

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO PARA AUXÍLIO NA GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS

Bianca Pietsch Cunha Bendito¹ & Viviane Nascimento Carvalho²

Abstract: This study evaluates the physical and hydrological characteristics of the soil within and around the Grande Sertão Veredas National Park (PNGSV), focusing on water infiltration and soil penetration resistance across different land uses and covers. Field tests were conducted at 21 points across native Cerrado, veredas (palm swamps), riparian forests, pastures, and agricultural fields. The results show that native vegetation areas, especially the Cerrado, preserve greater infiltration capacity and lower soil compaction. In contrast, anthropized areas, such as pastures and soybean crops, exhibit higher penetration resistance and lower infiltration rates, indicating degradation of soil physical structure. In the veredas, low infiltration values were attributed to natural soil saturation and a shallow water table. The analysis suggests that the conversion of plateau areas to agriculture has undermined groundwater recharge in the veredas, which depend on subsurface flows from these regions. The study highlights the importance of incorporating empirical soil data into water and land management and contributes to identifying priority areas for conservation. The findings offer technical support for implementing the principles of Brazil's National Water Resources Policy, particularly the integration of water, land use, and environmental management.

Keywords: infiltration, land use, veredas, Cerrado, groundwater recharge

Resumo: Este estudo avalia as características físico-hídricas do solo no interior e entorno do Parque Nacional Grande Sertão Veredas (PNGSV), com foco na infiltração de água e na resistência à penetração do solo sob diferentes usos e coberturas. Foram realizados testes em 21 pontos distribuídos entre Cerrado nativo, veredas, matas ciliares, pastagens e cultivos agrícolas. Os resultados preliminares indicam que as áreas de vegetação nativa, sobretudo o Cerrado, mantêm maior capacidade de infiltração e menor compactação do solo. Já nas áreas antropizadas, como pastagens e lavouras de soja, observou-se maior resistência à penetração e menor taxa de infiltração, indicando degradação da estrutura física do solo. Nas veredas, os baixos valores de infiltração foram atribuídos à saturação natural do solo e ao lençol freático superficial. A análise sugere que a conversão de áreas de chapada para uso agropecuário tem comprometido a recarga hídrica das veredas, que dependem do fluxo subterrâneo oriundo dessas regiões. O estudo reforça a importância de considerar dados empíricos sobre o solo para a gestão hídrica e territorial, contribuindo para a delimitação de áreas prioritárias para conservação. Os achados obtidos já na primeira etapa do estudo poderão fornecer subsídios técnicos para a aplicação dos princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos, especialmente a integração entre água, solo e meio ambiente.

Palavras-chave: infiltração, uso do solo, veredas, Cerrado, recarga hídrica

1) Engenheira Ambiental, Consultora da Funatura, biancabendito@gmail.com

2) Engenheira Florestal, mestranda do Programa de Ciências florestais da Universidade de Brasília.

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de recursos hídricos (Brasil, 1997) estabelece, como um de seus fundamentos, que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada, participativa e integrada ao uso do solo, à gestão ambiental e ao desenvolvimento socioeconômico. Esse princípio reconhece que a água não pode ser gerida de forma isolada, uma vez que sua disponibilidade e qualidade estão diretamente condicionadas a processos ecológicos e territoriais que extrapolam os limites dos corpos hídricos. Assim, a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos exige um entendimento aprofundado dos fatores naturais que regulam o ciclo da água em diferentes territórios. Entre esses fatores, destacam-se as características físico-hídricas do solo, que influenciam diretamente processos como a infiltração, a recarga dos aquíferos e o escoamento superficial. Em regiões como o bioma Cerrado, cuja importância ecológica e hidrológica é amplamente reconhecida, a conservação do solo está intrinsecamente ligada à manutenção dos serviços ecossistêmicos relacionados à água.

O Cerrado é considerado o segundo maior bioma do país e abriga nascentes de importantes bacias hidrográficas, como a do rio São Francisco (Lima e Silva, 2007). Sua vegetação, aliada a solos naturalmente porosos e profundos, favorece a infiltração da água da chuva, alimentando aquíferos e garantindo a perenidade dos rios, mesmo em longos períodos de estiagem. No entanto, esse equilíbrio vem sendo comprometido pela expansão da fronteira agrícola, que tem promovido a substituição da vegetação nativa por culturas mecanizadas e pastagens intensivas, principalmente nas áreas planas e de chapada. Tais alterações impactam diretamente a estrutura física do solo, reduzindo sua porosidade, aumentando a compactação e, por consequência, diminuindo a capacidade de infiltração da água (Anache, 2018; Gmash, 2018; Gomes, 2019).

