

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Instituto de Ciências Agrárias

Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental

Matheus Silva Lopes

**ARMAZENAMENTO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NOS SOLOS DE “VÃO” EM
UNAÍ, MG**

**Unaí
2024**

Matheus Silva Lopes

**ARMAZENAMENTO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NOS SOLOS DE “VÃO” EM
UNAÍ, MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício da Silva Terra

**Unaí
2024**

Matheus Silva Lopes

**ARMAZENAMENTO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NOS SOLOS DE “VÃO” EM
UNAÍ, MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Fabrício da Silva Terra

Data de aprovação ____/____/____.

Prof. Dr. Fabrício da Silva Terra
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Prof. Dr. Hermes Soares da Rocha
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Dr. Igor Alexandre de Souza
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Unaí

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado e guiado nessa jornada. Agradeço também à minha família e amigos, por todo o apoio que me deram, a todos os professores que compartilharam seus conhecimentos, em especial ao professor Dr. Fabrício Terra por me orientar e auxiliar nesse trabalho, além da paciência e compreensão. Aos colegas, que participaram e estiveram juntos no curso, em especial ao João, que ajudou no trabalho. E, em especial, agradeço à minha namorada, Giovana, que esteve ao meu lado, mesmo nas horas difíceis e me encorajou infinitas vezes a seguir em frente e encarar os desafios.

“Questionar sempre
Acreditar com diligência
E confiar na intuição”
(Ponto Nulo no Céu, “Telas”).

RESUMO

Este estudo avaliou a dinâmica do armazenamento de água em diferentes tipos de solos, presentes na Fazenda Experimental Santa Paula, durante o ano agrícola 2022/2023, considerando perfis de solo presentes nas áreas de “vão”, em Unaí - MG. Foram monitorados o potencial matricial e a capacidade de armazenamento de água em diferentes profundidades, com dados coletados mensalmente. Dezembro foi identificado como o mês com maior armazenamento de água em todos os tipos de solo, enquanto os meses com maior déficit hídrico variaram: outubro para o Nitossolo e junho para os demais solos. Estatisticamente, à medida que se aumenta a profundidade, o total mensal de água armazenada tende a ter menor diferença. Observou-se que os Latossolos, mais intemperizados e argilosos, apresentaram maior capacidade de retenção de água devido à presença de microporos. Em contraste, os Cambissolos, por serem mais jovens e menos desenvolvidos, retiveram menor quantidade de água. A capacidade de água disponível apresentou-se maior nos Latossolos, chegando a 43,76 no Latossolo vermelho entre 0 e 60 cm, e apresentou-se menor no Cambissolo e Nitossolo, onde apresentaram valores menores nas maiores profundidades. Os dados obtidos contribuem para uma melhor compreensão da capacidade de armazenamento hídrico em diferentes tipos de solo, auxiliando no manejo sustentável dos recursos hídricos em áreas agrícolas.

Palavras-chave: hidropedologia, intemperismo, potencial matricial, topossequência, umidade volumétrica.

ABSTRACT

This study evaluated the dynamics of water storage in different soil types present at the Santa Paula Experimental Farm during the 2022/2023 agricultural year, considering soil profiles in the “vão” areas in Unaí - MG. The matric potential and water storage capacity at different depths were monitored, with data collected monthly. December was identified as the month with the highest water storage in all soil types, while the months with the highest water deficit varied: October for the Nitisol and June for the other soils. Statistically, as depth increases, the monthly total of stored water tends to show less variation. It was observed that the Latosols, being more weathered and clayey, had a higher water retention capacity due to the presence of micropores. In contrast, the Cambisols, being younger and less developed, retained less water. The available water capacity was higher in the Latosols, reaching 43.76 in the red Latosol between 0 and 60 cm, and lower in the Cambisol and Nitisol, where lower values were observed at greater depths. The data obtained contribute to a better understanding of the water storage capacity in different soil types, aiding in the sustainable management of water resources in agricultural areas.

Keywords: hydropedology, weathering, matric potential, toposequence, volumetric moisture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Área de "Vão" de Unai, MG.	12
Figura 2 - Topossequência estudada.	14
Figura 3 – Variação do potencial matricial nos diferentes tipos de solos, nas profundidades estudadas em cada mês.	18
Figura 4 – Total mensal de água armazenada em cada mês do ano agrícola.	19
Figura 5 – Total mensal de água armazenada em cada classe de solo	20
Figura 6 – Total mensal de água armazenada no LV entre 0 e 20 cm.	21
Figura 7 – Total mensal de água armazenada no LVA entre 0 e 20 cm.	22
Figura 8 – Total mensal de água armazenada no LA entre 0 e 20 cm.	22
Figura 9 – Total mensal de água armazenada no NV entre 0 e 20 cm.	22
Figura 10 – Total mensal de água armazenada no CX entre 0 e 20 cm.	23
Figura 11 – Precipitação e armazenamento de água no LV entre 20 e 40 cm.	23
Figura 12 – Precipitação e armazenamento de água no LVA entre 20 e 40 cm.	24
Figura 13 – Precipitação e armazenamento de água no LA entre 20 e 40 cm.	24
Figura 14 – Precipitação e armazenamento de água no NV entre 20 e 40 cm.	24
Figura 15 – Precipitação e armazenamento de água no CX entre 20 e 40 cm.	25
Figura 16 – Precipitação e armazenamento de água no LV entre 40 e 60 cm.	25
Figura 17 – Precipitação e armazenamento de água no LVA entre 40 e 60 cm.	26
Figura 18 – Precipitação e armazenamento de água no LA entre 40 e 60 cm.	26
Figura 19 – Precipitação e armazenamento de água no NV entre 40 e 60 cm.	26
Figura 20 – Precipitação e armazenamento de água no CX entre 40 e 60 cm.	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos valores de água disponível (AD) em solos brasileiros	17
Tabela 2 – Água disponível e classificação em relação à AD nos diferentes perfis de solo e profundidades, em mm cm-1	21
Tabela 3 – Capacidade de água disponível nos perfis de solo em cada faixa de profundidade, em mm.	27
Tabela 4 – Taxa média de água armazenada, em mm dia ⁻¹ , nos perfis durante o ano agrícola, período seco e chuvoso	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	METODOLOGIA	13
2.1	Localização e características climáticas	13
2.2	Tipos de solos e topossequência estudada	13
2.3	Coleta e análise de amostras de solo	14
2.4	Monitoramento da umidade do solo	15
2.5	Cálculo do armazenamento de água no solo e relação da precipitação com a água disponível	16
2.6	Análises estatísticas	17
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

O armazenamento da água no solo configura-se como a capacidade do mesmo em reter a água proveniente da chuva ou irrigação que o infiltra e indica a quantidade de água presente no solo, expressa em lâmina, em qualquer tempo (Reichardt e Timm, 2004). O solo armazena dois terços de toda a água doce no planeta e essa água sustenta 90% da produção agrícola mundial (FAO, 2021). Da mesma forma, modelagens hidrológicas em bacias hidrográficas rurais e sistemas agrícolas também são dependentes desta propriedade físico-hídricas (Melo e Silva, 2013).

A água armazenada no solo depende da sua textura, mineralogia, estruturação, distribuição e tamanho médio dos poros e tipo de manejo ao qual está submetido (Weiler e McDonnell, 2004, Bronick e Lal, 2005). Dentre as propriedades físico-hídricas do solo que mais são modificadas em decorrência alteração do uso e manejo está a capacidade de armazenamento, sendo um importante atributo a ser analisado para avaliações de suscetibilidade à erosão do solo, onde solos compactados possuem menor capacidade de armazenamento. Desta forma, a quantidade de água a ser armazenada está relacionada aos processos de escoamento superficial e erosão, pois quanto maior for o armazenamento de um solo, menor será o escoamento superficial deste.

O volume e a qualidade da água precipitada que é armazenada em lençóis freáticos e aquíferos dependem principalmente da qualidade física dos solos que esta atravessa. Por exemplo, estando o solo compactado ou selado superficialmente, o volume infiltrado e armazenado de água será reduzido e, conseqüentemente, haverá um aumento no escoamento superficial que poderá iniciar um processo de erosão hídrica, afetando seu estado de conservação e provocando a perda de seu material mineral e orgânico na forma de sedimentos (Pruski, 2009). Indiscutivelmente, esse fato está associado a prejuízos econômicos e, sobretudo, ambientais, uma vez que sedimentos produzidos por processos erosivos provocarão o assoreamento e a eutrofização de corpos d'água.

A baixa disponibilidade de água para as plantas afeta à sua fisiologia e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento (Paulilo et al., 2015). Sendo assim, do ponto de vista agrícola, é de fundamental importância conhecer a quantidade de água armazenada em um perfil de solo em dado instante, sendo que os microporos têm seu papel principal na armazenagem e disponibilização da água às plantas (van Lier, 2020). Diferentes usos e manejos proporcionam alterações no armazenamento de água no solo, onde usos que causam compactação, como sistemas convencionais de cultivo, diminuem a quantidade de água a ser armazenada, pois a

redistribuição e o arrançamento das partículas sólidas durante a compactação provocam a redução do espaço poroso. Em contrapartida, práticas conservacionistas de cultivo (plântio direto, rotação de cultura, adubação verde, cultivo mínimo e integração lavoura-pecuária-floresta) resultam em uma qualidade física estrutural do solo favorável, o que acarreta o aumento da sua capacidade de armazenar água (Prado et al., 2010).

Complementar ao conhecimento do armazenamento de água no solo está o conceito de água disponível, o qual indica a quantidade de água que pode ser armazenada no solo e utilizada pelas plantas (Ritchie, 1981). Trata-se de um atributo físico-hídrico de extrema importância para a agricultura, pois impacta diretamente no tempo em que planta conseguirá sobreviver sem chuva. A água disponível no solo é definida como o valor da umidade volumétrica entre um limite superior, definido pela umidade volumétrica na capacidade de campo, e um limite inferior, definido pela umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (van Lier, 2020).

A capacidade dos solos de reter água em sua matriz porosa é função das suas características estruturais, físicas e mineralógicas (Reichardt e Timm, 2004) e constitui uma característica determinante para o crescimento e a produtividade das culturas agrícolas. A capacidade de água disponível para os cultivos é estimada em função da profundidade efetiva do sistema radicular e da disponibilidade total de água no solo, sendo calculada pela multiplicação entre a água disponível total no solo e profundidade efetiva das raízes, representando o volume de água que pode ser retido pelo solo e absorvida pelas plantas. Esse conceito foi proposto por Veihmeyer e Hendrickson (1949) e, apesar de não considerar o equilíbrio dinâmico da água no sistema solo-planta-atmosfera, tem grande aplicabilidade prática (Carlesso, 1995; van Lier, 2020).

Informações sobre armazenamento e disponibilidade de água são de fundamental importância para interpretações dos solos quanto ao: escoamento superficial e permeabilidade de água, susceptibilidade à erosão hídrica, potencial de recarga hídrica em bacias hidrográficas, taxa máxima de água a ser aplicada em sistemas de irrigação, dimensionamento de sistemas de drenagem, potencial de armazenamento de água e sua disponibilidade para plantas, entre outras. Esses dois atributos são inter-relacionados e dependem de outros atributos físicos tais como granulometria, densidades de partícula e solo, porosidades total, macro e micro, umidade volumétrica e resistência do solo à penetração (Ferreira, 2010; Libardi, 2000; Reicher et al., 2010).

