, sendo 3 (três) no topo (P1), 3 (três) em meia encosta (P2) e 3 (três) na base da encosta (P3). O ponto 1 apresentou cobertura de gramíneas, o ponto 2 solo exposto e o ponto 3 vegetação herbácea e arbustiva, uma vez que foi parcialmente atingido pelo incêndio. Por fim, a amostra referência foi coletada em área de mata

próxima à área afetada pelo incêndio (P4 - vegetação nativa).

As amostras de solo foram coletadas com o trado do tipo TAI (Trado para Amostra Indeformada), com o intuito de avaliar a densidade do solo, a densidade de partículas e a porosidade total do solo. A coleta foi realizada em cilindros de aço inox de 100 cm³ de volume, para preservar a estrutura do solo, e posteriormente, acondicionadas com papel filme e papel alumínio.

mineralógica (Teixeira et al., 2017). Para calcular a densidade do solo das amostras coletadas divide-se a massa (em g) das amostras secas em estufa (à 105°C) pelo volume dos cilindros (cm³) utilizados no trado para amostras indeformadas (100 cm³).

Densidade de partículas: permite medir a densidade média das partículas minerais e orgânicas na amostra, refletindo sua composição média, e é relacionada com o volume de matéria sólida da amostra, desconsiderando a porosidade

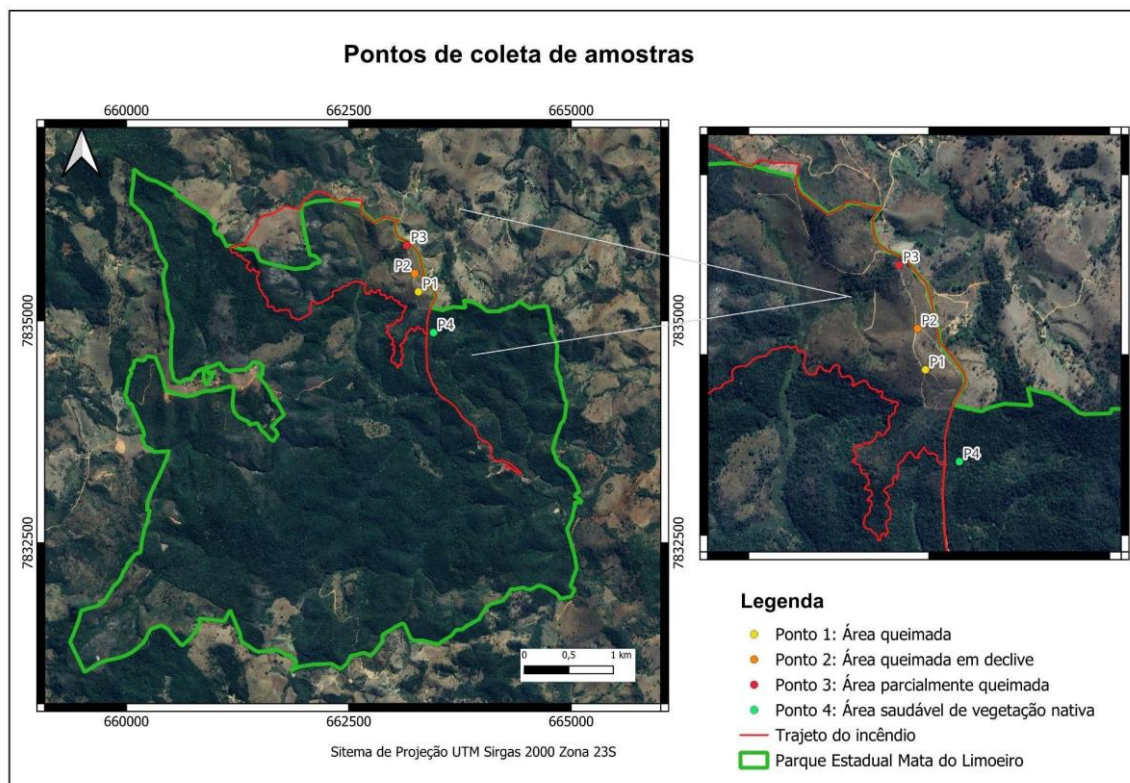


Figura 2. Pontos de coleta das amostras do estudo.