O Parque Nacional Grande Sertão Veredas (PNGSV), localizado na bacia hidrográfica do Rio Carinhanha, na margem esquerda do rio São Francisco, representa um importante remanescente de Cerrado bem conservado. O parque abriga diversas fitofisionomias típicas do bioma, entre elas as veredas — ecossistemas úmidos alimentados por aquíferos que desempenham papel fundamental na manutenção dos cursos d'água da região. As veredas são ambientes de descarga natural do lençol freático, e sua funcionalidade ecológica está diretamente ligada à manutenção da dinâmica de infiltração nas áreas adjacentes (Montovani, 2019; Durigan, 2022).

Contudo, parte significativa da zona de amortecimento e do entorno imediato do parque tem sido ocupada por atividades agropecuárias, tornando o PNGSV uma verdadeira ilha de biodiversidade. Além disso, gestores da unidade de conservação e moradores locais têm observado mudanças hidrológicas nas veredas. Embora estudos sobre os impactos do uso e cobertura do solo nos elementos do ciclo hidrológico sejam relativamente frequentes, para a região do PNGSV a maioria desses trabalhos utiliza dados indiretos (Montovani, 2019; Profill, 2022). Assim, há uma lacuna importante quanto à análise direta das propriedades físicas do solo e da capacidade real de infiltração em diferentes usos e coberturas do solo.

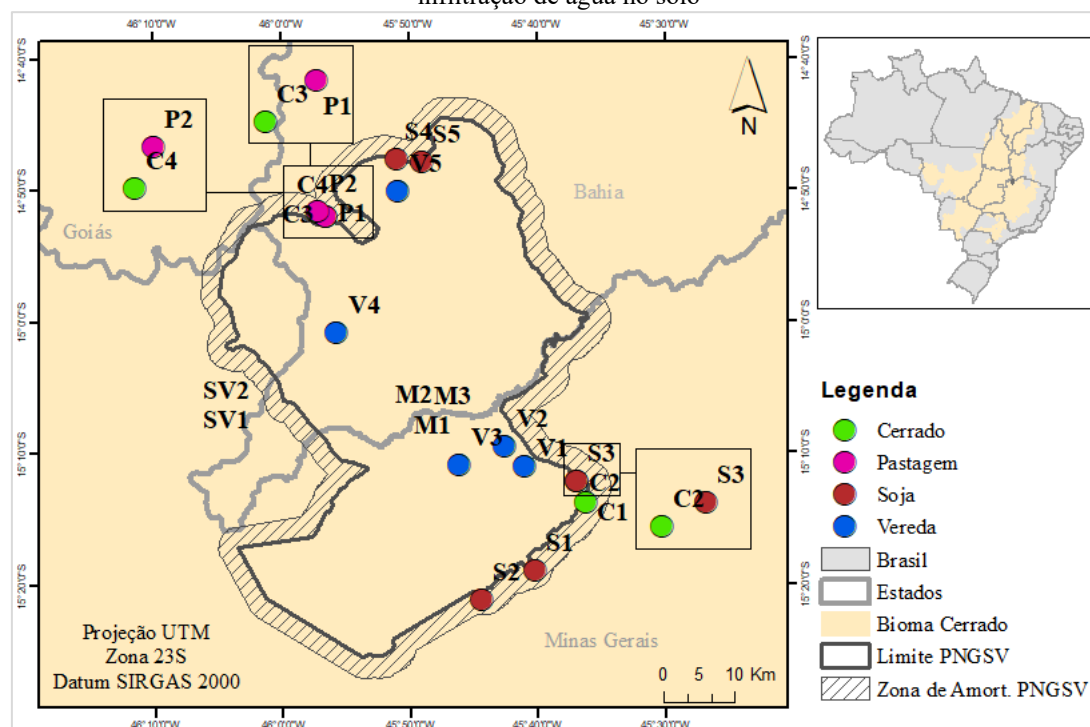
Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo final avaliar a taxa de infiltração da água no solo e a resistência à penetração em áreas com diferentes tipos de uso e cobertura do solo no interior e entorno do PNGSV. Ao integrar aspectos da física do solo com dados de campo, o trabalho pretende oferecer indicativos sobre as possíveis causas das alterações hidrológicas nas veredas, subsidiar a delimitação de áreas prioritárias para conservação, fortalecer o planejamento territorial e contribuir para uma gestão ambiental e hídrica mais eficaz.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O Parque Nacional Grande Sertão Veredas (PNGSV) está localizado na bacia hidrográfica do rio Carinhanha, na divisa entre os estados de Minas Gerais e Bahia, entre as coordenadas aproximadas de 14°25' a 15°50' de latitude sul e 45°15' a 46°50' de longitude oeste, ocupando uma área de cerca de 231.668 hectares (Figura 1). A região possui uma tipologia climática classificada como semiárida, com precipitação anual média que varia entre 800 e 1.200 mm (Mantovani, 2021). Os solos da região são altamente permeáveis e com baixa capacidade de retenção de umidade, o que os torna favoráveis à rápida infiltração da água da chuva, contribuindo para a recarga do aquífero (IBGE, 2025). O Cerrado encontrado no PNGSV se caracteriza pela presença de Cerrado *sensu stricto*, campo sujo, cerradão, mata ciliar e carrasco, além da ocorrência de abundantes e biodiversas veredas, comumente localizadas sobre a região do Sistema Aquífero Urucuaia (SAU) (Profill, 2022). As veredas são áreas onde a água subterrânea aflora naturalmente, pois o nível freático (isto é, o nível da água no subsolo) está próximo da superfície (Durigan, 2022).