Dá-se o nome de agricultura de sequeiro à prática agrícola de cultivos em épocas e/ou áreas onde a pluviosidade é diminuta, desprovidas de infraestrutura de irrigação, em que a expressão “sequeiro” deriva da palavra seco (Insper Agro Global, 2024). Este tipo de prática é muito utilizado no Cerrado brasileiro, onde a estação seca é bem definida e pode durar quase cinco meses com precipitações inferiores à 50 mm. O plantio de sequeiro costuma ser intensivo, frágil e com pouca rotação de culturas (Rocha et al., 2020). Este tipo de prática agrícola visa atingir a eficiência produtiva em solos de clima mais árido através da escolha de espécies de cultivo que não necessitam de irrigação constante e que suportam maiores períodos de estiagem.

De qualquer forma, a agricultura de sequeiro ainda é caracterizada como de elevado risco tendo em vista que o sucesso das safras depende da distribuição das chuvas e da quantidade de água armazenada e disponível no solo, pois a estiagem em períodos críticos de desenvolvimento da cultura (florescimento ou enchimento de vagens) prejudica o rendimento final e a produção, sendo que culturas de ciclo mais curtos são as mais prejudicadas (Alves et al., 2009; Vasconcelos et al., 2019).

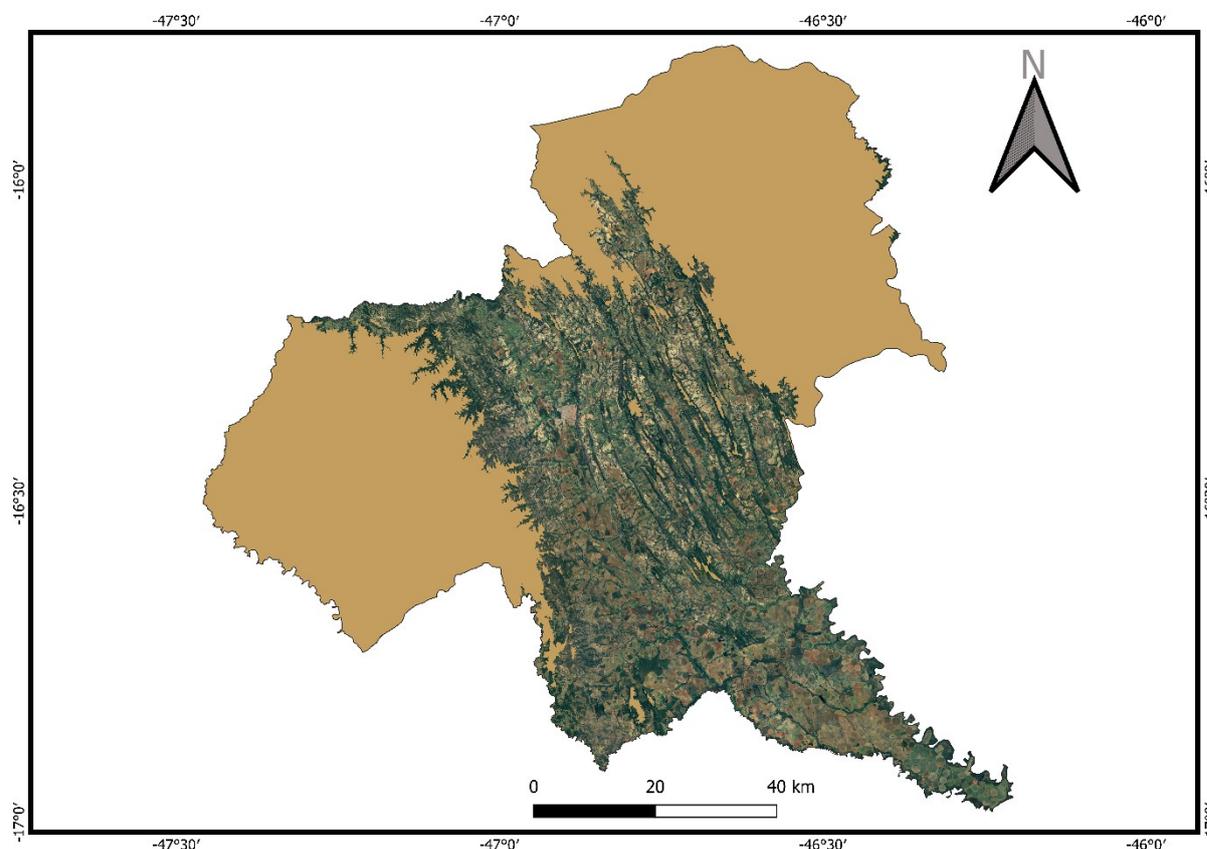
A agricultura de sequeiro é de extrema importância para a segurança alimentar da população, principalmente em municípios com secas recorrentes e com mais de 50% da população vivendo na zona rural (Pereira; Silva Junior, 2018). Para lidar com a problemática do déficit hídrico na agricultura de sequeiro e minimizar os prejuízos na produção, seria necessário o aproveitamento da água da chuva em locais com baixa pluviosidade e a efetivação do seu armazenamento em reservatórios, para utilização na irrigação durante a época seca (Barron et al., 1999; Rockström, 2001).

No município de Unai, a abundância agrícola desenvolve-se essencialmente sobre as áreas de chapadas e chapadões, constituídas por classes de solos de excelente qualidade físico-hídrica, a saber: Latossolos Vermelhos e Amarelos (Oliveira et al., 2017; Campos, 2019), com alta tecnificação sobretudo relacionada à irrigação por pivô central, sendo aproximadamente 79,9 mil hectares ocupados por pivôs centrais, conforme o levantamento da agricultura irrigada realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2023). No entanto, nas áreas da chamada região de “Vão” do município ainda se pratica predominantemente a agricultura de sequeiro, altamente dependente da água armazenada no solo durante a época chuvosa. Tal região corresponde a vertentes de cotas mais baixas, altitude média de 640 m, situadas entre os rebordos das chapadas/chapadões e as Cristas de Unai, uma série de serras e morros alinhados (Naime et al., 2014; Campos, 2019).

As áreas da região de “Vão” de Unai apresentam relevo ondulado a suave ondulado e são constituídas, na sua maioria, por classes de solos incipientes (Campos, 2019), que

naturalmente apresentam níveis consideráveis de susceptibilidade à erosão e ao selamento superficial, sendo geralmente preteridas para a produção agrícola de larga escala e destinadas à produção familiar e agricultura de subsistência em pequenas propriedades. Tendo em vista a marginalização destas áreas, exceto para produção em pequena escala, o conhecimento do comportamento dos seus solos em relação ao armazenamento e à disponibilidade de água é praticamente inexistente, o que se torna um fator preocupante considerando o longo período de seca que passa a região e a prática agrícola de sequeiro predominantemente desenvolvida no “Vão” de Unai.

Figura 1 - Área de "Vão" de Unai, MG.



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

A hipótese deste estudo é que os solos mais intemperizados da região de "Vão" em Unai (MG) apresentem maior armazenamento e CAD, devido à sua textura e estrutura. A agricultura de sequeiro na região, que depende da água armazenada no solo, é mais vulnerável, especialmente durante os períodos de estiagem. Espera-se que o armazenamento de água nos solos esteja fortemente correlacionado com os padrões de precipitação, com os meses de menor chuva apresentando maiores déficits hídricos. Espera-se também que solos

mais jovens apresentem melhores características físico-hídricas nas camadas mais superficiais.

O objetivo geral foi obter informações sobre o armazenamento de água em solos ao longo de uma topossequência da região de “Vão” no município de Unaí (MG), ao longo do ano agrícola 2022/2023, compará-los e classificá-los quanto à disponibilidade desta água armazenada. Além disso, definir os meses de maior déficit e abundância de água nos solos no ano agrícola estudado, quantificar as taxas de ganho ou perda de água média diária nos solos para cada mês ao longo do período estudado, relacionar as informações sobre o armazenamento de água com os dados de precipitação do ano agrícola investigado e avaliar as variações do potencial matricial médio mensal dos solos em profundidade.

2 METODOLOGIA

2.1 Localização e características climáticas

Os solos estudados estão inseridos na área da Fazenda Experimental Santa Paula (FESP), pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da UFVJM, Campus Unaí. A FESP possui 132 ha e encontra-se entre as latitudes $-16,45^\circ$ e $-16,43^\circ$ e longitudes $-46,91^\circ$ e $-46,89^\circ$ (Datum WGS 84) e está localizada na área de “Vão” de Unaí. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo tropical com estação seca de inverno (Aw) (Naime et al., 2014). O regime de precipitação, cuja média anual varia entre 1400 e 1500 mm, divide-se em um período chuvoso de outubro a março (de 770 a 810 mm) e outro período seco de abril a setembro (de 5 a 49 mm).

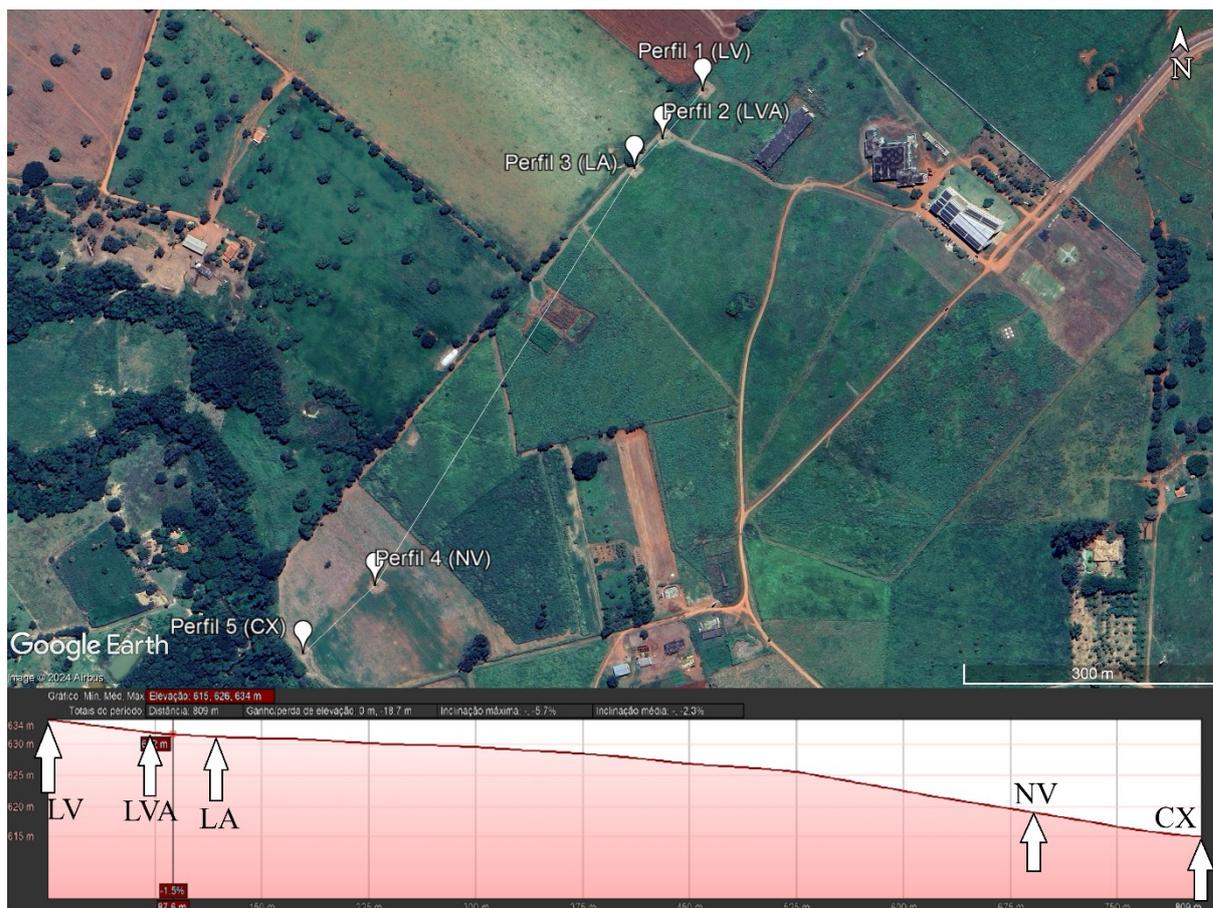
As médias anuais de temperatura e umidade relativa variam de 21°C a 23°C e 65% a 72%, respectivamente. Os solos da área de estudo distribuem-se entre: Latossolo Vermelho, Latossolo Amarelo, Nitossolo Vermelho, Neossolo Litólico, Cambissolo Háplico, Plintossolo Pétrico, Plintossolo Háplico e Gleissolo Melânico (Embrapa, 2018).