Análise das amostras de solo em laboratório

Após coletadas e acondicionadas, as amostras contidas nos cilindros de alumínio foram levadas para o laboratório de Geologia e Pedologia da Universidade Federal de Itajubá Campus Itabira (UNIFEI), onde, posteriormente, passaram por um processo de secagem de 24 horas em estufa a 105°C. Após a secagem, as amostras foram pesadas.

A seguir, são descritos os parâmetros de solo analisados, sendo que os procedimentos e fórmulas utilizadas para os cálculos, foram retirados do Manual de Métodos de Análise de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2017).

Densidade do solo: permite medir a densidade média de um volume conhecido de solo (100 cm³), a qual está diretamente relacionada com sua porosidade, composição orgânica, e

(TEIXEIRA et al., 2017). É uma propriedade importante dos solos, a partir da qual é possível calcular indiretamente a porosidade total. Para calcular a densidade de partículas, fez-se uma relação entre o peso seco das amostras utilizado no balão volumétrico (20g para cada amostra), e o volume de álcool necessário para completar os 50 ml da bureta, adicionado aos 20 ml utilizado para diluição das amostras no balão volumétrico, conforme Equação 1.

$$x / 50 - y \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

x = peso seco das amostras (20 g),

y = volume de água destilada do balão volumétrico mais o volume de água destilada usado para completar a bureta.

Porosidade total do solo: é a porcentagem de um volume total de solo que pode ser ocupado por água ou ar, sendo importante para “entender o movimento e a retenção de água, ar, solutos e minerais em um determinado solo” (Teixeira et al., 2017). A porosidade foi calculada conforme Equação 2.

$$100 (x - y) / x \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

x = valor da densidade de partículas de cada amostra;

As leituras em cada ponto amostral foram coletadas e registradas em intervalos de 15 segundos durante 20 minutos. Contudo, definiu-se um intervalo de 15 minutos para análise, de modo a obter maior homogeneidade na evolução das medidas de CO₂ no interior da câmara.

Em seguida, utilizando um modelo de regressão linear do aumento da concentração de CO₂ dentro da câmara em função do tempo, é possível determinar o fluxo (m².h⁻¹) para cada uma das amostras utilizando a Equação 3.



Figura 3. Medidor multiparâmetro.

y = valor da densidade do solo de cada amostra.

$$(CA \times V) / A \quad (\text{Equação 3})$$

Parâmetros meteorológicos

Para complementar a pesquisa e auxiliar no entendimento das condições meteorológicas no momento das coletas, foram analisados os parâmetros meteorológicos das 4 (quatro) áreas de amostragem, utilizando um medidor multiparâmetro (Figura 3) e um termômetro digital de solo (profundidade de aproximadamente 10 cm). Os parâmetros medidos foram: temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), sensação térmica (°C), temperatura do ponto de orvalho (°C), velocidade do vento (m/s), iluminação (luxímetro -lx), altitude (m) e pressão (hPa).

Por fim, dados de precipitação foram obtidos das estações pluviométricas automáticas do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (<https://mapainterativo.cemaden.gov.br/#>)). Para a região do PEML foi utilizada a estação

onde:

CA = valor do coeficiente angular do modelo de regressão linear;

V = volume da câmara = 0,012 m³;

A = área de câmara = 0,042 m².

Para obter o fluxo de CO₂ do solo em mg.m⁻².h⁻¹ o valor resultante é multiplicado por um fator de conversão igual a 17,7.

Com o objetivo de avaliar a relação entre o fluxo e a precipitação, foram feitas duas medições, uma no final do período de estiagem (18/09/2023) e outra após o período chuvoso (09/04/2024).

pluviométrica mais próxima, localizada em Ipoema, com código 313170305A.