Figura 1 – Localização da área de estudo Parque Nacional Grande Sertão Veredas e pontos de coleta da taxa de infiltração de água no solo



Metodologia

- Taxa de infiltração de água no solo

Foram conduzidos testes de campo para estimar a taxa infiltração da água no solo, no interior e no entorno do Parque Nacional Grande Sertão Veredas (PNGSV) utilizando o Infiltrômetro de anéis concêntrico e o método da lâmina de água variável. Foram selecionados 21 pontos e os seguintes tipos de uso e cobertura do solo: Cerrado, Mata Ciliar, Vereda, pastagem e plantios de soja com rotação de milho, e soja com rotação de capim.

A metodologia consistiu na preparação prévia dos pontos de medição, com a remoção de serrapilheira, vegetação e pedras para evitar interferências. Os anéis concêntricos foram instalados com auxílio de uma marreta e uma madeira para garantir a introdução uniforme de 10 cm dos anéis no solo e o correto nivelamento. Iniciou-se o teste adicionando água ao anel externo até uma altura de 5 cm e, em seguida, ao anel interno até a mesma altura, momento em que foi iniciada a cronometragem do tempo. As medições da lâmina d'água no anel interno foram realizadas aos 1, 3 e 5 minutos iniciais, e posteriormente a cada 5 minutos. O teste foi finalizado quando toda a água adicionada no anel havia infiltrado no solo ou quando o nível da lâmina permaneceu constante em três medições consecutivas.

A partir dos dados coletados, foi determinada a taxa de infiltração de água no solo ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$) para os diferentes usos e coberturas do solo através de planilha eletrônica Excel, utilizando a altura da lâmina de água aplicada (5 cm) e o tempo para infiltração de água no solo:

$$\text{Taxa de infiltração} = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

Onde Δh é a variação da altura de água aplicada no início e no final do teste (5 cm) e Δt é o tempo de corrido desde o início até o final do teste (minutos).

Figura 2 – Teste de infiltração utilizando o Infiltrômetro de anéis concêntricos (figura da esquerda) e Teste de resistência a penetração (figura da direita).



- Testes de resistência a penetração

Foram realizados testes de resistência à penetração do solo, utilizando um equipamento denominado penetrômetro hidráulico do tipo Compact-Test, que mede a firmeza (ou compactação) do solo. O teste de resistência à penetração foi conduzido inserindo-se a haste do penetrômetro no solo, que possui 70 cm e aplicando uma pressão uniforme nas alças do instrumento. Conforme a haste do instrumento penetra no solo, foram anotadas as profundidades com base na graduação presente na haste e filmada a variação da pressão registrada pelo manômetro. Em cada ponto o resultado do teste foi baseado na média de três medidas. O teste foi considerado finalizado quando (i) a haste havia sido penetrada no

solo por inteiro ou (ii) uma camada compactada era encontrada e o havia impedimento para dar continuar penetrando a haste no solo. A profundidade do início da camada compactada foi anotada.

Os valores da pressão exercida medidas pelo manômetro foram convertidos de “psi” em kilograma-força por centímetro quadrado (kgf.cm^{-2}).

