

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

RAFAELA MOTTA LINHARES

**EMIÇÃO DE CARBONO, TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO EM
DIFERENTES MANEJOS AGROPECUÁRIOS**

CHAPADÃO DO SUL - MS

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

**EMIÇÃO DE CARBONO, TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO EM
DIFERENTES MANEJOS AGROPECUÁRIOS**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Msc. Aldair Felix da Silva

CHAPADÃO DO SUL - MS

2025



ATA DE DEFESA FINAL DO TCC

Bacharelado em Agronomia.

Aos dezoito dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e cinco, no horário das 11h30 às 12h30, foi realizada a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da acadêmica **Rafaela Motta Linhares**, intitulado "**EMISSÃO DE CARBONO, TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO EM DIFERENTES MANEJOS AGROPECUÁRIOS**". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador Prof. Me. Aldair Félix da Silva, presidente da Banca Examinadora, constituída pelos seguintes membros: Eng. Agr. Me. Elber Vinícius Martins Silva e Eng. Agr. Gleciene Aparecida Valério dos Santos. A Banca Examinadora avaliou o trabalho e atribuiu a nota média, no valor de **9,0 (Nove)** sendo a discente considerada **aprovada**. Encerrados os trabalhos, os Examinadores deram ciência à examinada da decisão. Proclamada a decisão pelo Prof. Me Aldair Félix da Silva, presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos. E para constar eu, Andressa Ferreira Domingos, confiro e assino a presente Ata juntamente com os membros da Banca Examinadora.

Chapadão do Sul, 18 de junho de 2025.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Aldair Félix da Silva, Professor do Magisterio Superior - Substituto**, em 19/06/2025, às 15:39, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Elber Vinicius Martins Silva, Usuário Externo**, em 23/06/2025, às 12:11, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Gleciene Aparecida Valerio dos Santos, Usuário Externo**, em 03/07/2025, às 12:02, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5695464** e o código CRC **C674A0A9**.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que me inspiraram, apoiaram e acreditaram em mim ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão, acima de tudo, a Deus por sempre atender minhas orações, me dando resiliência para perseverar e me ajudando a conquistar este objetivo tão importante em minha vida.

Tenho gratidão a minha família e principalmente aos meus pais que sempre me apoiaram nos bons e maus momentos, e por fazer de tudo para tornar este momento uma realidade.

Devo meus agradecimentos aos meus amigos e principalmente ao meu namorado que estiveram comigo tanto na vida acadêmica quanto na vida pessoal, desempenhando um papel fundamental na formação da minha vida, seja por meio de orientação, assistência, incentivo ao longo de minha jornada acadêmica ou pelos churrascos, festas, perrengues que enfrentamos juntos. Sou imensamente grata a todos eles.

Agradeço também ao meu tio por todo apoio que me proporcionou ao longo da minha jornada acadêmica, cujo incentivos e orientações foram fundamentais não só apenas para o meu crescimento acadêmico, mas sim, como pessoa.

Sou profundamente grato pelo conhecimento e aprendizado que a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul me propiciou. Suas contribuições foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional. Estendo minha gratidão ao meu orientador Prof. Dr. Aldair Felix e Co-orientadora Dra. Dthenifer Cordeiro pelo auxílio, instrução e assistência inabaláveis fornecidos até a conclusão deste projeto. E estendo também minha sincera gratidão a todos os professores e coorientadores que tive o privilégio de conhecer, compartilhar experiências e aprender.

A todos que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho e da minha trajetória que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

EPÍGRAFE

“Que todos os nossos esforços estejam sempre focados no desafio à impossibilidade. Todas as grandes conquistas humanas vieram daquilo que parecia impossível”

(Charles Chaplin).

