

INFLUÊNCIA DAS CINZAS NO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DO SOLO PÓS-QUEIMADA

Paulo Angelo Fachin¹

Edivaldo Lopes Thomaz²

Yasmmmin Tadeu Costa³

INTRODUÇÃO

O fogo é um fenômeno natural que afeta os ciclos biogeoquímicos e os processos superficiais do solo (DEBANO et al., 1998; SHAKESBY; DOERR, 2006). Ele altera propriedades físico-químicas do solo (CERTINI, 2005; INBAR et al., 2014; AGBESHIE et al., 2022), a resposta hidrogeomorfológica (VIEIRA et al., 2015; PARHIZKAR; CERDÀ, 2023), os microrganismos do solo (NEARY et al., 1999; BARREIRO; DÍAZ-RAVIÑA, 2021), e a estabilidade dos agregados do solo (MATAIX-SOLERA et al., 2011; THOMAZ, 2021). As cinzas resultantes dos incêndios influenciam a hidrologia da camada superficial do solo, afetando características como hidrofobicidade (BODÍ et al., 2014), retenção e infiltração de água (STOOF et al., 2010; LEÓN et al., 2015), formação de crostas (ONDA et al., 2008) e proteção contra respingos de chuva (CERDÀ; DOERR, 2008; KEESSTRA et al., 2014). A composição e características das cinzas variam com

fatores como a gravidade do incêndio, enquanto as cinzas pretas geralmente indicam baixa intensidade de fogo e são hidrofóbicas, as cinzas brancas e cinzas indicam intensidade de fogo moderada a alta e são hidrofílicas (STOOF et al., 2010; BODÍ et al., 2011; PEREIRA et al., 2019). As cinzas também são móveis, e podem ser deslocadas por chuvas e vento (BODÍ et al., 2014; PEREIRA et al., 2015).

Na agricultura de corte e queima, a mistura de biomassa produz cinzas de cores variadas e efeitos hidrológicos diversos (THOMAZ et al., 2014). Agricultura de corte e queima em regiões tropicais apresentam variações na intensidade do fogo, composição do solo, e outros fatores, resultando em diferentes tipos e volumes de cinzas (SERRANI et al., 2022; ARUNRAT et al., 2022).

¹Professor do Departamento de Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ - Cabo Frio. paulo.fachin@uerj.br

²Professor do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Guarapuava – PR. edilopes.thomaz@gmail.com

³Professora do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Guarapuava – PR. yasmmintadeucosta@gmail.com

Eventos meteorológicos pós-queima, como chuvas e ventos, também influenciam a persistência e impacto das cinzas na hidrologia do solo. Para entender o efeito das cinzas na hidrologia, são recomendados experimentos controlados (MOODY et al., 2013). Aqui, em monitoramento de campo realizado em um sistema agrícola de corte e queima pós-fogo, foram avaliados o efeito das cinzas no escoamento e erosão do solo e o papel da declividade. O estudo foi conduzido em parcelas com cinzas de diferentes cores e precipitação natural, objetivando compreender a relação cinza e perda de solo e água pós-fogo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Sistema Faxinal, na comunidade rural de Tijuco Preto (Prudentópolis, sul do Brasil; 25°23'46,6"S, 51°6'21,7"W). Uma propriedade típica com agricultura de corte e queima para cultivo de milho e feijão preto foi escolhida para avaliar perdas de água no solo. O pousio pós-queima dura 7–8 anos e raramente é inferior a 5 anos. O milho e o feijão são cultivados na Primavera e no Verão até o início do Outono (Setembro a Fevereiro-Março). O corte e queima aplicados na área utilizam tecnologia mínima; trabalho manual e enxadas são usados, sem insumo extra durante o cultivo. A inclinação convexo-côncava varia de 10% a 20%, com elevação média de 820 metros de altitude, e o solo é o Cambissolos Háplicos (horizonte A, 5 YR 3/3 Castanho avermelhado escuro).

O clima é Cfb (temperado oceânico; temperado quente, totalmente úmido, verão quente) com temperaturas médias de <math><18^{\circ}\text{C}</math> no mês mais frio e de <math><22^{\circ}\text{C}</math> no mês mais quente, sem estação seca. A precipitação média anual é de 1600–1800 mm, a evapotranspiração é de 900–1000 mm e a temperatura média anual é de 16°C–18°C (NITSCHKE et al., 2019).