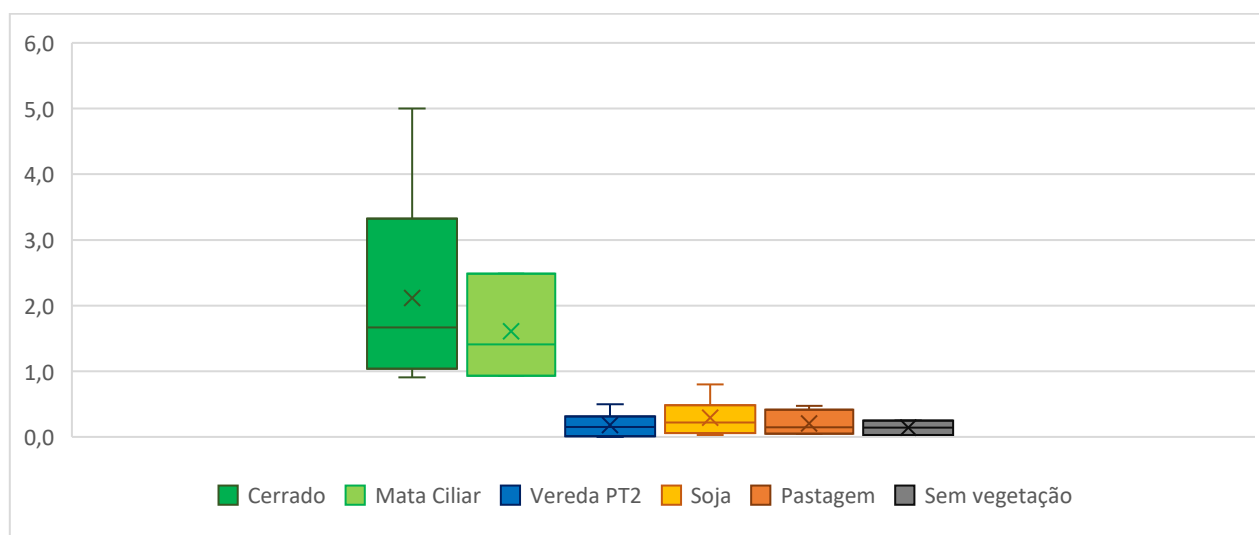
- Coleta de amostras de solo

Foram coletadas também amostras de solo nos mesmos locais e épocas do ano em que os testes de infiltração foram realizados. As amostras, deformadas e compostas, foram retiradas da camada superficial do solo (0–20 cm) com o uso de uma cavadeira. Após a coleta, as amostras foram devidamente identificadas, acondicionadas em sacos plásticos e enviadas para análise em laboratório especializado. As análises laboratoriais incluíram a determinação da umidade gravimétrica (%), matéria orgânica (g/dm^3), carbono orgânico (g/dm^3) e ph (CaCl_2), seguindo os procedimentos descritos pela Embrapa (2017, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Cerrado apresentou as maiores taxas de infiltração de água no solo, embora com grande variação entre os pontos amostrados. Essa variação pode indicar heterogeneidade nas condições físicas do solo, possivelmente relacionada a diferenças de relevo, compactação natural ou intervenções antrópicas pontuais. As veredas registraram taxas menores, semelhantes ou até inferiores às observadas em áreas antrópicas. Os plantios de soja e as pastagens apresentaram baixas taxas de infiltração e pouca variação entre os pontos, sugerindo menor capacidade de absorção de água em função do manejo agrícola. A área sem vegetação apresentou os menores valores, reforçando que a ausência de cobertura vegetal reduz drasticamente a capacidade de infiltração do solo.