Coleta e análise do fluxo de carbono

Os fluxos de dióxido de carbono (CO₂) foram medidos utilizando um analisador de gás por infravermelho (LICOR, LI-820) (Figura 4). Para tal,

foi utilizado o método da câmara com fluxo dinâmico (Figura 4), que é acoplada ao analisador e uma bomba de ar, com vazão máxima de $0,8 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, e é utilizada para coleta e condução do ar até o analisador. A câmara é opaca e possui altura de 0,295 m e diâmetro de 0,230m.

crítica dos solos ocorre no intervalo entre 1,30 a $1,80 \text{ g/cm}^3$ (Pereira et al. 2016), os valores de densidade encontrados estão abaixo do limite para a restrição de crescimento de raízes.

Nesse sentido, entre os fatores que podem influenciar na densidade, destacam-se “o material



Figura 4. Câmara com fluxo dinâmico e analisador de gás por infravermelho (LICOR, LI-820).

Resultados e Discussão

Análise dos parâmetros de solo e meteorológicos

Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentados os resultados das 3 (três) análises dos parâmetros físicos do solo nas 4 (quatro) áreas amostrais, bem como a média das mesmas. As amostras de solo foram obtidas na primeira coleta de campo, no final do período de estiagem.

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os parâmetros meteorológicos em todas as áreas amostrais nas duas análises de campo realizadas.

Analizando os valores encontrados para a densidade do solo (Tabela 1), foi possível observar que a área de vegetação nativa (ponto 4) possui o menor valor de densidade (média de $0,72 \text{ g/cm}^3$), indicando uma maior aeração e menor compactação do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados para o ponto 3, localizado na base da encosta, em área parcialmente atingida pelo incêndio, com valor médio de $0,74 \text{ g/cm}^3$. O maior valor de densidade foi encontrado no ponto 2, localizado na meia encosta, com média de $0,97 \text{ g/cm}^3$ e caracterizado por solo exposto. Considerando que a densidade

constituinte do solo, os sistemas de usos e o tipo de cobertura vegetal” (Mantovanelli et al. 2015, p. 125). Assim, a variação dos valores está diretamente relacionada ao tipo de vegetação existente nos pontos amostrais e à sua posição na topografia.

Com relação à densidade de partículas, de acordo com Araújo Filho, Silva e Marques (2022), em condições típicas, os solos minerais possuem uma densidade de partículas que varia entre 2,3 e $2,9 \text{ g/cm}^3$, com uma média aproximada de $2,65 \text{ g/cm}^3$, devido à mineralogia predominante, que inclui quartzo, feldspatos e silicatos de alumínio.

Assim, considerando os valores médios encontrados neste estudo, de 1,96 a $2,08 \text{ g/cm}^3$ (Tabela 2), os dados encontram-se abaixo dos valores indicados na literatura, que são estimados em função de uma média da composição mineralógica dos solos. Assim, valores maiores indicam a presença de minerais mais densos, enquanto valores menores indicam composição mineralógica de menor densidade, podendo também estar associada à presença de matéria orgânica.

Tabela 1. Resultados das análises de densidade do solo para as áreas amostrais.

Densidade do solo (g/cm ³)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média das amostras
<i>Ponto 1</i>	0,85	0,78	0,84	0,84
<i>Ponto 2</i>	0,94	0,97	0,98	0,97
<i>Ponto 3</i>	0,74	0,65	0,86	0,74
<i>Ponto 4 (Mata nativa)</i>	0,63	0,72	0,82	0,72

Tabela 2. Resultados das análises de densidade de partículas do solo para as áreas amostrais.

Densidade das partículas (g/cm ³)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média das amostras
<i>Ponto 1</i>	1,96	1,87	1,96	1,96
<i>Ponto 2</i>	1,94	2,00	2,11	2,00
<i>Ponto 3</i>	2,04	1,89	2,06	2,04
<i>Ponto 4 (Mata nativa)</i>	2,27	2,02	2,08	2,08

Tabela 3. Resultados das análises de porosidade total do solo para as áreas amostrais.