2.2 Tipos de solos e topossequência estudada

Os solos que foram investigados quanto às suas características de armazenamento e disponibilidade de água fazem parte de uma topossequência de 5 perfis (Figura 1) que já foram,

anteriormente, levantados, descritos e classificados por Campos (2019). Destes, as seguintes classes de solo foram identificadas: LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico (perfil 1), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico (perfil 2), LATOSSOLO AMARELO Distrófico petroplíntico (perfil 3), NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico (perfil 4) e CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico (perfil 5).

Figura 2- Topossequência estudada.



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

2.3 Coleta e análise de amostras de solo

O potencial matricial se refere à energia da água em função da sua adesão aos sólidos que formam a matriz do solo e, junto com o potencial gravitacional, dá origem à maior parte do movimento da água no solo em condição não-saturada (van Lier, 2020). Portanto, é de grande importância saber os resultados do potencial matricial dos perfis de solo ao longo do período estudado.

Em cada trincheira foram coletadas amostras indeformadas nas profundidades entre

0 e 20 cm, 20 e 40 cm e 40 e 60 cm com o uso de anéis volumétricos. Estas amostras foram utilizadas para a determinação da curva de retenção de água no solo (EMBRAPA, 2017), onde foram saturadas, pesadas e, então, colocadas no extrator de Richards onde foram aplicadas as seguintes tensões (potencial matricial): 6, 10, 30, 60, 100, 330, 600, 1000 e 1500 KPa. Ao atingirem equilíbrio com cada tensão citada, as amostras foram novamente pesadas e realocadas no extrator até o equilíbrio na última tensão, onde estas foram pesadas, secas em estufas a 105°C por 24 horas e novamente pesadas. Desta forma, foram calculadas as respectivas umidades volumétricas correspondentes a cada tensão. Com os valores das tensões associados às respectivas umidades volumétricas, foram obtidas as curvas de retenção para cada profundidade de solo através do ajuste do modelo de van Genuchten (1980), utilizando a ferramenta Solver, do Excel. Para estas determinações, foi utilizado o extrator de Richards do Laboratório de Física do Solo, da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), Campus JK, Diamantina.

$$\theta_{(\Psi)} = \theta_R + [(\theta_R - \theta_S) \div (1 + (\alpha \times \Psi)^n)^m] \quad (1)$$

Onde:

$\theta_{(\Psi)}$ – umidade no potencial matricial, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

θ_R – umidade volumétrica residual, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

θ_S – umidade volumétrica de saturação, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

Ψ – potencial matricial em módulo, em kPa

α , m e n – Parâmetros da curva de retenção

2.4 Monitoramento da umidade do solo

Ao longo do período estudado, o monitoramento da umidade do solo foi feito com o uso de tensiômetros (Perrier e Evans, 1961) que foram instalados ao lado dos perfis nas mesmas profundidades de coleta das amostras indeformadas, sendo 3 tensiômetros por perfil. A avaliação da umidade foi realizada a cada semana (7 dias), onde, utilizando as curvas de retenção, com as leituras dos tensiômetros, se obteve os valores de umidade volumétrica. Para a preservação dos tensiômetros, houve a necessidade de instalar proteções contra a radiação solar nas rolhas dos tensiômetros feitos com papel alumínio, evitando assim o aquecimento dos tensiômetros.

2.5 Cálculo do armazenamento de água no solo e relação da precipitação com a água disponível

A água armazenada nos solos foi determinada por integração numérica pela regra do trapézio (Reichardt e Timm, 2004). Para o cálculo do armazenamento mensal acumulado de água, foi considerado o somatório dos armazenamentos quinzenais dentro do mesmo mês, onde foram consideradas as umidades em intervalos igualmente espaçados (a cada 20 cm), desde a superfície ($Z = 0$) até a profundidade de interesse ($Z = L = 60$ cm), conforme a equação 2. As taxas de variação no armazenamento de água no solo foram calculadas conforme a equação 3.

$$A_L = \theta_{\text{médio}} \times L \quad (2)$$

$$\left(\frac{\partial A_L}{\partial t} \right) L = [\theta_{\text{médio}(t_j)} - \theta_{\text{médio}(t_i)}] \times \frac{L}{(t_j - t_i)} \quad (3)$$

Onde:

A_L – água armazenada, em mm

$\theta_{\text{médio}}$ – umidade volumétrica média, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

L – profundidade, em cm

$\frac{\partial A_L}{\partial t}$ – variação da água armazenada no tempo, em mm dia^{-1}

t_i – dia da avaliação anterior

t_j – dia da avaliação atual

Para investigar a relação entre as informações de armazenamento de água nos solos e os dados de precipitação do ano agrícola investigado, foram utilizados dados diários de precipitação do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), dos quais foram calculadas médias com datas de início e fim coincidentes com as avaliações de umidade. As comparações entre água armazenada e precipitação foram feitas através de forma gráfica com dados quinzenais para cada solo estudado.

Para o cálculo da água disponível foram utilizados, a diferença entre a umidade volumétrica medida na capacidade de campo, considerada como o valor de umidade em

equilíbrio a 10 kPa, e a umidade no ponto de murcha permanente, considerada como o valor de umidade em equilíbrio a 1.500 kPa (Equação 4) (van Lier, 2020). Para a conversão dos valores de água disponível de cm^3/cm^3 para mm/cm^{-1} foi utilizada a equação 5. A capacidade de água disponível, calculada para cada profundidade pela equação 6.

$$AD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times 10 \quad (4)$$

$$CAD = AD \times Z \quad (6)$$

Onde:

AD – água disponível, em mm cm^{-1}

θ_{CC} – umidade na capacidade de campo, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

θ_{PMP} – umidade no ponto de murcha permanente, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

CAD – capacidade de água disponível, em mm

Z – profundidade, em cm

A classificação dos valores de água disponível para cada classe de solo foi feita com base em critérios que definem cinco faixas de valores considerados muito baixos, baixos, médios, altos e muito altos. Os critérios para a definição destas faixas de valores foram estabelecidos por Teixeira et al. (2021) e encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos valores de água disponível (AD) em solos brasileiros

Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
$AD < 0,05$	$0,05 \leq AD < 0,075$	$0,075 \leq AD < 0,1$	$0,1 \leq AD < 0,125$	$0,125 \geq AD$
$AD < 0,5$	$0,5 \leq AD < 0,75$	$0,75 \leq AD < 1$	$1 \leq AD < 1,25$	$1,25 \geq AD$

Fonte: Teixeira et al. (2021)

2.6 Análises estatísticas

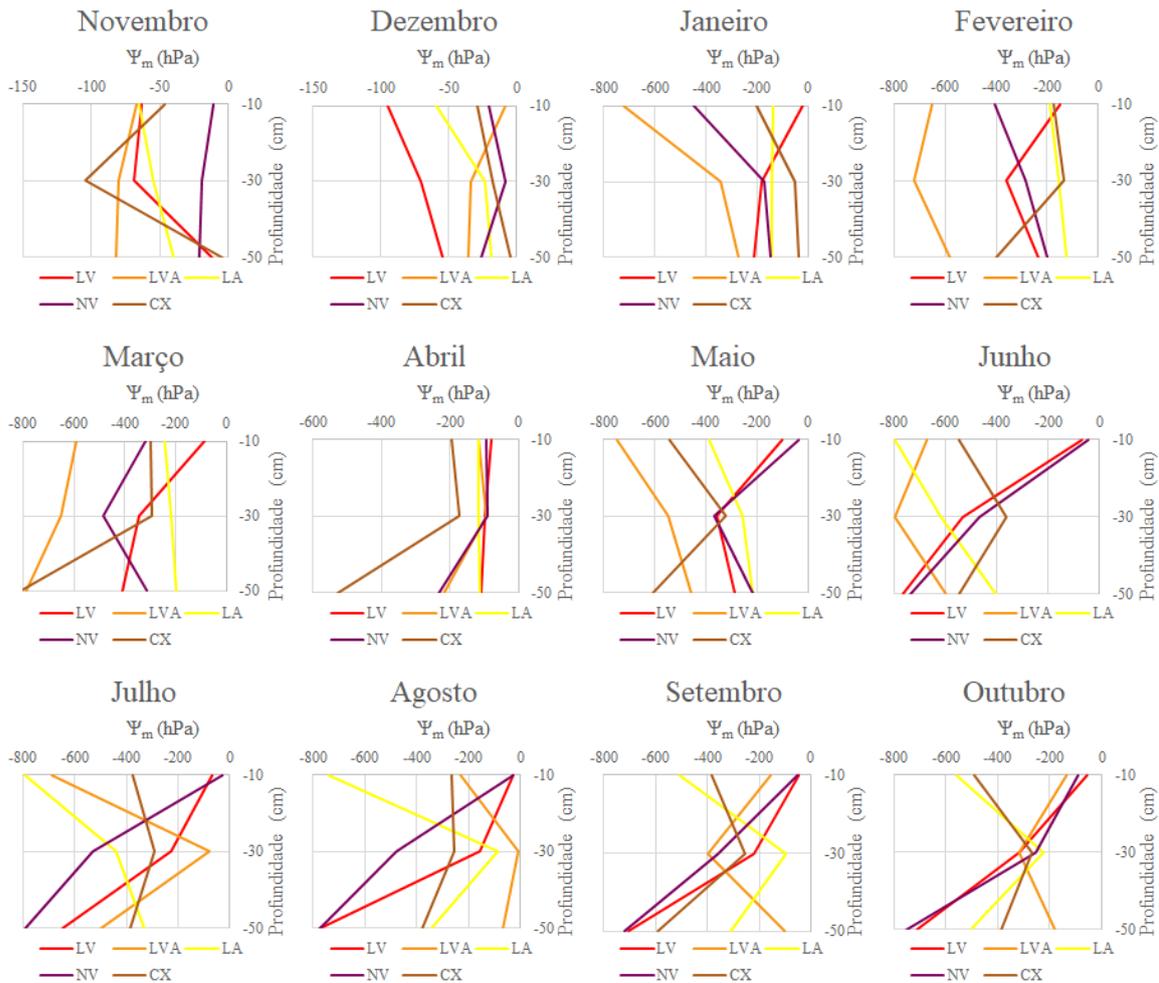
Para os atributos físico-hídrico investigados, as seguintes análises estatísticas descritiva e exploratória foram realizadas: média, desvio padrão e variância. Para fins de comparação entre classes de solo e entre meses do ano, sobre os valores de água armazenada nas camadas de 0 a 20 cm, 0 a 40 cm e 0 a 60 cm foram realizadas as análises de variância (ANOVA) e o teste de Tukey utilizando o delineamento inteiramente casualizados (DIC) em duas situações distintas. Na primeira situação (entre classes de solo), a soma mensal dos valores de água

armazenada (água acumulada) foi utilizada como repetição, onde obteve-se 12 repetições (12 meses) por classes de solo. Na segunda situação (entre meses do ano), a repetição de cada mês foi o valor de água acumulada no solo naquele mês, sendo 5 repetições (5 classes) por mês. Todas as análises estatísticas comparativas foram realizadas utilizando o nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do potencial matricial médio mensal para as profundidades de 10 cm, 30 cm e 50 cm durante o ano agrícola 2022/2023 estão apresentados na figura 2. O LV apresentou a menor amplitude de variação em 10 cm (-294 a -15 hPa), indicando maior retenção de água disponível na superfície em comparação ao LVA e LA, que variaram até -888 hPa. Já em profundidades maiores (30 e 50 cm), as diferenças entre os solos se reduziram, destacando um comportamento mais uniforme.