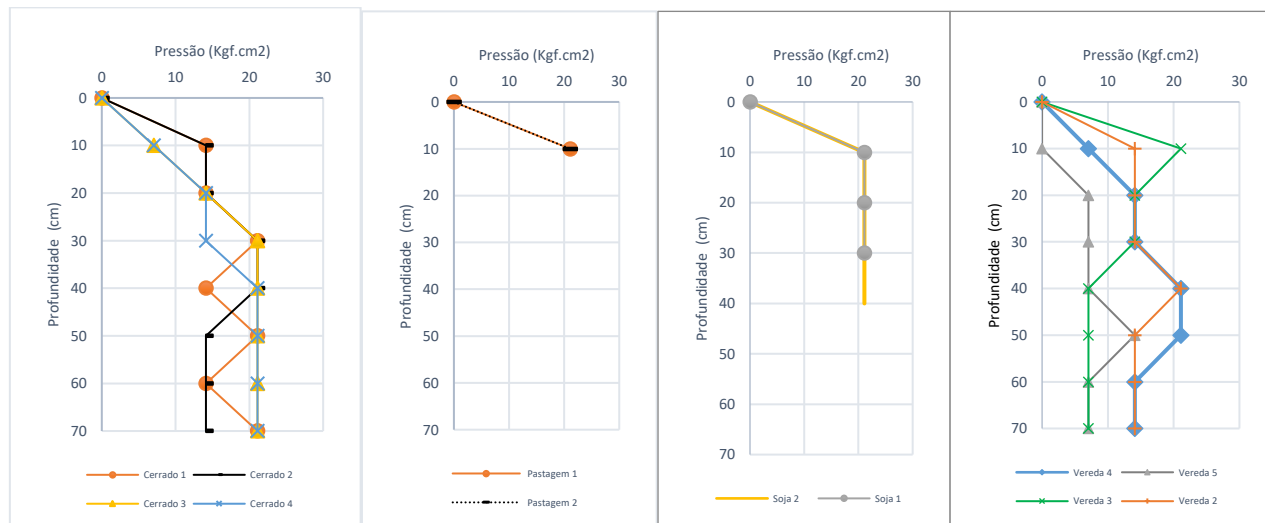
Figura 3 – (A) Teste de infiltração utilizando o Infiltrômetro de anéis concêntricos e (B) Teste de resistência a penetração



Os resultados dos testes de resistência à penetração indicam que a estrutura física do solo é determinante para explicar as diferenças nas taxas de infiltração observadas. De modo geral, os valores de pressão para uma mesma profundidade foram mais elevados nas áreas antropizadas, sugerindo maior densidade do solo. Em todas as áreas de vegetação nativa, a haste do penetrômetro atingiu 70 cm de profundidade, enquanto, nas áreas de pastagem e soja, camadas compactadas impediram a penetração completa. Nas pastagens, o penetrômetro alcançou apenas 10 cm, evidenciando compactação logo na superfície (Figura 3). De forma semelhante, nas áreas de soja 4 e

5 a penetração foi limitada a 10 cm, soja 1 e 3 permitiram até 30 cm e soja 2 até 40 cm. Em contraste, nas áreas nativas, além da maior profundidade e ausência de camada compactada, observou-se em campo que o movimento da haste foi mais contínuo e homogêneo, indicando estrutura menos densa e mais favorável ao fluxo de água.

Figura 3 – Resultado do Teste de resistência a penetração



As diferenças encontradas entre áreas nativas e antrópicas corroboram estudos que indicam que a substituição da vegetação nativa por sistemas de uso intensivo altera a estrutura do solo, reduzindo os macroporos e dificultando a infiltração de água (Gomes et al., 2018; Silva et al., 2017). O Cerrado é reconhecido por sua elevada capacidade de infiltração, desempenhando papel essencial na manutenção do ciclo hidrológico e na recarga dos aquíferos (Lima e Silva, 2007). No entanto, o alto teor de areia e a baixa concentração de matéria orgânica tornam essas funções sensíveis à intensificação das atividades humanas, como o uso de maquinário agrícola e o pisoteio por bovinos em pastagens (Anache, 2018; Anache, 2017). A pressão mecânica sobre o solo em áreas antrópicas provoca compactação, reduzindo a porosidade e a condutividade hidráulica, o que compromete diretamente a capacidade de infiltração em comparação às áreas sob vegetação nativa (Zhong et al., 2018; Anache et al., 2017; Oliveira et al., 2018). Essa compactação também favorece o aumento do escoamento superficial e da erosão, agravando a perda de água e solo nas áreas agrícolas (Gomes et al., 2018; Silva et al., 2017). Assim, a alteração da estrutura do solo por práticas de manejo inadequadas constitui um fator limitante relevante para a conservação dos serviços ecossistêmicos do Cerrado, especialmente no que se refere à regulação hídrica.

As áreas agrícolas analisadas localizam-se em zonas de chapada, reconhecidas por sua função ecossistêmica de recarga hídrica, recebendo e infiltrando a água da chuva que alimenta cursos d'água nas partes mais baixas da bacia, como as veredas do PNGSV. Além disso, as propriedades agrícolas analisadas estão localizadas na zona de amortecimento do parque. Portanto, a alteração estrutural do solo decorrente da intensificação agrícola nessas áreas pode estar contribuindo para as alterações hidrológicas das veredas no interior do parque.