SUMÁRIO

RESUMO8

PALAVRAS CHAVE:8

ABSTRACT9

KEYWORDS:9

INTRODUÇÃO10

MATERIAL E MÉTODOS12

RESULTADOS E DISCUSSÃO14

CONCLUSÃO17

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de barras para as variáveis emissão de CO₂ do solo in situ (FCO₂), umidade do solo (Ms), temperatura do solo (Ts) e fluxo de CO₂ avaliadas em diferentes manejos de solo avaliados em Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul.....08

Figura 2. Análise de componentes principais para as variáveis emissão de CO₂ do solo in situ (FCO₂), umidade do solo (Ms), temperatura do solo (Ts) avaliadas em diferentes manejos de solo avaliados em Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul.....10

EMISSÃO DE CARBONO, TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO EM DIFERENTES MANEJOS AGROPECUÁRIOS

RESUMO

Práticas com manejos de recuperação de pastagens degradadas, ou mesmo uma melhoria no manejo de áreas de baixa produtividade no Brasil, pode aumentar o nível de produtividade da pecuária, reduzindo a emissão de carbono. Dessa forma o objetivo do trabalho foi avaliar emissão de carbono, temperatura e umidade do solo em manejos diferentes de pastagem (pecuária extensiva, plantio de forragem como cobertura e área de reserva) no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul. A condução desse experimento foi realizada na Fazenda Campo Alegre, no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul. Foram avaliados três diferentes manejos de uso do solo: (i) rotação entre *Urochloa decumbens* e soja, na qual a forrageira é utilizada exclusivamente como cobertura vegetal, sendo posteriormente dessecada para o cultivo direto da soja; (ii) área submetida a pastejo intensivo de gado por pelo menos 10 anos; e (iii) área de preservação permanente com características típicas de vegetação de cerrado como parâmetro de ambiente em equilíbrio. As avaliações ocorreram no mês de agosto de 2024, período de seca na região. Em cada uma das áreas foram instalados 20 anéis de PVC para a avaliação in situ da emissão de carbono do solo (FCO_2). Os dados obtidos foram submetidos à análise de comparação de médias para identificar os manejos que resultaram nas maiores e menores emissões de CO_2 . Adicionalmente, foi construída uma análise de componentes principais (PCA) no mesmo ambiente estatístico, com o objetivo de explorar as relações entre as variáveis medidas e os diferentes manejos de solo. Os resultados obtidos evidenciam que a área de reserva com floresta nativa do Cerrado apresentou a maior emissão de CO_2 do solo, destacando-se como um ecossistema ativo na respiração edáfica. Em contraste, a área destinada à pecuária extensiva apresentou as menores médias de emissão de CO_2 , associadas também às menores temperaturas e umidades do solo, indicando menor atividade biológica. A maior média de temperatura do solo foi registrada na área com cobertura de *Urochloa*, enquanto a umidade do solo foi mais elevada em áreas com cobertura vegetal, reforçando o papel do manejo do solo na conservação da umidade.

PALAVRAS-CHAVE:

Gases de efeito estufa; Estoque de carbono; Cerrado.

CARBON EMISSIONS, TEMPERATURE AND SOIL MOISTURE IN DIFFERENT PASTURE MANAGERMENTS

ABSTRACT

Management practices for the recovery of degraded pastures, or even improvements in the management of low-productivity areas in Brazil, can increase livestock productivity and reduce carbon emissions. Thus, the objective of this study was to evaluate carbon emissions, temperature, and soil moisture in different pasture management systems (extensive livestock farming, forage planting as cover, and reserve area) in the municipality of Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul. This experiment was conducted at the Campo Alegre Farm, in the municipality of Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul. Three different land use management systems were evaluated: (i) rotation between *Urochloa decumbens* and soybeans, in which the forage is used exclusively as cover, and is subsequently desiccated for direct soybean cultivation; (ii) area subjected to intensive cattle grazing for at least 10 years; and (iii) permanent preservation area with typical characteristics of cerrado vegetation as a parameter of an environment in equilibrium. The assessments took place in August 2024, a dry season in the region. In each of the areas, 20 PVC rings were installed for the in situ assessment of soil carbon emissions (FCO₂). The data obtained were subjected to a comparison analysis of means to identify the managements that resulted in the highest and lowest CO₂ emissions. Additionally, a principal component analysis (PCA) was constructed in the same statistical environment, with the objective of exploring the relationships between the measured variables and the different soil managements. The results obtained show that the reserve area with native Cerrado forest presented the highest soil CO₂ emissions, standing out as an ecosystem active in soil respiration. In contrast, the area destined for extensive livestock farming presented the lowest average CO₂ emissions, also associated with lower soil temperatures and humidity, indicating lower biological activity. The highest average soil temperature was recorded in the area covered by *Urochloa*, while soil moisture was higher in areas with vegetation cover, reinforcing the role of soil management in conserving moisture.

KEYWORDS:

Greenhouse gases; Carbon stock; Cerrado.