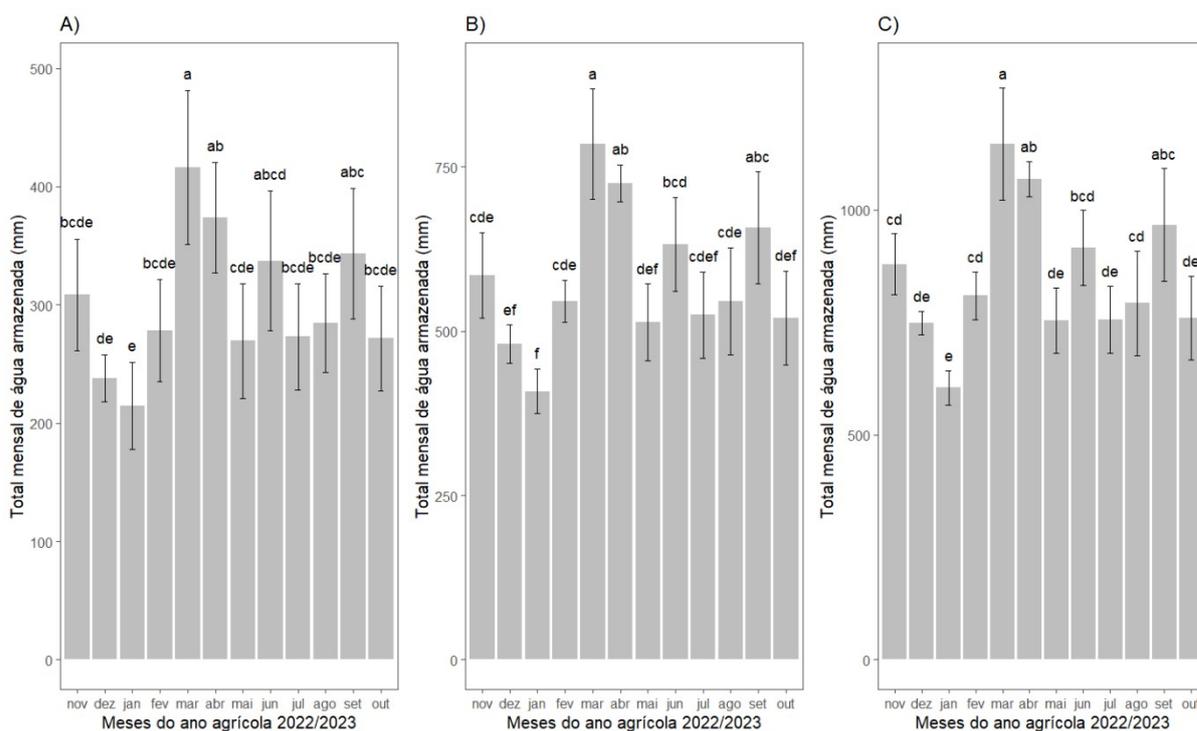
Figura 3– Variação do potencial matricial nos diferentes tipos de solos, nas profundidades estudadas em cada mês.



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Através dos resultados encontrados para o potencial matricial, foi calculado o total de água armazenada para cada mês do ano agrícola, nas profundidades de 0 a 20 cm (figura 3A), 0 a 40 cm (figura 3B) e 0 a 60 cm (figura 3C). Os totais de água armazenada para cada faixa de profundidade foram comparadas usando as diferentes classes de solo como repetição. Observou-se que estatisticamente, março foi o mês com maior disponibilidade hídrica, enquanto janeiro foi o pior, em todas as faixas de profundidade.

Figura 4 – Total mensal de água armazenada em cada mês do ano agrícola.



Os valores de água armazenada com letras iguais não se diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A) Total mensal de água armazenada nas profundidades entre 0 e 20 cm. B) Total mensal de água armazenada nas profundidades entre 0 e 40 cm. C) Total mensal de água armazenada nas profundidades entre 0 e 60 cm.

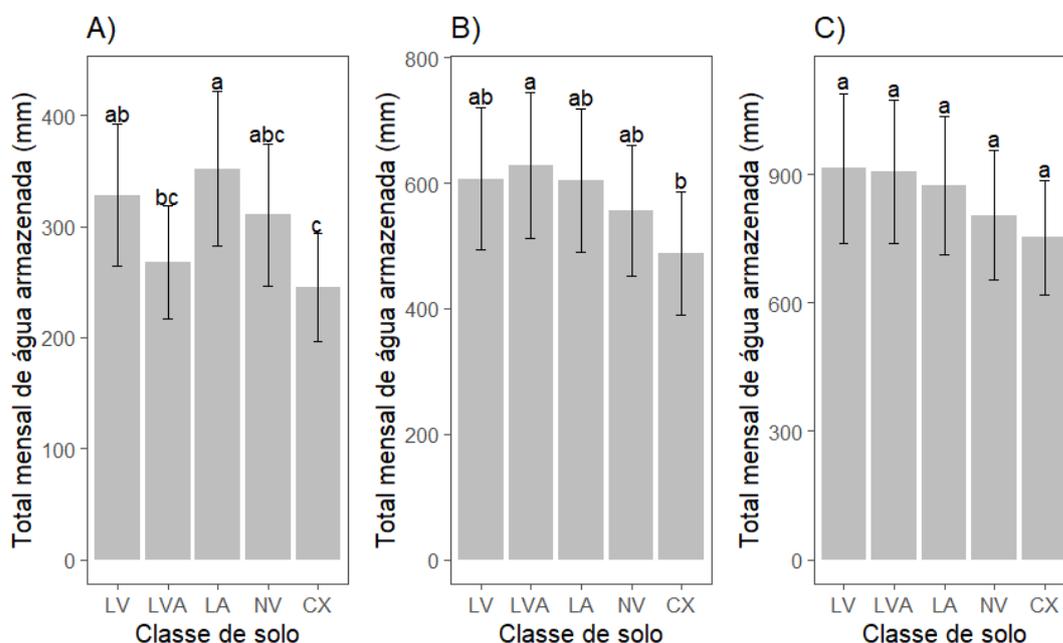
Fonte: Arquivo pessoal do autor, (2024).

Durante o período chuvoso, no mês de novembro, o solo que apresentou maior média de água armazenada foi o NV (248,14 mm) e o que apresentou o menor armazenamento foi o CX (216,18 mm). No mês de dezembro, o solo que teve maior armazenamento foi o LA (256,56 mm), e o que apresentou o menor armazenamento foi o CX (237,18 mm). No mês de janeiro, o solo que apresentou maior média de água armazenada foi o LV (288,04 mm) e o que apresentou o menor armazenamento foi o NV (183,74 mm). No mês de fevereiro, o solo que apresentou maior média de água armazenada foi o LV (222,82 mm) e o que apresentou o menor armazenamento foi o CX (190,58 mm). No mês de março, o solo que apresentou maior média de água armazenada foi o LV (217,55 mm) e o que apresentou menor armazenamento foi o CX (163,59 mm).

O total mensal de água armazenada foi calculado para cada classe de solo e em cada faixa de profundidade, sendo novamente: 0 a 20 cm (figura 4A), 0 a 40 cm (Figura 4B) e 0 a 60 cm (figura 4C), dessa vez com os meses do ano sendo usados como repetição. Observou-se que nas profundidades iniciais houve maior armazenamento nos solos mais intemperizados,

enquanto o Cambissolo apresentou menor volume de água armazenada. Porém, à medida que a profundidade aumenta, as diferenças de armazenamento diminuem.

Figura 5 – Total mensal de água armazenada em cada classe de solo



Os valores de água armazenada com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A) Total mensal de água armazenada nas profundidades entre 0 e 20 cm. B) Total mensal de água armazenada nas profundidades entre 0 e 40 cm. C) Total mensal de água armazenada nas profundidades entre 0 e 20 cm.

Fonte: Arquivo pessoal do autor, (2024).

Foram calculados os valores de água disponível (AD) para os perfis de solo, nas profundidades de 10 cm, 30 cm e 50 cm e classificados de acordo com as faixas de valores definidas por Teixeira et al. (2021) (tabela 2).

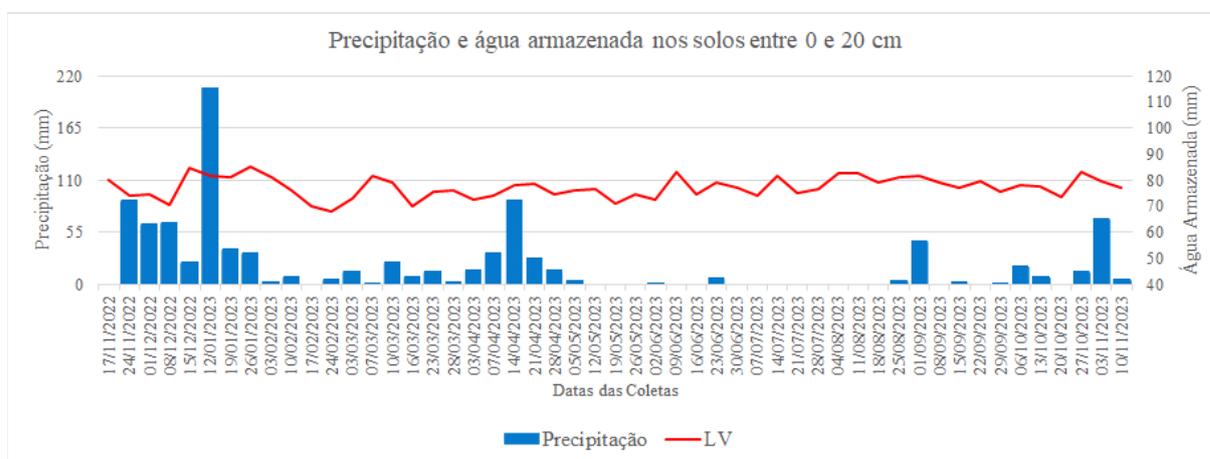
Tabela 2 – Água disponível e classificação em relação à AD nos diferentes perfis de solo e profundidades, em mm cm-1

Tipo de Solo	10 cm		30 cm		50 cm	
	AD	Classificação	AD	Classificação	AD	Classificação
LV	0,887	Médio	0,623	Baixo	0,678	Baixo
LVA	0,535	Baixo	0,644	Baixo	0,574	Baixo
LA	0,591	Baixo	0,642	Baixo	0,692	Baixo
NV	0,717	Baixo	0,841	Muito Baixo	0,461	Muito Baixo
CX	0,723	Baixo	0,556	Baixo	0,385	Muito Baixo