Como mostrado na Figura 3, as taxas de infiltração estimadas para as veredas foram semelhantes às observadas nas áreas antrópicas (pastagem e soja). No entanto, acredita-se que os baixos valores em cada uma das áreas tenham causas distintas. Nas áreas alagáveis das veredas, onde os dados foram coletados, os teores de matéria orgânica, carbono orgânico e umidade foram, em geral, os mais elevados entre todas as áreas analisadas, como esperado em solos hidromórficos características desses locais (Durigan, 2022) (Tabela 2).

A alta concentração de matéria orgânica pode aumentar a retenção hídrica na camada superficial do solo, dificultando a entrada de mais água e, conseqüentemente, reduzindo as taxas de infiltração. Essa condição se agrava quando o solo já está próximo da saturação, como ocorreu durante as campanhas de coleta devido ao período chuvoso. Além disso, o acúmulo de matéria orgânica em ambiente saturado pode formar uma camada superficial densa e pegajosa, atuando como barreira física à infiltração imediata. Outro fator é a proximidade do lençol freático: nas veredas, especialmente na estação chuvosa, o nível freático se eleva até próximo da superfície, limitando a infiltração vertical pela saturação pré-existente do solo.

Esses resultados diferenciam as veredas dos sistemas antrópicos, onde os baixos valores de infiltração decorrem principalmente da degradação física do solo, como a compactação superficial causada por pisoteio ou maquinário agrícola. Essa diferença também se evidencia nos testes de resistência à penetração (Figura 3): nas veredas, o penetrômetro atingiu 70 cm de profundidade sem camadas compactadas, e os valores de pressão foram relativamente mais baixos em toda a profundidade. Portanto, embora as taxas de infiltração das veredas possam ser semelhantes às das áreas de pastagem e soja, os mecanismos que limitam esse processo são distintos.

Tabela 2 – Valores de Matéria orgânica (M.O.) (g/dm³), carbono orgânico (Carb.), umidade (Umi.) (%) e ph para os locais onde foram realizadas as coletas de solo, os testes com o Infiltrômetro de anéis e de resistência a penetração

Amostras		M.O. (g/dm ³)	Carb. (g/dm ³)	ph	Umi. (%)	Amostras		M.O. (g/dm ³)	Carb. (g/dm ³)	ph	Umi. (%)
Cerrado	C1	14	8,12	4,2	10,1	Pasto	P2	9	5,22	5,1	6,2
Cerrado	C2	12	6,96	4,3	10,1	Mata Ciliar	M1	1,62	2,8	4,1	10,4
Cerrado	C3	10	5,8	4,3	7	Mata Ciliar	M2	1,57	2,7	3,8	19,7
Cerrado	C4	7	4,06	4,3	6,3	Mata Ciliar	M3	1,1	1,9	3,9	9,8
Soja	S1	14	8,12	5,3	8,5	Sem vegetação	SV1	0,64	1,1	4	6,2
Soja	S2	19	11,02	5,5	11,8	Sem vegetação	SV2	0,93	1,6	4	6,2
Soja	S3	12	6,96	6	11,9	Vereda	2	21	12,18	4,4	27,2
Soja	S4	10	5,8	5,8	9,5	Vereda	3	46	26,68	4,1	46,7
Soja	S5	11	6,38	5,3	7,6	Vereda	4	75	43,5	4,1	65,1
Pasto	P1	8	4,64	5,4	8,1	Vereda	5	31,32	4	42,8	54

Devido às características hidrológicas das veredas identificadas neste estudo, essas áreas têm pouca contribuição direta para a recarga hídrica por infiltração, especialmente no período chuvoso, quando o solo já está saturado. Por isso, as veredas dependem fortemente das partes mais elevadas da bacia hidrográfica para garantir o fornecimento de água, sendo sensíveis a alterações na estrutura do solo nessas regiões. Com a expansão das áreas convertidas para uso agropecuário na bacia do rio Carinhanha e a redução progressiva das zonas com alta capacidade de infiltração, as áreas de recarga restringem-se quase exclusivamente ao Cerrado conservado.