INTRODUÇÃO

As emissões de CO₂ do solo em áreas sob manejo de pastagens configuram um fenômeno complexo, marcado por elevada variabilidade espacial e temporal, refletindo a interação com diversas propriedades físico-químicas do solo (La Scala et al., 2006; Silva et al., 2019, 2020). Para aprimorar a estimativa da respiração do solo em sistemas pastorais, é fundamental compreender sua dinâmica temporal e a forma como se relaciona com variáveis ambientais, como a temperatura e a umidade do solo. Esses fatores podem ser monitorados continuamente, tanto por meio de sensores remotos quanto por medições diretas no campo, viabilizando a avaliação de práticas de manejo que influenciam a sustentabilidade e a eficiência dos sistemas de produção pecuária (Silva et al., 2019; Xavier et al., 2020).

O carbono do solo é influenciado por diversos processos bioquímicos mediados por microrganismos, como a decomposição da matéria orgânica, e pela respiração radicular, ambos fortemente modulados por variáveis ambientais, como temperatura e umidade do solo (Bond-Lamberty & Thomson, 2010; Oertel et al., 2016). Esses fatores não apenas regulam a atividade metabólica da biota do solo, como também afetam a estabilidade do carbono orgânico no solo, podendo promover sua mineralização ou conservação, a depender das condições ambientais predominantes.

Por outro lado, embora a produção pecuária forneça uma série de benefícios socioeconômicos, como proteínas de alta qualidade para alimentação humana, couro para a indústria têxtil e força de tração em determinadas regiões, os sistemas de manejo com animais são reconhecidos como importantes fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE), como metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e óxidos de nitrogênio (N₂O), principalmente por meio do processo de fermentação entérica, decomposição de resíduos orgânicos e compactação do solo (Grossi et al., 2019; Herrero et al., 2021). Esse impacto ambiental tem motivado a adoção de sistemas integrados de produção, como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), que visam aumentar a eficiência do uso da terra, melhorar o sequestro de carbono e mitigar as emissões líquidas por unidade de produto agrícola ou animal (de Figueiredo et al., 2020).

Assim, compreender a dinâmica do carbono no solo e as interações entre os componentes físicos, biológicos e de manejo é fundamental para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis no contexto da agropecuária tropical. Práticas de manejo de pastagens que promovem o aumento do estoque de carbono no solo desempenham papel

crucial na mitigação das mudanças climáticas, ao evitar que o carbono previamente fixado seja liberado para a atmosfera na forma de dióxido de carbono (CO₂). Nesse contexto, a adoção de cultivares forrageiras melhoradas, especialmente aquelas com elevada produção de biomassa e sistemas radiculares profundos e persistentes, tem sido apontada como uma estratégia promissora para intensificar o sequestro de carbono no solo (Rao et al., 2001; Fisher et al., 2007; Kell, 2011; Wang et al., 2019). As raízes mais profundas favorecem o acúmulo de carbono em camadas subsuperficiais, onde ele tende a permanecer mais estável e protegido contra processos de mineralização.

Além disso, práticas de recuperação de pastagens degradadas ou mesmo a intensificação sustentável de áreas de baixa produtividade, especialmente no Brasil, que possui vastas extensões de pastagens subutilizadas, podem proporcionar ganhos significativos em produtividade sem a necessidade de expansão de área. Essa melhoria na eficiência do uso da terra, além de aumentar a produção pecuária por unidade de área, contribui para a redução das emissões líquidas de carbono por unidade de produto. A combinação de boas práticas de manejo com a adoção de tecnologias apropriadas pode, portanto, transformar a pecuária em uma aliada na luta contra as mudanças climáticas, promovendo sustentabilidade ambiental, econômica e social nos sistemas de produção animal.

Dessa forma o objetivo do trabalho foi avaliar emissão de carbono, temperatura e umidade do solo em manejos diferentes de pastagem (pecuária extensiva, plantio de forragem como cobertura e área de reserva) no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

A condução desse experimento foi realizada na Fazenda Campo Alegre, no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul (18,79128° S, 52,74724° O, com 810 m de altitude). O clima da região é classificado como Tropical de Savana (Aw), segundo a classificação de Köppen e Geiger, com inverno seco e verão chuvoso. O solo predominante da região é o Latossolo Vermelho Distrófico Argiloso. A característica do solo da localidade em que foi avaliado o experimento consta na Tabela 1.