Fonte: arquivo pessoal do autor, 2024

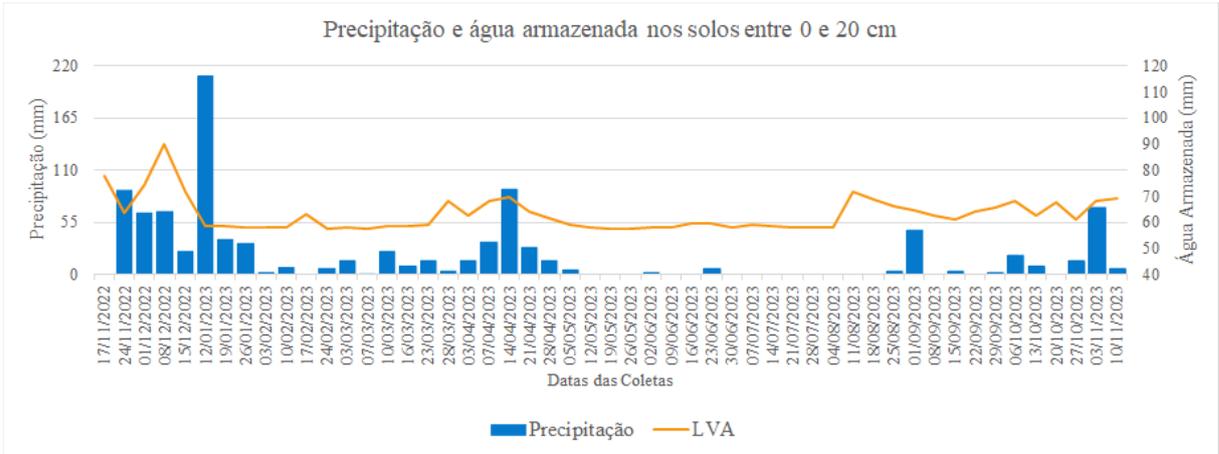
É apresentada nas figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10 a água armazenada nos solos na profundidade de 0 a 20 cm. O LV apresentou variação no armazenamento de água de 68,22 a 85,15 mm, com média de 77,27 mm; o LVA entre 57,59 e 89,68 mm, com média de 62,98 mm; o LA entre 77,28 e 96,25 mm, com média de 82,80 mm; o NV entre 54,97 e 112,68 mm, com média de 73,10 mm, e o CX entre 49,61 e 84,40 mm, com média de 57,71 mm.

Figura 6 – Total mensal de água armazenada no LV entre 0 e 20 cm.



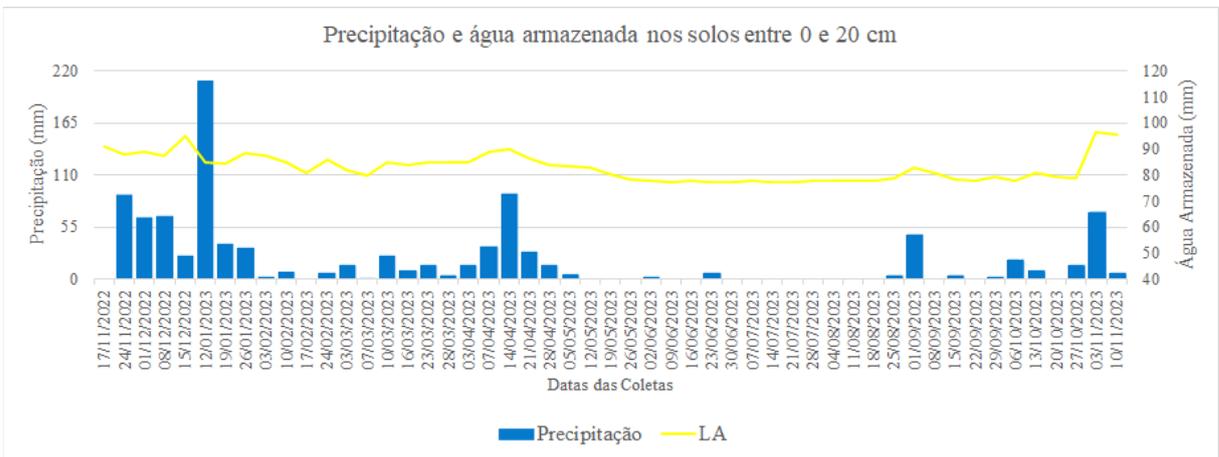
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Figura 7 – Total mensal de água armazenada no LVA entre 0 e 20 cm.



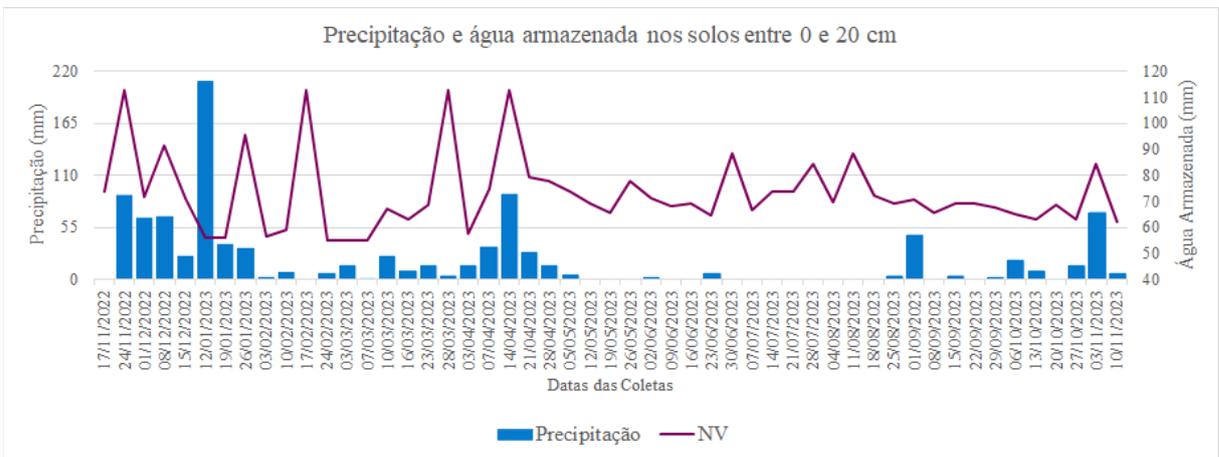
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Figura 8 – Total mensal de água armazenada no LA entre 0 e 20 cm.



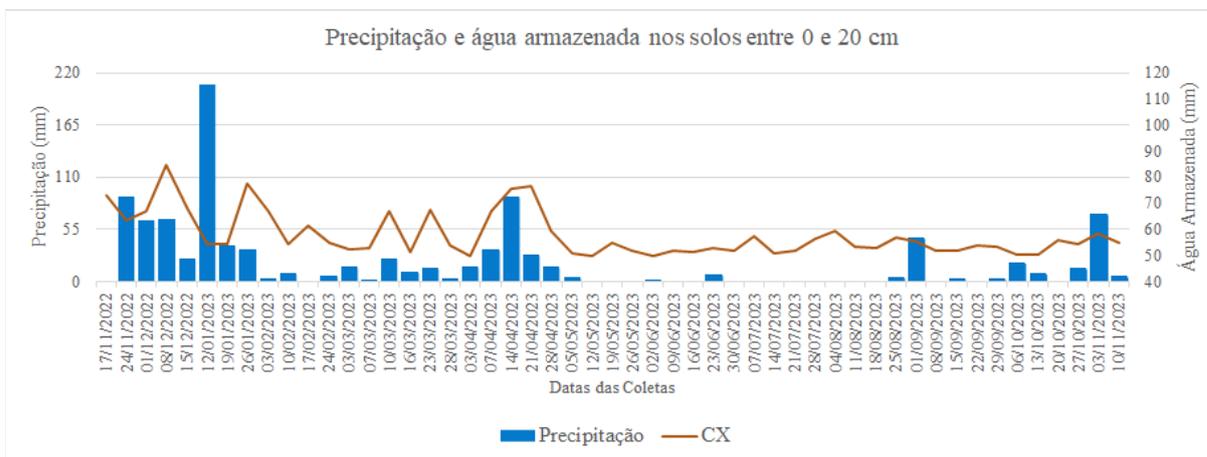
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Figura 9 – Total mensal de água armazenada no NV entre 0 e 20 cm.



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

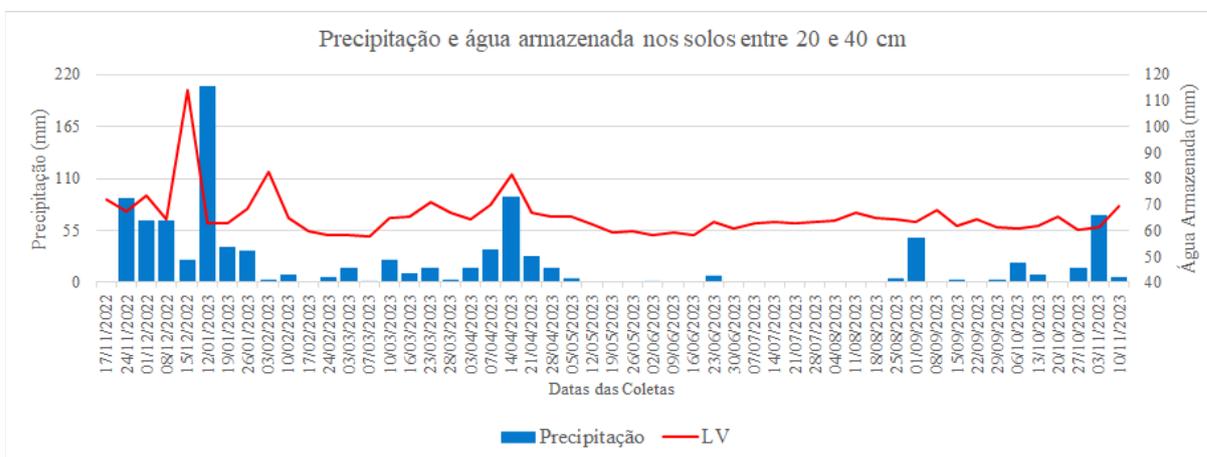
Figura 10 – Total mensal de água armazenada no CX entre 0 e 20 cm.



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

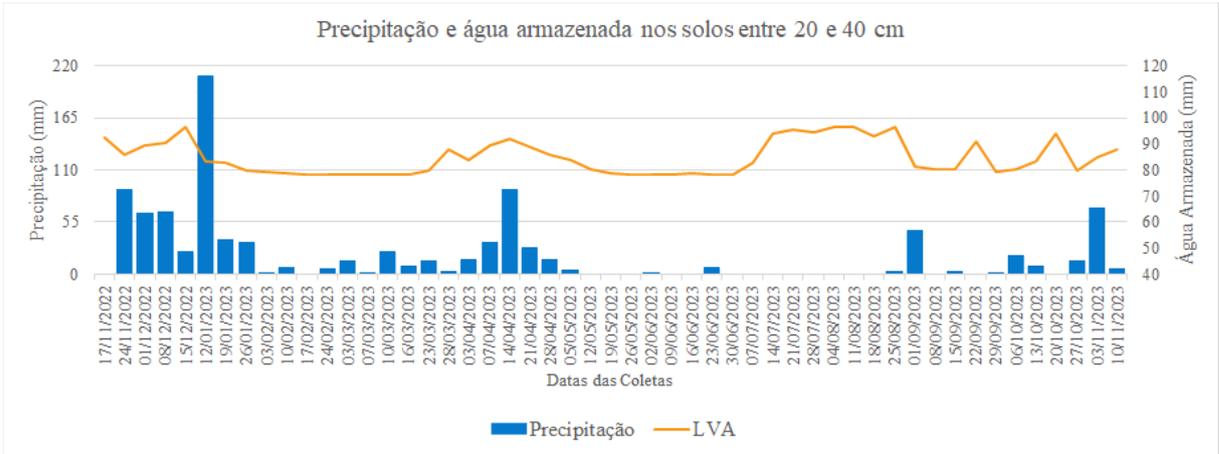
A água armazenada nos perfis de solo na profundidade de 20 a 40 cm está retratado nas figuras 11, 12, 13, 14 e 15. O LV apresentou variação no armazenamento de água de 57,90 a 113,96 mm, com média de 65,45 mm; o LVA entre 78,10 e 96,50 mm, com média de 84,67 mm; o LA entre 52,89 e 90,04 mm, com média de 59,39 mm; o NV entre 49,98 e 107,08 mm, com média de 57,85 mm, e o CX entre 50,30 e 88,22 mm, com média de 57,10 mm.