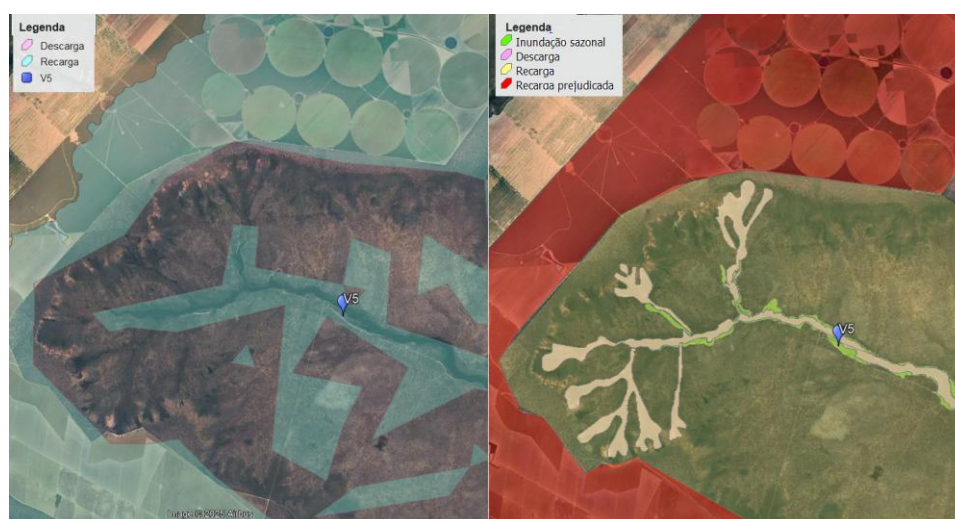
Assim, os resultados obtidos indicam que a água infiltrada no Cerrado nativo pode não ser suficiente para atender, simultaneamente, às demandas das outorgas de uso agrícola e ao funcionamento hidrológico das veredas. Em outras palavras, essas duas demandas competem pelo mesmo recurso: a água infiltrada. Essa hipótese é reforçada pela ocupação das áreas sazonalmente saturadas das veredas por espécies menos tolerantes à umidade e pela morte de buritis (*Mauritia flexuosa*), espécie indicadora de ambientes úmidos (Bijos et al., 2023).

Identificar quais áreas realmente contribuem para a recarga de água subterrânea após a chuva é essencial para priorizar ações e estratégias de conservação. Contudo, na maioria dos estudos esse processo não é realizado. No trabalho da ANA (2017), por exemplo, a determinação das áreas de recarga foi simplificada, baseada apenas em critérios físicos, como a declividade do terreno. Áreas com baixa declividade (até 2%) foram classificadas como favoráveis a recarga, por reterem a água da chuva por mais tempo e favorecerem a infiltração, enquanto áreas mais íngremes foram associadas ao escoamento superficial. O estudo também considerou como áreas de recarga toda a faixa marginal de rios, lagos e nascentes, definindo como áreas de descarga os corpos hídricos onde as águas subterrâneas afloram após circular pelo aquífero.

Essas definições divergem dos resultados obtidos neste estudo. As estimativas mostram que áreas antrópicas, embora localizadas em regiões planas, têm baixo potencial de recarga. Nas veredas, as faixas marginais aos cursos d'água correspondem a áreas sazonalmente saturadas, com pouca contribuição em termos de infiltração. Já o Cerrado preservado, embora presente em áreas planas, muitas vezes ocupa regiões de maior declividade, não favoráveis à mecanização agrícola. Assim, considerar apenas a declividade, sem levar em conta o uso e a cobertura do solo, como no estudo da ANA (2017), pode ter gerado generalizações prejudiciais à segurança hídrica da bacia do rio Carinhanha e a decisões ineficazes de gestão e governança. A Figura 4 apresenta a comparação entre as delimitações de áreas com maior potencial de recarga feitas pela ANA e outra feita com base nos resultados deste estudo para a Veredas 5 (V5).

A baixa incorporação dos efeitos do uso e cobertura do solo sobre a infiltração também é observada em outros estudos da bacia do rio Carinhanha (Mantovani, 2021; PROFILL, 2022). Essa limitação pode decorrer da subestimação do papel da degradação do solo, resultante de práticas de manejo inadequadas, na produtividade hídrica, e/ou da escassez de dados de campo em estudos de grandes áreas. Além disso, o uso de ferramentas de geoprocessamento sem validação local tende a não captar especificidades, pois se limita aos atributos matemáticos intrínsecos aos processos computacionais.

Figura 4 – Áreas de recarga e descarga da Vereda 5 (V5) e seu entorno, definidas com base na topografia (ANA, 2017) (imagem da esquerda) e definidas com base nos dados de taxa de infiltração, coletadas no PNGSV e seu entorno (imagem da direita)



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que a capacidade de infiltração da água no solo varia significativamente conforme o uso e a cobertura, sendo maior em áreas de vegetação nativa e menor em áreas antrópicas, como pastagens e cultivos agrícolas. Nas áreas agrícolas, a compactação superficial e a perda de

estrutura comprometem diretamente a recarga hídrica, função que permanece ativa apenas nos remanescentes conservados do Cerrado. Embora as veredas apresentem infiltração limitada, essa condição decorre de fatores naturais, como a saturação do solo e a proximidade do lençol freático.