Porosidade total (%)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média das amostras
<i>Ponto 1</i>	56,76	58,41	57,09	57,09
<i>Ponto 2</i>	51,41	54,44	53,66	53,66
<i>Ponto 3</i>	63,61	65,28	58,20	63,61
<i>Ponto 4 (Mata nativa)</i>	72,22	64,21	60,65	64,21

Tabela 4. Parâmetros meteorológicos das áreas amostradas na 1ª coleta (18/09/2023).

Parâmetros Físicos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4 (Mata nativa)
<i>Temperatura do Ar</i>	32,6° C	32°C	30,4°C	31,6°C
<i>Umidade Relativa</i>	45,9 %	43,5 %	50,5 %	49,9 %
<i>Temp. Ponto de Orvalho</i>	18,5° C	17,7°C	17,1°C	18,5°C
<i>Luxímetro</i>	54612,0 lux	54612,0 lux	14996,0 lux	1167,0 lux
<i>Altitude</i>	694 m	668 m	627 m	668,5 m
<i>Pressão</i>	935,1 hPa	937,7 hPa	942,6 hPa	937,2 hPa

Tabela 5. Parâmetros meteorológicos das áreas amostradas na 2ª coleta (09/04/2024).

Parâmetros Físicos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4 (Mata nativa)
<i>Temperatura do Ar</i>	31,2° C	35,1°C	34,4°C	32,1°C
<i>Umidade Relativa</i>	65 %	53,1 %	55,3 %	59,3 %
<i>Temp. Ponto de Orvalho</i>	22,4° C	21,2°C	22,7°C	22,3°C v
<i>Luxímetro</i>	54612,0 lux	54612,0 lux	9478,0 lux	1780,0 lux
<i>Altitude</i>	694 m	668 m	627 m	668,5 m
<i>Pressão</i>	930,9 hPa	933,8 hPa	938,3 hPa	934,4 hPa

Com relação à porosidade total do solo (Tabela 3), a média das amostras variou de 53% no ponto 2 (área de meia encosta com solo exposto), a 64% no ponto 4 (área de mata). Considerando que, de maneira geral, em relação à porosidade total, um solo ideal deve apresentar 50% do seu volume total como espaço poroso, os dados encontrados indicam que todos os pontos analisados apresentam boas condições de porosidade e, portanto, de aeração, sem limitações ao crescimento e desenvolvimento de espécies vegetais.

De acordo com Redin et al. (2011), o fogo pode causar diminuição do volume de macroporos, do tamanho de agregados, da taxa de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, afetar sua umidade, aumentando a resistência à penetração de raízes e a densidade do solo. Entretanto, em relação aos parâmetros físicos das amostras analisadas, os resultados indicaram que o incêndio ocorrido na área de estudo não alterou de forma significativa os atributos físicos do solo, embora tenha impactado significativamente a vegetação na área.

Em relação aos parâmetros físicos do ponto 3, pode-se mencionar que, devido esta ser uma área de transição, seus valores de densidade do solo e porosidade total do solo foram intermediários, uma vez que esse ponto na área amostral possuía uma cobertura vegetal média com presença de vegetação gramínea e pequenos arbustos, sendo menor que no ponto 4 (haja vista que este não sofreu com o fogo e, portanto, apresenta vegetação mais densa), mas maior do que nos pontos 1 e 2, onde o solo era mais exposto, como mencionado anteriormente. Além disso, como o ponto 3 se localiza na parte baixa da área de amostragem (menor altitude, conforme Tabelas 3 e 4), isso propicia maior acúmulo de matéria orgânica e atividade microbiológica do que nos pontos 1 e 2, com maior altitude, promovendo maior aeração do solo.