Delineamento Experimental e Medições Auxiliares para Caracterização da Cobertura Superficial do Solo em Incêndio e Pós-Incêndio

Uma parcela de aproximadamente 0,8 ha (~75 m × 110 m) em pousio foi cortada, seca e queimada segundo as práticas locais. A biomassa aérea da parcela (61,8 ± 22,8 t ha⁻¹) foi estimada por seis pontos de 1 m² selecionados aleatoriamente (THOMAZ et al., 2014). Medidas de temperatura do incêndio e profundidade da

camada de cinzas pós-incêndio foram realizadas em toda a área de estudo, incluindo parcelas de erosão.

A temperatura do solo foi medida com 12 termopares e dataloggers que registravam por segundo. Quatro trincheiras foram usadas para medir a temperatura do solo em profundidades de 0 cm, 2,5 cm e 5 cm. As temperaturas médias durante o incêndio foram: 0 cm, $455^{\circ}\text{C} \pm 111^{\circ}\text{C}$; 2,5 cm, $51^{\circ}\text{C} \pm 18^{\circ}\text{C}$; e 5 cm, $48^{\circ}\text{C} \pm 22^{\circ}\text{C}$ (THOMAZ et al., 2014). Estas medições ajudam a estimar a temperatura média do incêndio e o aquecimento do solo.

A área de estudo foi dividida em cinco transectos para determinar a profundidade da camada de cinzas, que variava de 0,7 cm a 3,5 cm, com média de $1,8 \pm 0,65$ cm ($n = 56$). O acúmulo de cinzas foi de $0,73 \pm 0,28$ kg m⁻² ($n = 28$). Outros efeitos do fogo nas propriedades físico-químicas do solo são detalhados em estudos adicionais (THOMAZ et al., 2014; FACHIN et al., 2024).

A perda de solo e o escoamento de água foram coletados em doze microparcelsas de erosão de 1 m² (0,5 m de largura x 2 m de comprimento), por serem úteis para avaliações de curto prazo (LAL, 1994). As parcelas foram dispostas em pares em dois blocos aleatórios em encostas de 6° ou 11° (2 encostas x 2 tratamentos x 3 repetições). As cinzas foram deixadas em uma parcela de cada par ("Cinza") e removidas da outra ("Cinza-R") com um pincel (WOODS; BALFOUR, 2008).

Amostras de sedimentos e água foram coletadas com base em eventos diários, utilizando uma calha de sedimentos Gerlach conectada a um tambor de 50 L. Esses procedimentos permitiram coletar escoamento superficial e perda de solo. O solo retido foi seco e pesado. O escoamento considerou a concentração de sedimentos e a água que sai da parcela. Três pluviômetros manuais foram instalados para medir a precipitação. Quinze amostras de sedimentos e escoamento superficial foram coletadas de dezembro a julho. O material grosso (cinzas, galhos, folhas, cascas e carvão) foi removido das amostras por coleta e flotação para evitar efeitos no peso dos sedimentos.

Análise de Dados

A análise de variância bidirecional (Teste-F) comparou os valores médios de perda de solo e escoamento superficial em parcelas de erosão com diferentes inclinações (6° e 11°) e condições de cinza (com ou sem). As diferenças entre médias foram analisadas com o teste de Tukey ($P < 0,05$). Testes não paramétricos (teste U de Mann-Whitney) foram usados para comparar medianas independentes quando necessário.

Também foi realizada uma correlação de Pearson para avaliar a relação entre cinzas, precipitação, escoamento superficial e perda de solo (WATTS; HALLIWELL, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características da precipitação

Durante o período de medição, 15 eventos de precipitação totalizaram 776 mm. Os eventos de precipitação variaram de leves (5 mm) e médios (25 mm) a fortes (70 mm). A precipitação registada durante o estudo estava de acordo com o clima regional, embora a precipitação média em Janeiro (82 mm), Fevereiro (42 mm) e particularmente Março tenha ficado abaixo da média. De dezembro a fevereiro foram medidos 151 mm de precipitação, ou 19,5% do total pluviométrico de todo o período de estudo. Em contrapartida, a precipitação de abril a julho foi de 625 mm, correspondendo a 80,5% do total pluviométrico. A maior parte da perda de solo (58%) e escoamento superficial ocorreu nos meses de junho e julho, após a colheita do milho.