Tabela 1. Características do solo da área experimental

Prof.	pH	Ca + Mg	Ca	Mg	Al	H + Al	K	P (Mech)	S
	(CaCl ₂)	cmolc dm ⁻³					Mg dm ⁻³		
0-20	5,71	5,86	4,24	1,62	0,04	2,61	0,21	20,45	15,96
20-40	5,12	2,58	1,78	0,8	0,07	3,37	0,11	4,05	45,34
Prof.	M.O	T	V%	Argila		Silte		Areia	
	g dm ⁻³	cmolc dm ⁻³			g/dm ³				
0-20	28,80	8,14	73,49	265		40		665	
20-40	16,81	5,82	45,58	490		65		470	

Foram avaliados três diferentes manejos de uso do solo: (i) rotação entre *Urochloa decumbens* e soja, na qual a forrageira é utilizada exclusivamente como cobertura vegetal, sendo posteriormente dessecada para o cultivo direto da soja; (ii) área submetida a pastejo intensivo de gado por pelo menos 10 anos; e (iii) área de preservação permanente com características típicas de vegetação de cerrado como parâmetro de ambiente em equilíbrio. As avaliações ocorreram no mês de agosto de 2024, período de seca na região. Em cada uma das áreas foram instalados 20 anéis de PVC para a avaliação in situ da emissão de carbono do solo (FCO₂), com antecedência de 24 horas à medição. A quantificação da FCO₂ foi realizada com um sistema portátil EGM-5, modelo AGA560, que monitora as variações na concentração de CO₂ dentro da câmara por meio de espectroscopia de absorção óptica na região do infravermelho (ACS041).

Os anéis de PVC, com volume interno de 854,2 cm³ e área de contato circular de 83,7 cm², funcionam como uma câmara de sistema fechado e são essenciais para evitar distúrbios no solo decorrentes da colocação direta da câmara, os quais poderiam gerar variações excessivas de emissões de CO₂. A emissão de FCO₂ foi determinada em cada

ponto a partir do ajuste da concentração de CO₂ ao longo do tempo, por meio de regressão quadrática, após o fechamento da câmara e considerando a compensação da umidade.

Cada medição teve duração de 30 segundos, com registro da pressão barométrica interna a cada segundo, totalizando 30 leituras por ponto. A temperatura e a umidade do solo foram monitoradas com um sensor HydraProbe (Stevens), acoplado ao EGM-5, composto por uma sonda com três hastes de 12 cm inseridas perpendicularmente ao solo, a 5 cm de distância dos anéis de PVC.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de comparação de médias para identificar os manejos que resultaram nas maiores e menores emissões de CO₂. As visualizações gráficas foram elaboradas no software R utilizando o pacote ggplot2, com gráficos de barras representando os resultados das médias. Adicionalmente, foi construída uma análise de componentes principais (PCA) no mesmo ambiente estatístico, com o objetivo de explorar as relações entre as variáveis medidas e os diferentes manejos de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

E emissão de CO₂ (Figura 1) do solo apresentou maior média na área de reserva (1,32 g m⁻² h⁻¹), considerada com floresta nativa característica do bioma Cerrado. A segunda maior emissão foi observada na área em que a *Urochloa* é utilizada como cobertura, com média de emissão de 0,68 g m⁻² h⁻¹ e a área utilizada para pecuária extensiva a média de emissão foi de 0,46 g m⁻² h⁻¹. Quanto a temperatura do solo a maior média foi observada na área com *Urochloa* para cobertura 35,51 °C, seguido da área com pecuária com média de 15,59 °C e a menor média de temperatura observada na área com floresta, 7,42 °C. Quanto a umidade do solo sua média foi maior na área em que continha cobertura de solo, com média de quase 2% de umidade, ou outros manejos a umidade do solo estava baixa, devido ao período seco em que as avaliações foram realizadas.