Figura 11 – Precipitação e armazenamento de água no LV entre 20 e 40 cm.



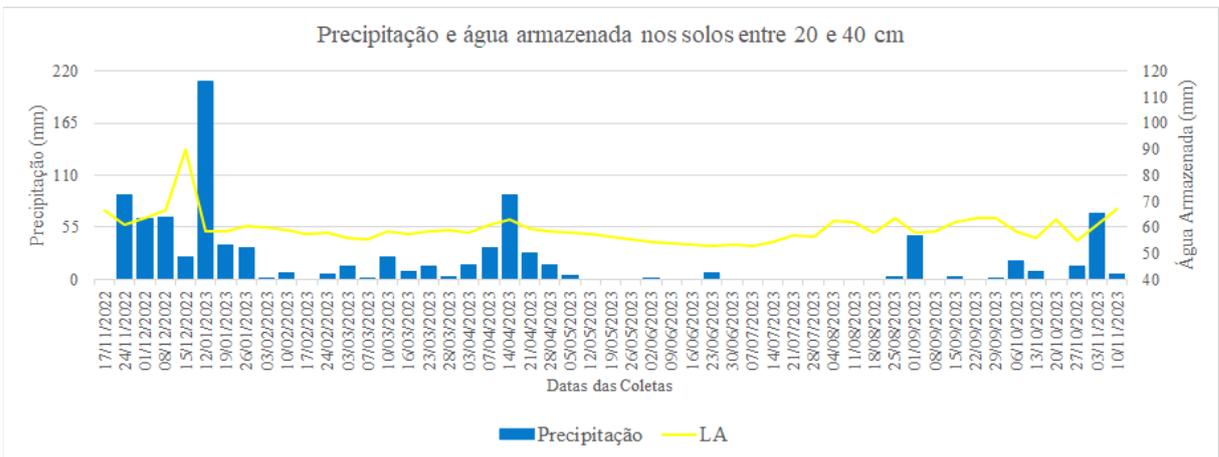
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Figura 12 – Precipitação e armazenamento de água no LVA entre 20 e 40 cm.



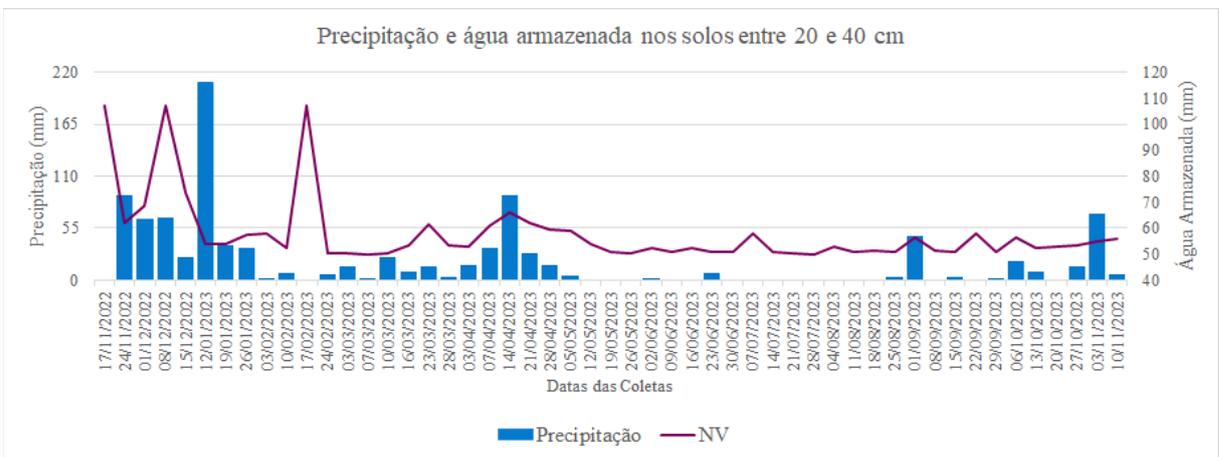
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Figura 13 – Precipitação e armazenamento de água no LA entre 20 e 40 cm.



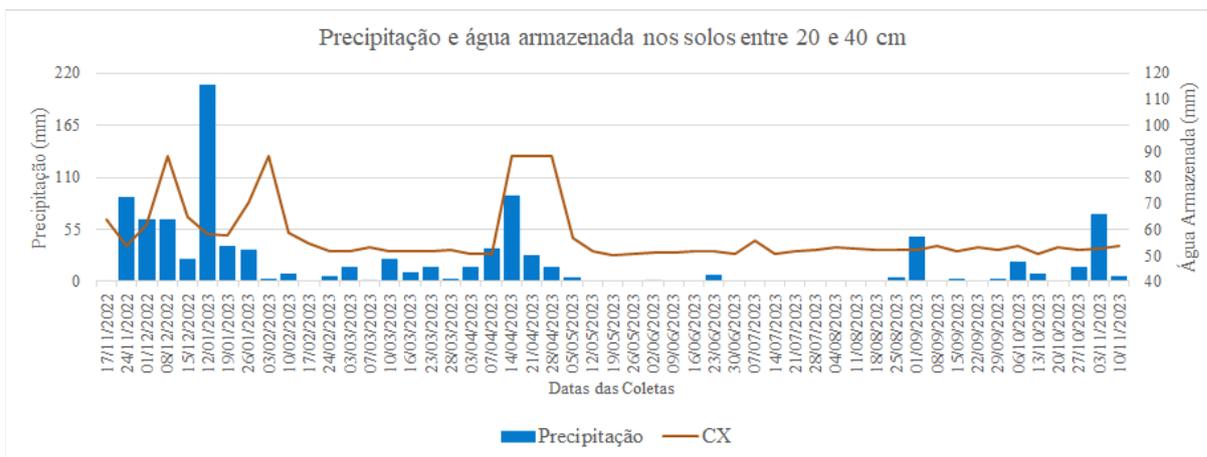
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Figura 14 – Precipitação e armazenamento de água no NV entre 20 e 40 cm.



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

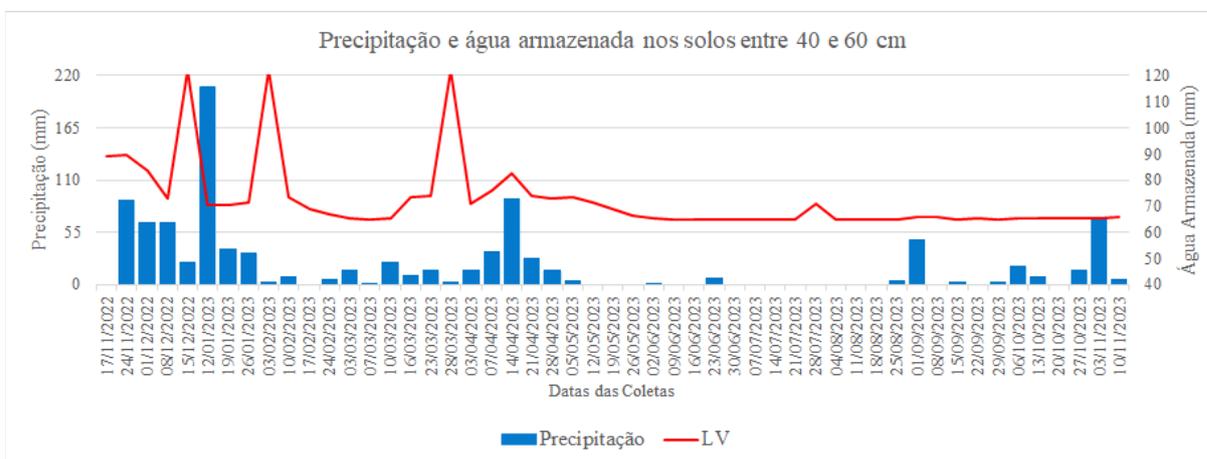
Figura 15 – Precipitação e armazenamento de água no CX entre 20 e 40 cm.



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

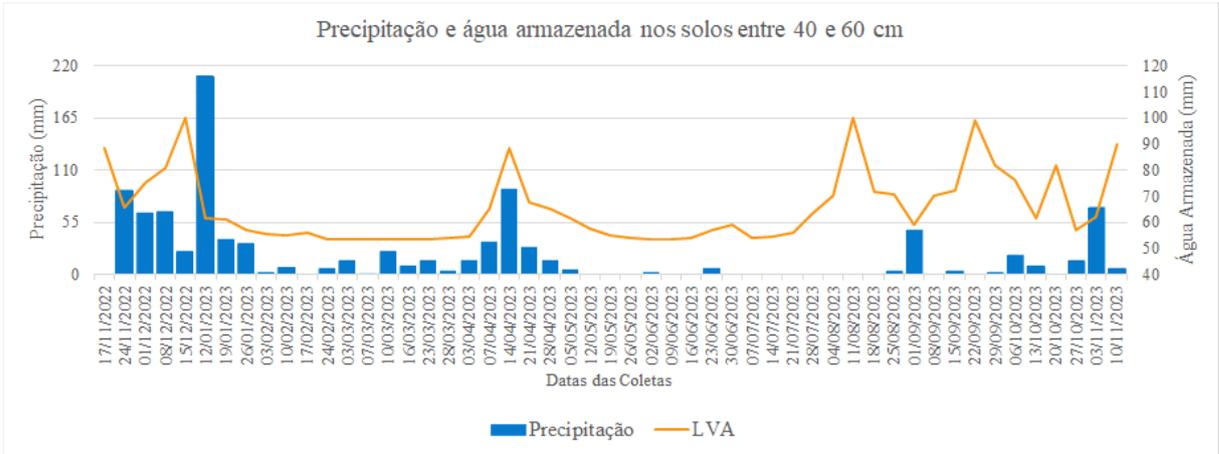
A água armazenada nos perfis de solo na profundidade de 40 a 60 cm está retratado nas figuras 16, 17, 18, 19 e 20. O LV apresentou variação no armazenamento de água de 64,68 a 122,24 mm, com média de 72,41 mm; o LVA entre 53,35 e 100,10 mm, com média de 65,29 mm; o LA entre 51,26 e 101,92 mm, com média de 63,17 mm; o NV entre 52,24 e 115,28 mm, com média de 58,23, e o CX entre 54,12 e 99,96 mm, com média de 62,27 mm.

Figura 16 – Precipitação e armazenamento de água no LV entre 40 e 60 cm.