Efeitos do declive e da cobertura de cinzas no escoamento superficial e na perda de solo

Não houve diferenças na perda de solo e escoamento superficial entre as parcelas Cinza e Cinza-R ($P > 0,05$) ou entre as duas condições de declive ($P > 0,05$). A menor perda de solo registrada (110 g m^{-2}) ocorreu em uma parcela Cinza-R com inclinação de 6° , e a maior perda de solo ($1278,8 \text{ g m}^{-2}$) ocorreu no mesmo bloco em uma parcela Cinza-R com a mesma inclinação (Tabela 1). Parcelas com declive de 11° perderam em média 79% menos solo ($258,7 \text{ g.m}^{-2}$) do que aquelas com declive de 6° ($463,0 \text{ g.m}^{-2}$).

A perda média combinada de solo das 12 parcelas foi de $360,8 \pm 350,5 \text{ g.m}^{-2}$ (Tabela 1). Dezembro e janeiro receberam 14% (109 mm) de chuva; entretanto, 23% da perda de solo ocorreu nestes meses, principalmente janeiro. Além disso, a maior parte das cinzas foi removida pelo escoamento superficial durante estes meses (~40%). As parcelas Cinza responderam por cerca de 40% do peso amostral total no início do estudo, diminuindo para aproximadamente 12% do peso amostral no final do estudo em julho.

Tabela 1. Perda de solo e escoamento superficial de três parcelas de acordo com declividade e tratamento (Cinzas e Cinzas Removidas).

Parcela	Perda de solo (g m ⁻²) (declive 6°)		Perda de solo (g m ⁻²) (declive 11°)		Escoamento (L m ⁻²) (declive 6°)		Escoamento (L m ⁻²) (declive 11°)	
	Cinza removida		Cinza removida		Cinza removida		Cinza removida	
	Cinza	removida	Cinza	removida	Cinza	removida	Cinza	removida
1	191.7	396.6	146.4	142.2	37	35	21	30
2	120.3	111.0	285.3	142.2	16	16	50	14
3	679.6	1278.8	190.9	645.3	96	107	21	37
Média	330.5ns	595.5ns	207.5ns	309.9ns	50ns	53ns	31ns	27ns
Desvio padrão	304.4	608.8	70.9	290.5	42	48	17	12

Note: ns – sem diferença estatística.

O escoamento superficial apresentou o mesmo comportamento da perda de solo e variou de 14 L.m⁻² (declive de 11°, parcelas Cinza-R) a 107 L.m⁻² (declive de 6°, parcelas Cinza-R). As parcelas localizadas na encosta 11° perderam 73% menos água (29 ± 14 L.m⁻²) do que aquelas localizadas na encosta 6° (51 ± 40 L.m⁻²) (P > 0,05). O escoamento médio para as 12 parcelas foi de 40 ± 27 L.m⁻² (Tabela 1). O maior escoamento superficial ocorreu nos meses de junho e julho (59,4%), quando foi medido 46% do total de chuvas (Tabela 1).

A Figura 1 apresenta a evolução da perda de solo e água de acordo com a presença ou ausência de cinzas (Cinza ou Cinza-R) nas parcelas. Aqui, foi testado se a perda de solo e água diferia no início do monitoramento. O padrão de perda de solo foi semelhante em ambas as encostas (6° e 11°), mas as parcelas tenderam a se diferenciar no final da medição. Além disso, independentemente da condição de cobertura das cinzas, o padrão de escoamento superficial foi mais semelhante em ambas as encostas (6° e 11°). Portanto, não há evidências de que a cobertura de cinzas tenha protegido o solo contra perdas, aumentando a infiltração e reduzindo o escoamento.