Nesse sentido, segundo Liu et al. (2020), a topografia é responsável por controlar o recebimento e a redistribuição de luz, calor, água e sedimentos sobre a superfície terrestre, o que induz a erosão do solo e o armazenamento de água. Assim, de acordo com o autor, a topografia afeta as propriedades físico-químicas do solo e inclusive as atividades microbianas, conforme mencionado anteriormente.

Em relação aos parâmetros meteorológicos das áreas amostrais (Tabelas 4 e 5), pode-se observar que, em ambas as coletas, a área de vegetação nativa (ponto 4) possui uma menor incidência de luz (luxímetro), devido a possuir uma

mata mais densa e fechada, além de temperaturas do ar e do ponto de orvalho mais baixas.

Esse resultado se dá devido à presença da vegetação nativa, que proporciona uma cobertura do solo, auxiliando na diminuição da sua temperatura, resultado que pode ser visto em outros estudos sobre a cobertura vegetal e a influência na temperatura do solo, como em Resende et al. (2005).

A pressão atmosférica é menor em altitudes mais altas e, por isso, observa-se menor pressão no ponto 1 (Tabelas 4 e 5) e maior no ponto 3, devido à sua menor altitude.

Pode-se notar a relação inversamente proporcional entre a umidade relativa e a temperatura do ar (Tabelas 3 e 4), ou seja, a área com maior temperatura do ar apresentou a menor umidade relativa, como é esperado, visto que a quantidade de vapor d'água na atmosfera sofre influência da temperatura. Além disso, destaca-se que, em todos os pontos, os valores de umidade do ar foram maiores na segunda coleta após o período chuvoso, conforme esperado (Tabelas 4 e 5).

Por fim, a Figura 5 mostra o acumulado de chuva de 01 de abril de 2023 até 09 de abril de 2024 (data da segunda coleta). Pode-se notar que do dia 01 de abril até a data da primeira coleta, ocorreu um acumulado de chuva de 128,2 mm em 171 dias. Já, imediatamente após a segunda coleta, o acumulado foi de 972,4 mm em 203 dias, sendo que o mês de janeiro de 2024 foi o que teve o maior acumulado com 403,6 mm. Pode-se verificar uma diminuição significativa no fluxo de CO₂ nos pontos 1 e 2 após o período chuvoso (Tabela 6), uma vez que quando a umidade está muito baixa, há redução na emissão de CO₂. Ressalta-se que os pontos 1 e 2 são caracterizados pela presença de gramíneas e solo exposto, respectivamente, o que favorece a evaporação da água do solo e a conseqüente redução da sua umidade. Por outro lado, os valores nos pontos 3 e 4 apresentaram um aumento (Tabela 6), uma vez que a vegetação mais densa ajuda a reter a umidade no solo.

A umidade do solo é um fator limitante para a atividade microbiana, sendo que no período chuvoso esta atividade aumenta e pode provocar o deslocamento e a remoção do CO₂ do interior do solo para a atmosfera devido a infiltração da água no perfil do solo (La Scala Júnior et al., 2009), aumentando o fluxo de CO₂.

Portanto, os pontos 3 (área de transição) e 4 (área com vegetação nativa), que possuem maior vegetação e, portanto, maior atividade microbiana,

apresentaram um aumento do fluxo de CO₂. Nesse sentido, o ponto 4 apresentou um fluxo significativamente maior após o período chuvoso

do que o ponto 3, por ter uma camada expressiva de serapilheira e devido ao fato de que os incêndios ocasionam a perda de espécies na biota do solo