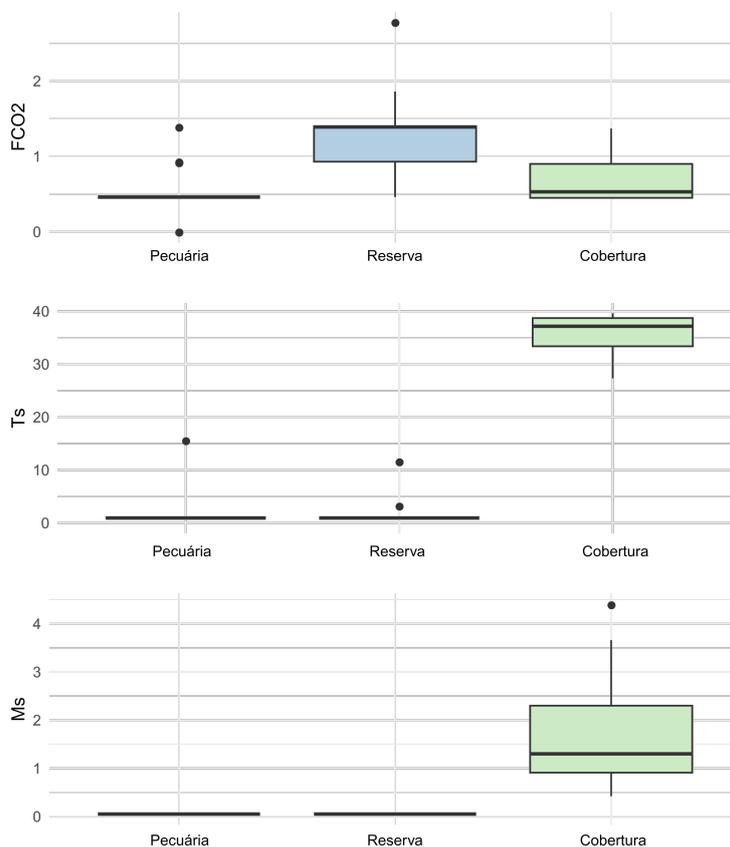


Figura 1. Gráfico de barras para as variáveis emissão de CO₂ do solo in situ (FCO₂), umidade do solo (Ms), temperatura do solo (Ts) e fluxo de CO₂ avaliadas em diferentes manejos de solo avaliados em Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul.

A área de reserva apresentou maiores emissões de CO₂, mesmo com temperaturas e umidade relativamente mais baixas. Esse comportamento pode ser atribuído às

características dos ecossistemas florestais, que geralmente apresentam maior equilíbrio no ciclo hidrológico e no ciclo do carbono, além de uma cobertura vegetal mais heterogênea e rica, que favorece elevada atividade microbiana no solo (McKnight et al., 2017). Em ambientes florestais, há também maior acúmulo de serapilheira e matéria orgânica, o que alimenta continuamente os microrganismos do solo, resultando em taxas elevadas de fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo. Segundo Teobaldo e Baptista (2016), áreas com vegetação florestal retêm mais dióxido de carbono atmosférico, o qual é incorporado pela fotossíntese e, posteriormente, pelo ciclo da matéria orgânica no solo.

Entre os principais fatores que controlam a decomposição da matéria orgânica no solo, destacam-se a temperatura e a umidade, que afetam diretamente a atividade microbiana (Curriel et al., 2007). Nesse sentido, a utilização de espécies forrageiras como *Urochloa spp.* como cobertura do solo demonstraram ser eficaz na conservação da umidade e na modulação das emissões de CO₂. Embora essa cobertura vegetal promova menores emissões, observou-se também uma elevação da temperatura do solo, possivelmente associada ao aumento da atividade microbiana estimulada pela disponibilidade contínua de resíduos orgânicos.

Rossi et al. (2023) destacam que o tipo de cobertura vegetal influencia diretamente nas emissões de carbono do solo, principalmente em função do estoque de serapilheira e do conteúdo de matéria orgânica. Dessa forma, o uso de *Urochloa* como cobertura contribui para o incremento de carbono orgânico no solo, melhora sua estrutura física, aumenta a retenção hídrica e modera a liberação de CO₂. Além disso, a matéria orgânica formada por moléculas complexas e antigas, como as de cadeia longa, tende a ser mais sensível ao aumento da temperatura, o que pode resultar em maior mineralização de frações orgânicas anteriormente estáveis (Curriel et al., 2007). Assim, compreende-se que a dinâmica das emissões depende de múltiplos fatores, envolvendo interações entre a vegetação, o tipo de solo e as condições microclimáticas locais.