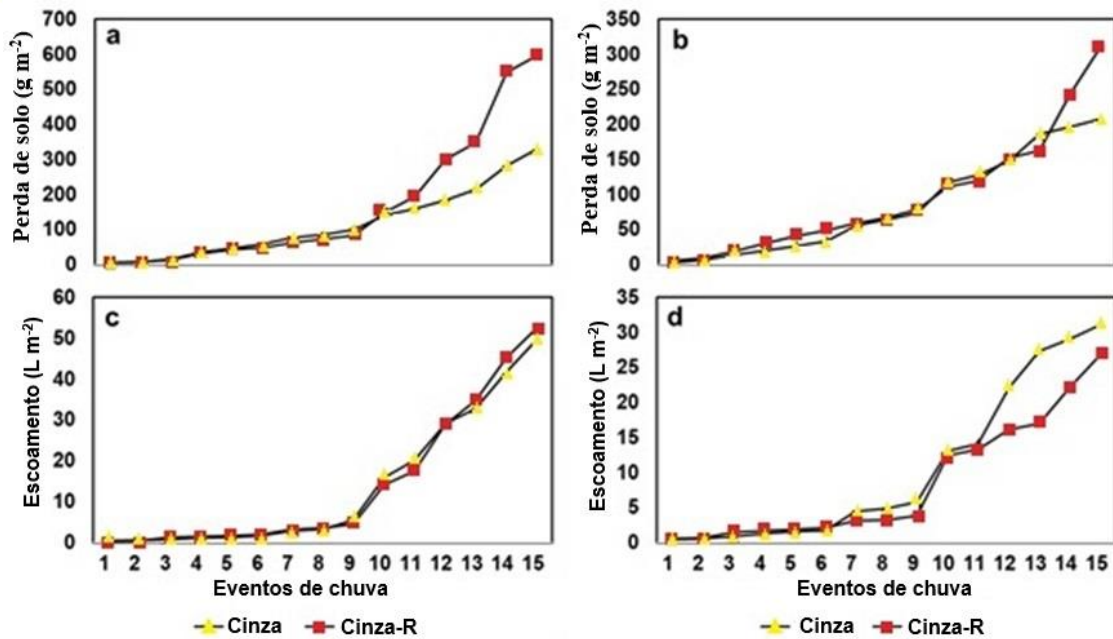


Figura 1. Evolução da perda acumulada de solo nas parcelas com declividade de 6° e 11° (a e b) e escoamento superficial nas parcelas com declividade de 6° e 11° (c e d) (n = 15).

A inclinação não teve efeito significativo. A Figura 2 mostra que a perda de solo e o escoamento superficial variaram conforme a cobertura do solo. Em geral, a perda de solo teve menos variabilidade do que o escoamento, especialmente nas parcelas cobertas por cinzas. A mediana da perda de solo em ambos os tratamentos foi semelhante para as parcelas Cinza e Cinza-R, com valores de 10,81 g.m⁻² e 10,79 g.m⁻², respectivamente - embora as parcelas Cinza-R tenham exibido a maior amplitude. Da mesma forma, o coeficiente de escoamento superficial em ambos os tratamentos foi quase igual para as parcelas Cinza e Cinza-R, com valores de 3,14% e 3,39%, respectivamente (Figura 2).

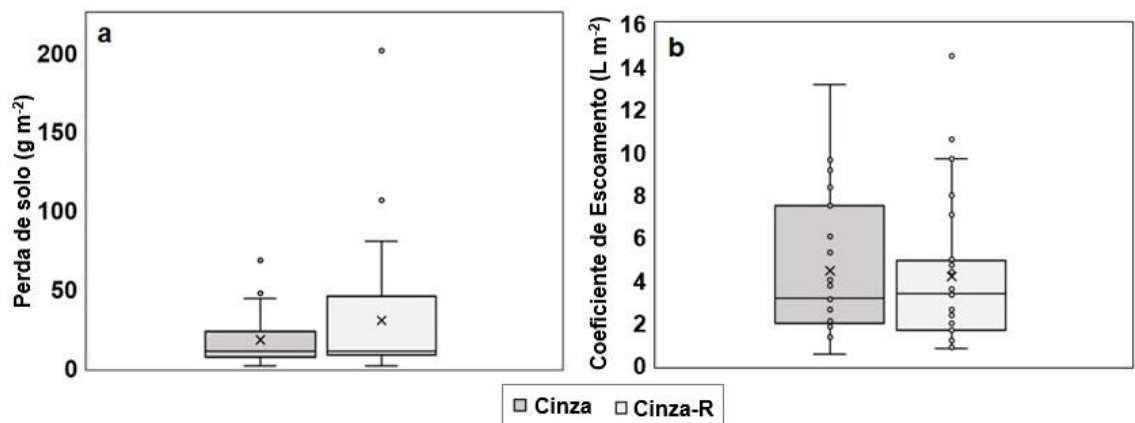


Figura 2. a) Perda de solo de acordo com tratamentos de cobertura superficial; b) Escoamento superficial conforme tratamentos de cobertura superficial. Nota: Os box plots

representam a mediana da linha preta e os símbolos da média (\times), mínimo e máximo, primeiro quartil (25%) e terceiro quartil (75%), e os pontos mostram os valores mais altos ($n = 30$).