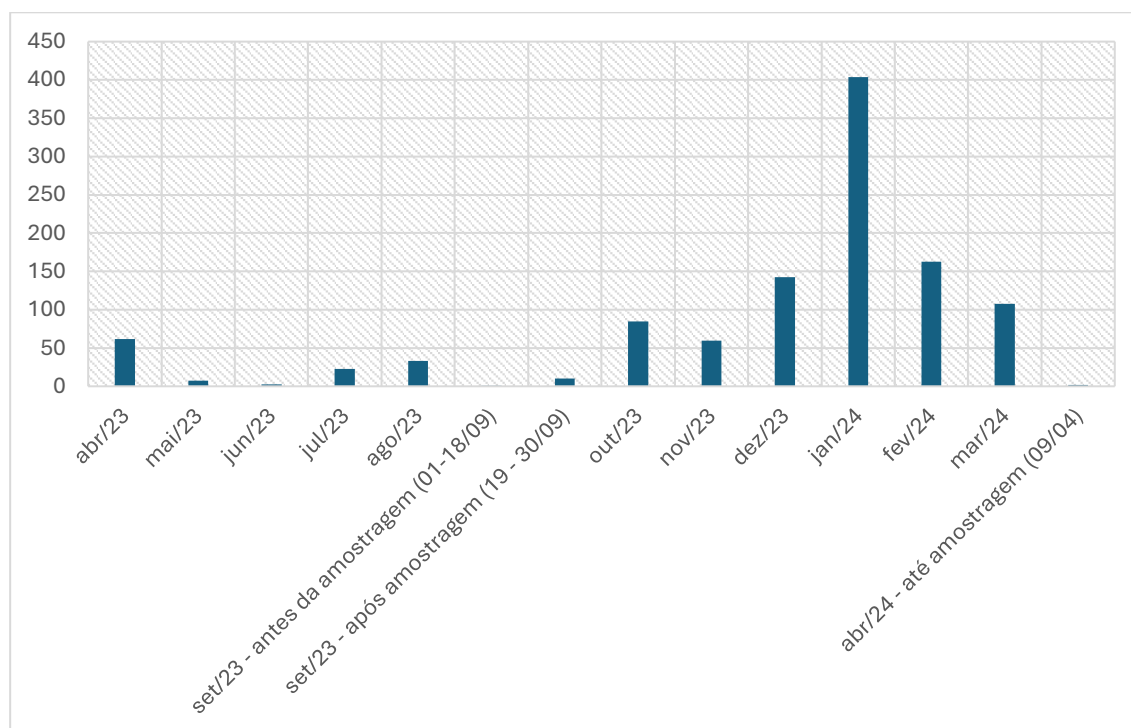


Figura 5. Acumulado de chuva (mm/mês) em Ipoema no período das coletas, bem como no período anterior e posterior.

Análise dos resultados do fluxo de CO₂

Na Tabela 6 é possível analisar os resultados obtidos nas medições do fluxo de CO₂ para as áreas amostradas.

Tabela 6. Fluxo de CO₂ para os pontos de coleta das amostras.

Pontos amostrais	1° Coleta	2° Coleta
<i>Ponto 1</i>	55,14	14,30
<i>Ponto 2</i>	69,11	38,91
<i>Ponto 3</i>	26,67	31,34
<i>Ponto 4 (Mata nativa)</i>	16,65	40,27

(Neary et al., 1999), o que deve ter ocorrido no ponto 3. Da mesma forma, os pontos 1 e 2 apresentaram um fluxo bastante expressivo no período seco, indicando pouco sequestro de carbono, e uma redução após o período chuvoso, especialmente no ponto 1, que é o que tem maior solo exposto e pode ter sofrido maior perda da biota do solo no incêndio.

Conclusão

Esta pesquisa permitiu inter-relacionar as características do solo, vegetação e condições meteorológicas com o fluxo de CO₂ de parte de uma Unidade de Conservação atingida por um incêndio, comparativamente a uma área de vegetação nativa.

Com base nos parâmetros físicos do solo na área atingida pelo incêndio no Parque Estadual Mata do Limoeiro, foi possível concluir que o fogo não alterou significativamente os parâmetros físicos do solo da área amostral. Tal afirmação se justifica pelo fato dos valores de densidade do solo, porosidade total e densidade de partículas, obtidos na área queimada, possuírem uma diferença pequena se comparado com a área de vegetação nativa.