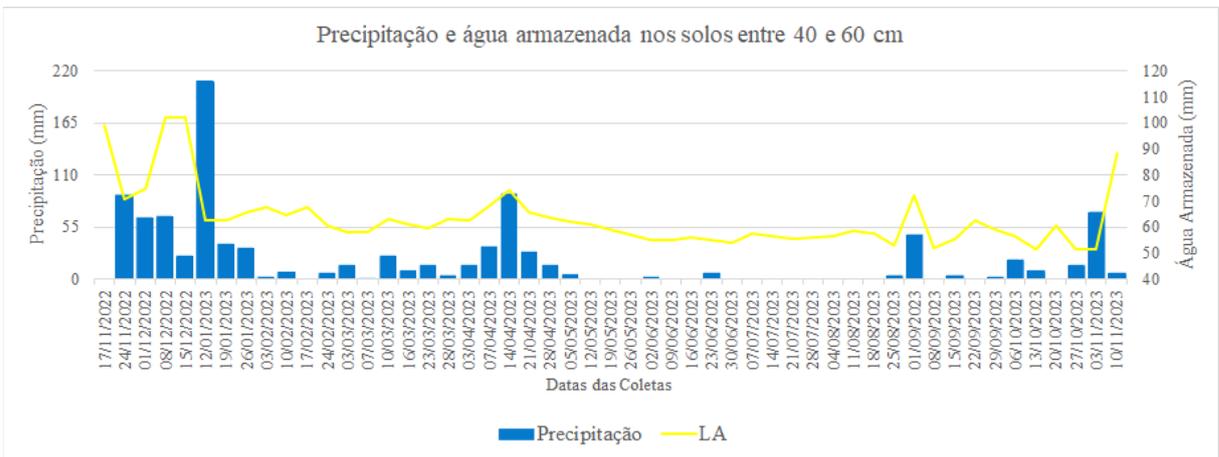
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Figura 17 – Precipitação e armazenamento de água no LVA entre 40 e 60 cm.



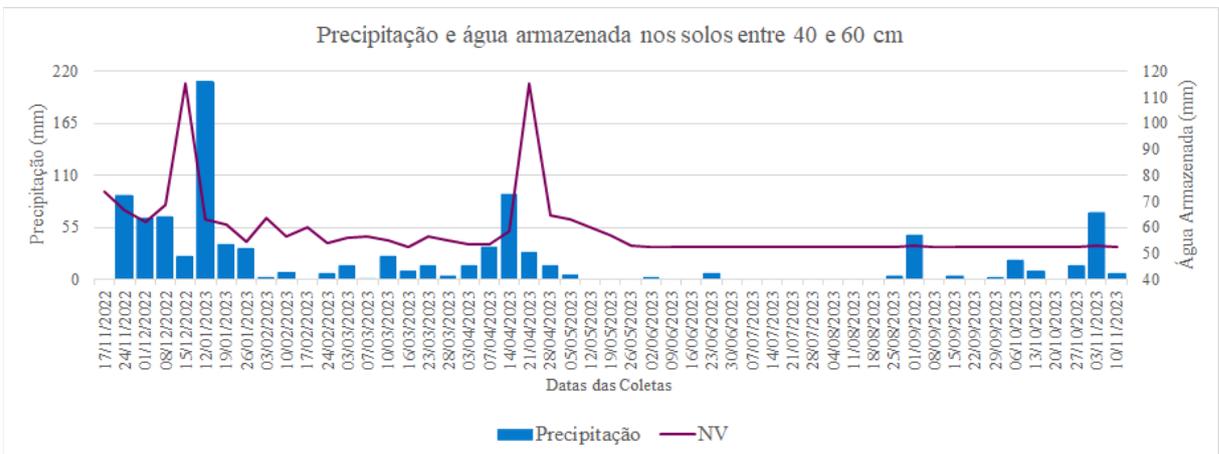
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Figura 18 – Precipitação e armazenamento de água no LA entre 40 e 60 cm.



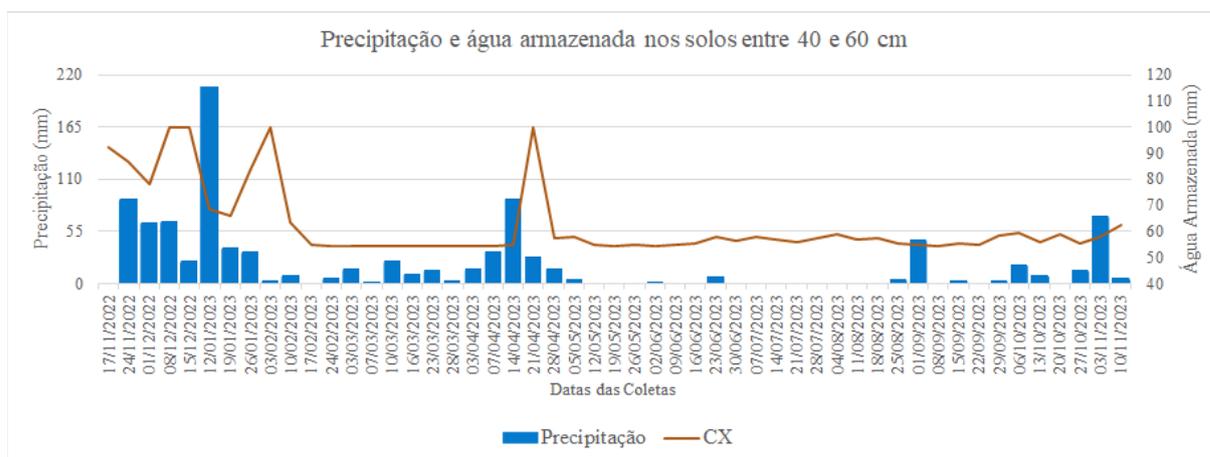
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Figura 19 – Precipitação e armazenamento de água no NV entre 40 e 60 cm.



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Figura 20 – Precipitação e armazenamento de água no CX entre 40 e 60 cm.



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

Para possibilitar a interpretação da água armazenada nos diferentes perfis de solo, foi calculado a capacidade de água disponível (CAD) para cada perfil de solo, conforme apresentado na Tabela 3. O LV apresentou a maior CAD na profundidade inicial e no perfil completo (0 a 60 cm), o NV apresentou CAD inferior ao dos solos mais intemperizados entre 20 e 60 cm e o CX apresentou a menor CAD entre 40 e 60 cm.

Tabela 3 – Capacidade de água disponível nos perfis de solo em cada faixa de profundidade, em mm.

Tipo de Solo	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-40 cm	0-60 cm
LV	17,74	12,46	13,56	30,20	43,76
LVA	10,70	12,88	11,48	23,58	35,06
LA	11,82	12,84	13,84	24,66	38,50
NV	14,34	9,62	9,22	23,96	33,18
CX	14,46	11,32	7,70	25,78	33,48

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

A média da taxa de água armazenada, para LV, na profundidade de 0 a 20 cm, durante o ano estudado, foi de $0,0071 \text{ mm dia}^{-1}$, de 20 a 40 cm foi de $0,1300 \text{ mm dia}^{-1}$, de 40 a 60 cm foi de $0,0728 \text{ mm dia}^{-1}$, de 0 a 40 cm foi de $0,1371 \text{ mm dia}^{-1}$ e de 0 a 60 cm foi de $0,2099 \text{ mm dia}^{-1}$. Para o LVA, a média da taxa de armazenamento de água, durante o período estudado, na profundidade de 0 a 20 cm foi de $0,0266 \text{ mm dia}^{-1}$, de 20 a 40 cm foi de $0,0350 \text{ mm dia}^{-1}$, de 40 a 60 cm foi de $0,1116 \text{ mm dia}^{-1}$, de 0 a 40 cm foi de $0,0616 \text{ mm dia}^{-1}$ e de 0 a 60 cm foi de $0,01732 \text{ mm dia}^{-1}$. Para o LA, a média da taxa de água armazenada, ao longo do período estudado, na profundidade de 0 a 20 cm foi de $0,0603 \text{ mm dia}^{-1}$, de 20 a 40 cm foi de $0,0859 \text{ mm dia}^{-1}$, de 40 a 60 cm foi de $0,0852 \text{ mm dia}^{-1}$, de 0 a 40 cm foi de $0,1461 \text{ mm dia}^{-1}$ e de 0 a 60 cm foi de $0,2313 \text{ mm dia}^{-1}$.

Para o NV, a média da taxa de água armazenada, ao decorrer do ano estudado, na profundidade de 0 a 20 cm foi de 0,1184 mm dia⁻¹, de 20 a 40 cm foi de -0,0946 mm dia⁻¹, de 40 a 60 cm foi de 0,0392 mm dia⁻¹, de 0 a 40 cm foi de 0,0237 mm dia⁻¹ e de 0 a 60 cm foi de 0,0629 mm dia⁻¹. Para o CX, a média da taxa do armazenamento de água, durante do ano agrícola estudado, na profundidade de 0 a 20 cm foi de 0,0464 mm dia⁻¹, de 20 a 40 cm foi de -0,0248 mm dia⁻¹, de 40 a 60 cm foi de -0,0244 mm dia⁻¹, de 0 a 40 cm foi de 0,0216 mm dia⁻¹ e de 0 a 60 cm foi de -0,0027 mm dia⁻¹ (tabela 4).

Em todos os latossolos houve, durante o ano agrícola 2022/2023, ganho de água armazenada em todas as profundidades do perfil, tendo tendencia de perda de água durante o período seco e ganho durante o período chuvoso. O NV perdeu água armazenada entre 20 e 40 cm durante o ano agrícola e o CX somente ganhou água entre 0 e 20 cm durante o ano agrícola, tendo perdido água armazenada no período seco e chuvoso na entre 0 e 60 cm.

Tabela 4 – Taxa média de água armazenada, em mm dia⁻¹, nos perfis durante o ano agrícola, período seco e chuvoso

Solo	Período	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	0 – 40 cm	0 – 60 cm
LV	Ano	0,0071	0,1300	0,0728	0,1371	0,2099
	Seco	0,0057	-0,0268	-0,0528	-0,0211	-0,0739
	Chuvoso	-0,0075	0,2634	0,1668	0,2559	0,4227
LVA	Ano	0,0266	0,0350	0,1116	0,0616	0,1732
	Seco	0,0241	-0,0431	0,1100	-0,0190	0,0909
	Chuvoso	0,0142	0,0759	0,0202	0,0900	0,1103
LA	Ano	0,0603	0,0859	0,0852	0,1461	0,2313
	Seco	-0,0303	0,0327	-0,0303	0,0024	-0,0279
	Chuvoso	0,1405	0,1345	0,1767	0,2750	0,4517
NV	Ano	0,1184	-0,0946	0,0392	0,0237	0,0629
	Seco	-0,0663	-0,0579	-0,0790	-0,1242	-0,2032
	Chuvoso	0,1107	-0,2223	0,0884	-0,1117	-0,0232
CX	Ano	0,0464	-0,0248	-0,0244	0,0216	-0,0027
	Seco	-0,0386	-0,2348	0,0069	-0,2734	-0,2665
	Chuvoso	-0,0021	-0,0602	-0,0748	-0,0623	-0,1370

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2024.

A variação dos resultados da umidade volumétrica nos perfis de solo, nas diferentes profundidades, correspondeu ao esperado pois, durante o período chuvoso a umidade aumenta e, durante o período seco, a umidade tende a se estabilizar em um valor menor de umidade do solo. Porém, o NV não manteve uma estabilidade na umidade volumétrica da camada de 0 a 20 cm, apresentando alguns picos significativos durante o período de seca.