Na análise de componentes principais (PCA, Figura 2), observa-se uma forte associação dos vetores de umidade do solo (Ms) e temperatura do solo (Ts) com o tratamento que utiliza *Urochloa* como cobertura vegetal. Essa proximidade vetorial indica que esse tipo de manejo influencia diretamente nas variáveis edáficas analisadas, corroborando os resultados discutidos anteriormente, nos quais a cobertura de solo com *Urochloa* contribuiu para a conservação da umidade e a elevação da temperatura

superficial, promovendo um microclima mais estável e propício ao equilíbrio das emissões.

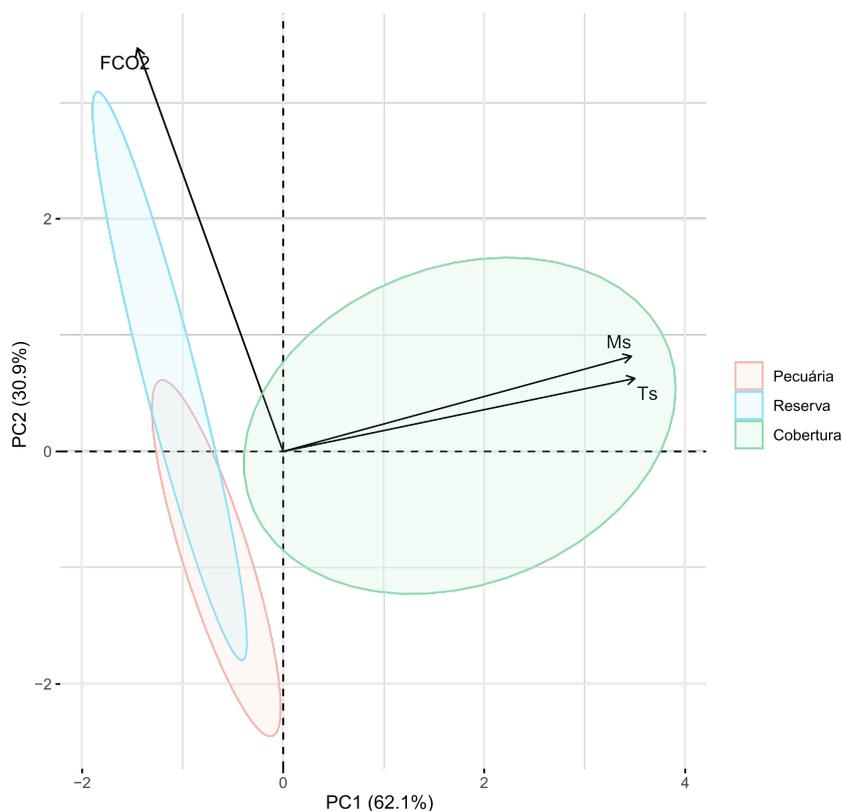


Figura 2. Análise de componentes principais para as variáveis emissão de CO₂ do solo in situ (FCO₂), umidade do solo (Ms), temperatura do solo (Ts) avaliadas em diferentes manejos de solo avaliados em Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul.

Adicionalmente, a análise multivariada também reforça outro padrão observado anteriormente: a maior emissão de CO₂ na área de floresta nativa. Esse comportamento é evidenciado pela posição do vetor FCO₂, que se alinha mais proximamente à elipse representativa do manejo florestal, sugerindo que as características da vegetação nativa, como maior estoque de serapilheira e atividade microbiana mais intensa, contribuem para fluxos mais elevados de carbono no solo. Essa consistência entre os resultados da PCA e os dados uni variados fortalece a robustez das interpretações realizadas, evidenciando a importância da vegetação e do manejo no controle das emissões edáficas de carbono.

Conforme a umidade do solo diminui, a atividade dos organismos do solo é afetada negativamente (Schimel et al., 2007). A umidade do solo e a temperatura são dependência relativa, sendo específica para cada condição de cultivo, todavia não está

claro na literatura atual se há uma interação entre a umidade microbiana e as dependências da temperatura (Paredes et al., 2021). Condições de baixa emissão foi observada no manejo com pecuária extensiva tendo médias baixas de temperatura e umidade do solo muito baixas também, essas condições podem ser resultado de uma baixa atividade microbiana, o que pode refletir um ambiente empobrecido biologicamente. Como a decomposição da matéria orgânica depende da temperatura, a maioria dos estudos de ciclagem de carbono prevê que o aumento da temperatura levará à diminuição do armazenamento de carbono do solo devido aos aumentos induzidos pelo aquecimento na atividade microbiana e na respiração do solo (Wang et al., 2021).