Contudo, com base na verificação do fluxo de CO₂ no solo da região amostral, pode-se perceber um impacto significativo do incêndio na atividade microbiológica, a qual também está associada a precipitação, que interfere na umidade do solo. Uma vez que, a primeira coleta de amostras foi realizada em período seco, foi possível observar valores mais altos no fluxo de CO₂ nas áreas amostrais totalmente atingidas pelo fogo e com solo mais degradado; em contrapartida, no período chuvoso foi observado uma diminuição no fluxo nessas mesmas áreas.

Já nas áreas de transição e de vegetação nativa houve um aumento na taxa do fluxo de CO₂ na segunda coleta em comparação com a primeira. Isso se justifica pelo fato do aumento da umidade do solo, graças a precipitação, que favorece uma maior atividade microbiana do solo nesses pontos amostrais, o que também se relaciona com as características físicas do solo, uma vez que estes pontos apresentaram menor densidade e maior porosidade.

Por fim, pode-se concluir que o fluxo de CO₂ no solo está relacionado às condições meteorológicas e a presença de vegetação, o que também condiciona as características do solo e vice-versa.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), aos professores Dr. Gláucio Marcelino Marques da Unifei e Dr. Nicolás Misailidis Stríkis do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP), aos funcionários do Parque Estadual Mata do Limoeiro e ao doutorando Matheus Simões Santos por todo o auxílio em campo, ao gerente do parque, Alex Luiz Amaral Oliveira pelo fornecimento de dados e materiais para a realização deste trabalho.

Referências

- Araújo Filho, J.C.de, Silva, C.B. da, Marques, F.A., 2022. Solos. In: Pfaltzfraff, P.A. dos, Torres, F.S.de M., Costa, M.R. da (Orgs.), Caracterização do meio físico na pesquisa da geodiversidade da região metropolitana do Recife. Recife: CPRM, cap. 12, pp. 108-120.
- Alencar, A., Nepstad, D., McGrath, D., Moutinho, P., Pacheco, P., Diaz, M., 2004. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. Estudos Avançados, 18, 79-92. Disponível: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v18n50/v18n50a07.p df>. Acesso: 04 abr 2023.
- Brasil. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Seção 1, p. 1. Acesso: 22 jun. 2024.
- Climate-Data.org. (s.d.). Clima: Ipoema (Distrito de Itabira). Disponível: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/ipoema-distrito-de-itabira-996512/>. Acesso: 11 mai 2023
- Fearnside, P.M. et al., 2013. Emissões de Gases de Efeito Estufa do Desmatamento e dos Incêndios Florestais na Amazônia Brasileira. Acta Amazonica, 43, 25-38.
- Fiedler, N.C., Ramalho, A.H.C, Falcão, R.S., Menezes, R.A.S., Biazatti, L.D., 2023. Emissão de gases tóxicos em incêndios florestais. Ciência Florestal, Santa Maria, 33, e62965, 1-18.
- Francos, M., Úbeda, X., Pereira, P., Alcañiz, M., 2018. Long-term impact of wildfire on soils exposed to different fire severities. A case study in Cadiretes Massif (NE Iberian Peninsula). Science of The Total Environment, 615, 664-671.
- G1 Minas Gerais. Bombeiros combatem incêndios no Parque Estadual Mata do Limoeiro e na Serra