Avaliando, com base nas médias, o armazenamento de água mensal para a profundidade de 0 a 20 cm, obtiveram-se os resultados dos meses com maior déficit e maior

abundância. Para o LV o mês de fevereiro (73,80 mm) teve maior déficit e o mês janeiro (82,61 mm) de teve maior abundância. Para o LVA o mês de maio (58,14 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (78,52 mm) teve maior abundância, para o LA o mês de junho (77,54 mm) teve maior déficit e o mês de novembro (92,70 mm) teve maior abundância, para o NV o mês de outubro (65,00 mm) teve maior déficit e o mês de novembro (83,31 mm) teve maior abundância, para o CX o mês de junho (51,49 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (73,10 mm) teve maior abundância.

Avaliando as médias do armazenamento de água mensal para a profundidade de 20 a 40 cm, obtiveram-se os resultados dos meses com maior déficit e maior abundância. Para o LV o mês de junho (59,90 mm) teve maior déficit e o mês dezembro (83,85 mm) de teve maior abundância, para o LVA o mês de junho (78,28 mm) teve maior déficit e o mês de agosto (95,53 mm) teve maior abundância, para o LA o mês de junho (53,56 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (73,26 mm) teve maior abundância, para o NV o mês de junho (51,49 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (82,96 mm) teve maior abundância, para o CX o mês de junho (51,20 mm) teve maior déficit e o mês de abril (73,14 mm) teve maior abundância.

As médias do armazenamento de água mensal para a profundidade de 40 a 60 cm foram avaliadas e obtiveram-se os resultados dos meses com maior déficit e maior abundância. Para o LV o mês de agosto (64,97 mm) teve maior déficit e o mês dezembro (92,92 mm) de teve maior abundância, para o LVA o mês de março (53,56 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (85,49 mm) teve maior abundância; para o LA o mês de outubro (54,91 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (92,83 mm) teve maior abundância, para o NV o mês de julho (52,35 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (82,07 mm) teve maior abundância. Para o CX o mês de março (54,22 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (92,59 mm) teve maior abundância.

Para a profundidade de 0 a 40 cm, as médias do armazenamento de água mensal foram avaliadas e obtidos os resultados dos meses com maior déficit e maior abundância. Para o LV o mês de maio (136,10 mm) teve maior déficit e o mês dezembro (160,47 mm) de teve maior abundância, para o LVA o mês de junho (136,81 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (170,63 mm) teve maior abundância, para o LA o mês de junho (131,10 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (163,73 mm) teve maior abundância, para o NV o mês de outubro (118,61 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (161,09 mm) teve maior abundância, para o CX o mês de junho (102,70 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (144,59 mm) teve maior abundância.

Para a profundidade de 0 a 60 cm, as médias do armazenamento de água mensal foram avaliadas e obtidos os resultados dos meses com maior déficit e maior abundância. Para o LV o mês de junho (202,24 mm) teve maior déficit e o mês dezembro (253,39 mm) de teve maior abundância, para o LVA o mês de junho (192,20 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (256,12 mm) teve maior abundância, para o LA o mês de junho (186,07 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (256,56 mm) teve maior abundância, para o NV o mês de outubro (171,07 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (243,16 mm) teve maior abundância, para o CX o mês de junho (158,43 mm) teve maior déficit e o mês de dezembro (237,18 mm) teve maior abundância.

Analisando toda a camada de 0 a 60 de profundidade, obtém-se que, durante o período úmido, no mês de novembro, o solo que apresentou maior média de água armazenada foi o LA (233,89 mm) e o que apresentou menor armazenamento foi o CX (192,95 mm). No mês de dezembro, o solo que teve maior armazenamento foi o LA (256,56 mm), já o que apresentou menor água armazenada foi o CX (237,18 mm). Para o mês de janeiro, o LV (288,04 mm) teve maior água armazenada e o solo que teve menor armazenamento de água foi o NV (183,74 mm). Para o mês de fevereiro, o solo que apresentou a maior água armazenada foi o LV (222,82 mm) e o solo que teve a menor água armazenada foi o CX (190,58 mm). No mês de março, o solo que teve maior armazenamento de água foi o LV (217,55 mm) e o solo que apresentou o menor foi CX (163,59 mm). E no mês de outubro, o solo que apresentou a maior média na água armazenada foi o LVA (218,34 mm) e o solo que teve a menor foi o CX (162,29 mm).

Durante o período seco, no mês de maio, o solo que apresentou a maior média na água armazenada foi o LV (206,18 mm) e o solo que teve a menor foi o CX (159,56 mm). Para o mês de junho, o solo que apresentou a maior média na água armazenada foi o LV (202,24 mm) e o solo que teve a menor foi o CX (158,43 mm). No mês de julho, o solo que apresentou a maior média na água armazenada foi o LVA (206,91 mm) e o solo que teve a menor foi o CX (163,27 mm). No mês de agosto, o solo que apresentou a maior média na água armazenada foi o LVA (239,80 mm) e o solo que teve a menor foi o CX (165,19 mm). E, para o mês de setembro, o solo que apresentou a maior média na água armazenada foi o LVA (222,30 mm) e o solo que teve menor foi o CX (161,23 mm).

4 CONCLUSÃO

Durante o ano agrícola avaliado, estatisticamente, o mês mais crítico em relação à água armazenada foi janeiro, diferentemente do esperado, pois está situado na época chuvosa.

Os solos mais intemperizados (latossolos) armazenam mais água que os solos mais jovens (Cambissolo). Isso se dá provavelmente pelo fato de serem solos mais intemperizados, estruturados e com textura mais argilosa, além de possuírem maior quantidade de microporos.

A CAD seguiu a mesma tendência, sendo maior nos solos mais intemperizados e atingindo valores menores no nitossolo vermelho e Cambissolo Háplico, principalmente nas camadas mais profundas.

Com base nas médias de armazenamento de água mensal, o mês de maior abundância de água armazenada, para todos os perfis de solo em diferentes profundidades, foi o mês de dezembro. Já, o mês de maior déficit, para o nitossolo foi no mês de outubro, para os demais perfis de solos o mês de junho foi o de maior déficit.

REFERÊNCIAS

- Alves, J.M.B; Servain, J.; Campos, J.B. Relationship between ocean climatic variability and rainfed agriculture in northeast Brazil. *Climate Research*, v. 38, n. 5, p. 225-236, 2009.
- ANA. ANA lança mapeamento com dados atualizados sobre agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/ana-lanca-mapeamento-com-dados-atualizados-sobre-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-no-brasil>. Acesso em: 11 dez. 2024
- Barron, J.; Rockström, J.; Gichuki, F. Rain Water Management for Dry Spell Mitigation in Semi-Arid Kenya. *East African Agricultural and Forestry Journal*, v. 65, n. 1-2, p. 57-69, 1999.
- Bernardo, S., Mantovani, E.C., Silva, D.D., Soares, A.A. Manual de irrigação. Viçosa: Editora UFV, 9o Edição, 2019. 545p.
- Bronick, C.J.; Lal, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124 (2005) 3–22.
- Campos, T.P. Relação solo-paisagem em uma topossequência da bacia do rio Preto, Minas Gerais: um estudo na Fazenda Santa Paula – ICA/UFVJM. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Unaí. 2019. 36p.
- Carlesso, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. *Ciência Rural*, v. 25, p. 183-188, 1995.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPS, 2017. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2018. 306 p.
- FAO. 2021. The state of the world’s land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point. Synthesis report 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- Ferreira, M.M. Caracterização Física do Solo. In: van Lier, Q.J. (Ed.). Física do Solo. Viçosa: SBCS, 2010. chap. I, p. 1-27.
- Libardi, P.L. Água no Solo. In: van Lier, Q.J. (Ed.). Física do Solo. Viçosa: SBCS, 2010. chap. III, p. 103-152.
- Melo, C.R.; Silva, A.M. Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Editora UFLA, 2013. 455 p.
- Naime, U.J.; Motta, P.E.F.; Silva, D.C.; Simão, M.L.R.; Santos, A.J.R. Solos e avaliação do potencial agrossilvipastoril das microrregiões Paracatu e Unaí - Minas Gerais. Belo Horizonte: EPAMIG, 2014. 106p.: il.; ISBN: 978-85-99764-39-8.
- Oliveira, V.A.; Jacomine, P.K.T.; Couto, E.M. IV –Solos do Bioma Cerrado.In: Curi, N.; Ker, J.C.; Novais, R.F.; Vidal-Torrado, P.; Schaefer, C.E.G.R. Pedologia –solos dos biomas brasileiros. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, p. 177-226, 2017.

Paulilo, M.T.S.; Viana, A.M.; Randi, A.M. Fisiologia Vegetal. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. 182p.

Pereira, G.R.; Silva Junior, M.M. Correlação entre as Secas e as Perdas na Agricultura de Sequeiro no Semiárido Nordestino. I Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido (CONADIS), 2018. Semiárido brasileiro: diversidade, tendências, tensões e perspectivas.

Campina Grande, PB: Realize Eventos Científicos & Editora, 2018. v. 01.

Perrier, E.R; Evans, D.D. Soil Moisture Evaluation by Tensiometers I. Technical Paper No. 1342, Oregon Agr. Exp. Sta., Corvallis. Research done under regional project W-29. Soil Science Society Proceedings, p.173-175, 1961.

Prado, R.B. et al. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 486 p.

Pruski, F.F. Conservação de solo e água. Viçosa: Editora UFV, 2o Edição, 2009. 279 p.

Reichardt, K.; Timm, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Editora Manole, 2004. 478 p.

Reichert, J.M.; Reinert, D.J.; Suzuki, L.E.A.S.; Horn, R. Mecânica do Solo. In: van Lier, Q.J. (Ed.). Física do Solo. Viçosa: SBCS, 2010. chap. II, p. 29-102. Ritchie, J.T. Soil water availability. Plant and Soil 58, 327 338 (1981).

Rocha, T.B.C.; Vasconcelos Junior, F.C.; Silveira, C.S.; Martins, E.S.P.R.; Silva, R.F.V. Veranicos no Ceará e Aplicações para Agricultura de Sequeiro. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. 3, 435-447, 2020.

Rockström, J. Green water security for the food makers of tomorrow: windows of opportunity in drought-prone savannahs. Water Science Technology, v. 43, n. 4, p. 71-78, 2001.

Teixeira, W.G.; Victoria, D.C.; Barros, A.H.C.; Lumbreras, J.F.; Araújo Filho, J.C.; Silva, F.A.M.; Lima, E.P; Bueno Filho, J.S.S.; Monteiro, J.E.B.A. Predição da água disponível no solo em função da granulometria para uso nas análises de risco no Zoneamento Agrícola de Risco Climático / Wenceslau Geraldes Teixeira ... [et al.]. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021. E-book: il. color. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892; 272).

Van Genuchten, M.T. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Science Society of America Journal, v.44, p.982-898, 1980.

van Lier, Q.J. Física do solo baseada em processos. Piracicaba: Edição do autor, 2020. 413p.

Veihmeyer, F.J.; Hendrickson, A.H. Methods of measuring field capacity and wilting percentages of soils. Soil Science, v. 68, p.75-94, 1949.

Weiler, M.; McDonnell, J.J. SOIL DEVELOPMENT AND PROPERTIES/Water Storage and Movement. Encyclopedia of Forest Sciences, 2004, Pages 1253-1260.

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Mapa Interativo. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/>>. Acesso em: nov. 2024.

Inspere Agro Global. Agricultura de sequeiro. Disponível em: <https://agro.insper.edu.br/glossario/agricultura-de-sequeiro>. Acesso em: 10 dez. 2024.

Ponto Nulo no Céu. “Telas”. Ponto Nulo no Céu, 2018.