A comparação com estudos institucionais reforça que considerar apenas a declividade não é suficiente para delimitar áreas de recarga. É essencial incorporar dados de campo e reconhecer as especificidades locais de uso e qualidade do solo. Este estudo busca contribuir para orientar ações de conservação e subsidiar políticas públicas mais eficazes, especialmente no âmbito da gestão integrada da água e do território no entorno do Parque Nacional Grande Sertão Veredas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho apresenta os resultados preliminares de uma consultoria realizada no âmbito do projeto de fortalecimento da gestão do Parque Nacional Grande Sertão Veredas, uma iniciativa da Fundação Pró-Natureza – Funatura, financiada pelo Instituto Humanize, por meio do termo de parceria tpr 08-2024-00/projeto 1130000. Agradeço à equipe da Funatura pelo suporte institucional e técnico durante a execução do estudo, bem como aos gestores do PNGSVE às instituições locais que colaboraram no processo de coleta de dados e troca de informações.

REFERÊNCIAS

- ANA Agência Nacional de Águas (Brasil). Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuaia e proposição de modelo de gestão integrada compartilhada: volume 2 - Hidrogeologia dos sistemas aquíferos Urucuaia e Areado: relatório final / Agência Nacional de Águas; Elaboração e Execução: Consórcio Engecorps - Walm. -- Brasília ANA. 2017.
- ANACHE, J. A. A. Estimativa da erosão hídrica em escala de encosta com base em observações experimentais e modelagem hidrossedimentológica. 2017. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-17042018-110107/publico/ANACHE_JAA_2017.pdf. Acesso em: 8 maio 2025.
- ANACHE, J. A. A. et al. Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. *Science of The Total Environment*, v. 622–623, p. 140–151, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.257>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- ANACHE, J. A. A. et al. Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: A meta-analysis of the Brazilian experience. *Catena*, v. 152, p. 29–39, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.003>. Acesso em: 12 mar. 2025.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 22 jan. 2025.
- BENDITO, Bianca Pietsch Cunha; CHAVES, Henrique Marinho Leite; SCARIOT, Aldicir. Erosion and Sedimentation Processes in a Semi-Arid Basin of the Brazilian Savanna under Different Land Use, Climate Change, and Conservation Scenarios. *Water*, v. 15, n. 3, p. 563, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15030563>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- BIJOS, NATÁLIA R. ; DA SILVA, DIOGO PEREIRA ; MUNHOZ, CÁSSIA B. R. . Soil texture and fertility determine the beta diversity of plant species in veredas in Central Brazil. *PLANT AND SOIL* , v. 492, p. 241-259, 2023.
- DURIGAN, Giselda et al. Cerrado wetlands: multiple ecosystems deserving legal protection as a unique and irreplaceable treasure. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 20, n. 3, p. 185–196, 2022. ISSN 2530-0644. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.06.002>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. ISBN 978-85-7035-800-4.
- GMACH, M. R. et al. Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. *Geoderma Regional*, v. 14, p. e00178, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00178>. Acesso em: 8 maio 2025.
- GOMES, L. et al. Agricultural Expansion in the Brazilian Cerrado: Increased Soil and Nutrient Losses and Decreased Agricultural Productivity. *Land*, v. 8, n. 1, p. 12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land8010012>. Acesso em: 14 fev. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pedologia 1:250.000. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html>. Acesso em: 19 jan. 2025.

LIMA, J. E.; SILVA, E. D. Estimativa da contribuição hídrica superficial do Cerrado para as grandes regiões hidrográficas brasileiras. In: *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2007.

MANTOVANI, E. C. et al. Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: quantificação e monitoramento da disponibilidade dos recursos do Aquífero Urucuia e superficiais nas bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhonha. Viçosa: UFV, 2019. Relatório Técnico Final.

OLIVEIRA, P. T. S. et al. Rates, factors, and tolerances of water erosion in the Cerrado biome of Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 45, n. 1, p. 121–134, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/esp.5273>. Acesso em: 14 mar. 2025.

PROFILL - ENGENHARIA E AMBIENTE S.A. Entendimento da utilização das águas na área de influência do Aquífero Urucuia e Aquífero Cárstico na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: relatório final conclusivo consolidado. Revisão 02. Belo Horizonte: Agência Peixe Vivo; Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2022.