De modo geral, os resultados ressaltam a influência do uso e cobertura do solo nas dinâmicas de temperatura, umidade e emissão de CO₂, com implicações importantes para o manejo sustentável e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que a área de reserva com floresta nativa do Cerrado apresentou a maior emissão de CO₂ do solo, destacando-se como um ecossistema ativo na respiração edáfica. Em contraste, a área destinada à pecuária extensiva apresentou as menores médias de emissão de CO₂, associadas também às menores

temperaturas e umidades do solo, indicando menor atividade biológica. A maior média de temperatura do solo foi registrada na área com cobertura de *Urochloa*, enquanto a umidade do solo foi mais elevada em áreas com cobertura vegetal, reforçando o papel do manejo do solo na conservação da umidade.

REFERÊNCIAS

BOND-LAMBERTY, B.; THOMSON, A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature*, v. 464, n. 7288, p. 579-582, 2010.

CRUZ-PAREDES, C.; TÁJMEL, D.; ROUSK, J. Can moisture affect temperature dependences of microbial growth and respiration? *Soil Biology and Biochemistry*, v. 156, 108223, 2021.

CURIEL YUSTE, J. et al. Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. *Global Change Biology*, v. 13, n. 9, p. 2018-2035, 2007.

DA SILVA, P. A. et al. Spatial variation of soil carbon stability in sugarcane crops, central-south of Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 202, 104667, 2020.

DE OLIVEIRA SILVA, B. et al. Soil CO₂ emission and short-term soil pore class distribution after tillage operations. *Soil and Tillage Research*, v. 186, p. 224-232, 2019.

FISHER, M. J. et al. Carbon Nature storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*, v. 371, p. 236–238, 2007.

FISHER, M. J. et al. Another dimension to grazing systems: soil carbon. *Tropical Grasslands*, v. 41, p. 65–83, 2007.

GROSSI, G. et al. Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*, v. 9, n. 1, p. 69-76, 2019.

KELL, D. B. Breeding crop plants with deep roots: their role in sustainable carbon, nutrient and water sequestration. *Annals of Botany*, v. 108, p. 407–418, 2011. DOI: 10.1093/aob/mcr175.

KELL, D. B. Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 366, n. 1582, p. 4851–4876, 2011.

LA SCALA JR, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 91, n. 1-2, p. 244-248, 2006.

McKNIGHT, J. Y.; HARDEN, C. P.; SCHAEFFER, S. M. Soil CO₂ flux trends with differences in soil moisture among four types of land use in an Ecuadorian páramo landscape. *Physical Geography*, v. 38, n. 1, p. 51-61, 2017.

OERTEL, C. et al. Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Geochemistry*, v. 76, n. 3, p. 327-352, 2016.

RAO, I. M. et al. Root traits of tropical grasses in acid soils for improving soil quality and carbon sequestration. In: REYNOLDS, S. G. et al. (Ed.). *Carbon sequestration in soils of Latin America*. Madison: SSSA Special Publication, 2001. p. 247–258.

RAO, I. M.; PLAZAS, C.; RICAURTE, J. Root turnover and nutrient cycling in native and introduced pastures in tropical savannas. In: HORST, W. J. et al. (Ed.). *Plant Nutrition: Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems Through Basic and Applied*

Research. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. p. 976–977.

TEOBALDO, D.; BAPTISTA, G. D. M. Quantificação da severidade das queimadas e da perda de sequestro florestal de carbono em unidades de conservação do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 1, p. 250-264, 2016.

WANG, C. et al. The temperature sensitivity of soil: microbial biodiversity, growth, and carbon mineralization. *The ISME Journal*, v. 15, n. 9, p. 2738-2747, 2021.

WANG, J. et al. Vegetation type controls root turnover in global grasslands. *Global Ecology and Biogeography*, v. 28, p. 442–455, 2019. DOI: 10.1111/geb.12866.

WANG, T. et al. Deep rooting increases carbon stocks and soil C/N ratio in bioenergy crop systems. *Scientific Reports*, v. 9, art. 5821, 2019.

XAVIER, C. V. et al. Crop rotation and sequence effects on temporal variation of CO₂ emissions after long-term no-till application. *Science of the Total Environment*, v. 709, 136107, 2020.