- da Piedade. G1 Globo, Belo Horizonte, 2022. Disponível: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2022/09/14/bombeiros-combatem-incendios-no-parque-estadual-mata-do-limoeiro-e-na-serra-da-piedade.ghtml>. Acesso: 07 abr 2023.
- Galdino, X. et al., 2014. Avaliação dos impactos das queimadas na Amazônia legal. In: Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Amapá, Macapá. Embrapa Amapá. Disponível: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/975967/1/ALIRIO11361526452PB.pdf>. Acesso: 07 abr 2023.
- Gomes, M.P. et al., 2021. Atributos físicos do solo sob diferentes usos em áreas de floresta Atlântica. *Ciência Florestal*, 31, 1055-1066.
- IEF - Instituto Estadual de Florestas (s.d.). Parque Estadual. Disponível: <http://www.ief.mg.gov.br/parque-estadual/1410>. Acesso: 07 abr 2023.
- Locatelli, M., Toledo, P.M., 2017. Compactação do solo. In: *Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer*, 13, 24, 2263-2278. Disponível: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/157350/1/compactacao-EnciclopediaBiosferaLOCATELLI.pdf>. Acesso: 27 jun. 2024.
- Mata do Limoeiro (s.d.). O Parque. Disponível: <https://matadolimoeiro.com.br/site/o-parque/>. Acesso: 05 abr 2023.
- Mantovanelli, et al., 2015. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. *Revista de Ciências Agrárias*. Disponível: <https://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/1822/631>. Acesso: 03 dez. 2023.
- Minas Gerais. Decreto nº 45.566 de 22 de março de 2011. Cria o Parque Estadual Mata do Limoeiro, localizado no Município de Itabira, e dá outras providências. *Diário Oficial de Minas Gerais*. Belo Horizonte, MG, 22 de março de 2011. Disponível: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=16514>. Acesso: 11 mai. 2023.
- Neary, G.D., Klopatek, C.C., Debano, L.F., Ffolliott, P.F., 1999. Fire Effects on Belowground Sustainability: A review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122, 51-71.
- Oliveira, A, Carvalho, F, Oliveira, F, Júnior, A, Moreira, S., 2021. Inovação em educação ambiental: um estudo de caso sobre a trilha dos sentidos do parque estadual mata do limoeiro. *Revbea*, São Paulo, 16, 3, 429-438.
- Liu, Y et al., 2020. A topografia afeta as condições do solo e as comunidades bacterianas ao longo de um gradiente de restauração em Loess-Plateau. *Ecologia Aplicada do Solo*, 150, 103471.
- Pontes-Lopes et al., 2023. Emissões por incêndios florestais anulam mais da metade do sequestro de carbono pelas florestas secundárias no estado do Pará. *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Disponível: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2023/05/07.22.34/doc/156405.pdf>. Acesso: 25 jun. 2024.
- Redin, M., Santos, G. de F. dos, Miguel, P., Denega, G.L.; Lupatini, M., Doneda, A., Souza, E. L., 2011. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 21, 2, 381-392.
- Resende, F.V., Souza, L.S. de O., P.S.R. de Gualberto, R. 2005. Uso de cobertura morta vegetal no controle da umidade e temperatura do solo, na incidência de plantas invasoras e na produção da cenoura em cultivo de verão. *Ciência e Agrotecnologia*. 29, 1, 100-105.
- Silva, M.; Beltrão, N.; Morales, G., 2021. Avaliação e mapeamento dos serviços ecossistêmicos ofertados pela Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo, Pará, Brasil. *Geosul*, Florianópolis, 36, 78, 516-536.
- Swindle, C., Shankin-Clarke, P., Meyerhof, M., Carlson, J., Melack, J., 2021. Effects of Wildfires and Ash Leaching on Stream Chemistry in the Santa Ynez Mountains of Southern California. *Water*, 13, 2402.
- Trevizan, A.F.; Oliveira, F.A.H.D. de., 2022. Unidades de Conservação como instrumentos de mitigação às alterações climáticas em Mato Grosso. *Boletim de Geografia*, 39, 254-264, e59419.
- Vila de Utopia. Parque do Limoeiro arde em chamas com mortes de animais silvestres e destruição de mata nativa: "Nunca vi tanta destruição", relata gerente. Vila de Utopia, 2022. Disponível: <https://viladeutopia.com.br/parque-do-limoeiro-arde-em-chamas-com-mortes-de-animais-silvestres-destruicao-de-mata-nativa-nunca-vi-tanta-destruicao-relata-gerente/>. Acesso: 07 abr 2023.