Por fim, a Tabela 2 indica a correlação entre as variáveis (chuva e escoamento superficial) e as condições da parcela – Cinzas ou Cinzas-R. O volume de chuva foi mais eficaz na produção de escoamento superficial do que na perda de solo. Além disso, o escoamento superficial esteve mais correlacionado com a perda de solo em ambos os tratamentos. Finalmente, as respostas de ambos os tratamentos em relação à perda de solo e água foram altamente correlacionadas. Portanto, ambos os tratamentos não se diferenciam.

Tabela 2. Matriz de correlação de Pearson dos efeitos da chuva e do escoamento superficial segundo os tratamentos Cinza e Cinza-R

Variáveis	Chuva	Cinza (escoamento)	Cinza-R (escoamento)	Cinza (perda de solo)	Cinza-R (perda de solo)
Chuva (mm)	1.000				
Cinza (escoamento)	0.833	1.000			
Cinza-R (escoamento)	0.853	0.873	1.000		
Cinza (perda de solo)	0.677	0.846	0.772	1.000	
Cinza-R (perda de solo)	0.597	0.677	0.828	0.700	1.000

Nota: Todas as correlações são significativas $p < 0,0001$ ($n = 15$); devido à variável inclinação sem efeito (6° e 11°) não foi considerada na correlação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, não foi encontrada evidência de que a cobertura de cinzas ou a inclinação do terreno afetem o escoamento superficial e a perda de solo. A inclinação (6° e 11°) e a presença ou ausência de cinzas não mostraram impacto relevante nesses processos. As parcelas apresentaram respostas semelhantes e alta correlação, especialmente no início, quando a cobertura de cinzas poderia alterar a hidrologia do solo. A perda de solo variou muito entre parcelas, indicando que a variabilidade na severidade do fogo pode ter um impacto maior do que a cobertura de cinzas ou o declive. O comprimento das parcelas (2 m) pode ter influenciado os resultados, e o efeito das cinzas pode ser detectável apenas em escalas menores.

PALAVRAS-CHAVE: Solos tropicais, fogo, escoamento superficial, erosão.

REFERÊNCIAS

- AGBESHIE A.A et al. A review of the effects of forest fire on soil properties. **Journal of Forestry Research**. 33 (5): 1419–1441. 2022.
- BARREIRO A, DÍAZ-RAVIÑA M. Fire impacts on soil microorganisms: Mass, activity, and diversity. **Current Opinion in Environmental Science and Health**. 22. 2021.
- BODÍ M. B, et al. Wildland fire ash: Production, composition and eco-hydrogeomorphic effects. **Earth-Science Reviews**. 130: 103–127. 2011.
- CERDÀ A, DOERR S.H. The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. **Catena**. 74 (3): 256–263. 2008.
- CERTINI G. Effects of fire on properties of forest soils: A review. **Oecologia**. 143 (1): 1–22. 2005.
- DEBANO L.F, et al.. Fire effects on ecosystems. John Wiley & Sons. 29 Editorials. 2020. In praise of replication studies. **Nature**. 578 (27 February): 489–490. 1998.
- FACHIN, P.A, et al. Seven decades of Atlantic rainforest conversion to slash-and-burn agriculture: effects on soils physical properties. **Journal of Environmental Management**. v. 350, 119682. 2024.
- KEESSTRA S. D, et al. Effects of controlled fire on hydrology and erosion under simulated rainfall. **Cuadernos de Investigación Geográfica**. 40 (2): 269–294. 2014.
- MATAIX-SOLERA J, et al. Fire effects on soil aggregation: A review. **Earth-Science Reviews**. 109 (1–2): 44–60. 2011.
- PEREIRA P, et al. Modelling the Impacts of Wildfire on Ash Thickness in a Short-Term Period. **Land Degradation and Development**. 26 (2): 180–192. 2015.
- SHAKESBY R, DOERR S. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. **Earth-Science Reviews**. 74 (3–4): 269–307. 2006.
- STOOF C. R, et al. . Effects of fire and ash on soil water retention. **Geoderma**. 159 (3–4): 276–285. 2010.
- THOMAZ E. L. Effects of fire on the aggregate stability of clayey soils: A meta-analysis. **Earth-Science Reviews**. 221 (September): 103802. 2021.