



INTER-RELAÇÕES ENTRE ATRIBUTOS FÍSICOS-HÍDRICOS SOB USOS DA TERRA EM UPANEMA-RN

Geisiane Xavier de Matos¹, Joaquim Emanuel Fernandes Gondim², Jeane Cruz Portela³, Antonio Genilson Rodrigues Araújo⁴, Paulo Jardel Mota⁵, Diêgo José da Costa Bandeira⁶

RESUMO: Os atributos físico-hídricos inter-relacionam os cultivos, às condições estruturais dos solos sob os usos da terra. Buscou-se identificar as condições hídricas e suas inte-relações com atributos físicos, no semiárido do Brasil, discriminando os ambientes por meio da estatística multivariada. Nas camadas 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,30 m nos usos de Banana e Mamão (Cambissolos), Pastagem (Argissolo) e Mata Nativa (Latosolo) coletou-se amostras deformadas e indeformadas, para análises de granulometria, micro e macroporosidade, porosidade de aeração (Paer), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), água disponível (AD), condutividade hidráulica relativa (Kr) e carbono orgânico total (COT). Apresentaram variância total acumulada de 79,59% entre dois fatores. A pastagem foi discriminada pela areia e a Kr em superfície, a argila discriminou a mata nativa em subsuperfície. A banana e o mamão pelo COT em superfície, microporosidade e argila em profundidade, além da CC, PMP e AD. Portanto, a pastagem apresentou resultados inferiores para as variáveis hídricas e microporosidade, indicando condições desfavoráveis para o crescimento e desenvolvimento das culturas, ao contrário da banana e mamão.

PALAVRAS-CHAVE: retenção de água no solo, estatística multivariada, semiárido brasileiro.

INTERRELATIONS BETWEEN PHYSICAL AND WATER ATTRIBUTES UNDER LAND USE IN UPANEMA-RN

¹ Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA, CEP: 59625-900. Mossoró, RN. Fone: (84) 3317-8200. e-mail: geisianexavier2018@gmail.com

² Doutor em Manejo de Solo e Água, Programa de Pós-Graduação, UFERSA, Mossoró, RN

³ Profa. Doutora, Departamento de Ciência Agrônomicas e Florestais, UFERSA, Mossoró, RN

⁴ Mestrando em Manejo de Solo e Água, Programa de Pós-Graduação, UFERSA, Mossoró, RN

⁵ Graduando em Agronomia, Centro de Ciência Agrárias, UFERSA, Mossoró, RN

⁶ Mestrando em Manejo de Solo e Água, Programa de Pós-Graduação, UFERSA, Mossoró, RN

ABSTRACT: The physical-hydric attributes interrelate the crops, the structural conditions of the soils under the uses of the land. We sought to identify the water conditions and their interrelationships with physical attributes, in the semiarid region of Brazil, discriminating the environments through multivariate statistics. In layers 0.00-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.15 and 0.15-0.30 m in the uses of Banana and Papaya (Cambisols), Pasture (Argisol) and Native Forest (Oxisol) deformed and undisturbed samples were collected for analysis of granulometry, micro and macroporosity, aeration porosity (Paer), field capacity (CC), permanent wilting point (PMP), available water (AD), relative hydraulic conductivity (Kr) and total organic carbon (TOC). They presented a total cumulative variance of 79.59% between two factors. Pasture was discriminated by sand and Kr on the surface, clay discriminated against native forest in the subsurface. Banana and papaya by TOC in surface, microporosity and clay in depth, in addition to CC, PMP and AD. Therefore, the pasture showed lower results for the water and microporosity variables, indicating unfavorable conditions for the growth and development of crops, unlike banana and papaya.

KEYWORDS: soil water retention, multivariate statistics, brazilian semiarid.

INTRODUÇÃO

Terras secas descrevem regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, que são caracterizadas por baixa precipitação, aliada a evapotranspiração alta colaborando para limitação físicas, quanto a má permeabilidade, suscetibilidade a erosão e desertificação (ZHOU et al., 2023; LIMA et al., 2023). Essas áreas ainda que sejam caracterizadas, em sua maioria, pela escassez hídrica reduzindo o intemperismo químico, apresentam diversidade de classes de solos, vegetação nativa e possibilidades de cultivos a serem adotados, o que compõem os agroecossistemas (OLIVEIRA et al., 2021).

No Brasil as terras secas estão presentes no Nordeste, mais especificamente no semiárido, com presença de áreas degradadas e núcleos de desertificação, somam-se 1.262 municípios, nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia e no Sudeste, em Minas Gerais, totalizando 1.128.697,00 km² (MI/SUDENE, 2023; REFATI et al., 2023). Ainda predomina a agricultura de sequeiro, retirando a cobertura do solo, deixando-o exposto a ação dos agentes ativos (vento e água), favorecendo a erosão, reduzindo a capacidade produtiva do solo, levando a baixa produtividade agrícola e esgotamento dos recursos naturais (PEREIRA et al., 2023).

Sabendo que crescimento e desenvolvimento vegetal são reflexos do sistema trifásico (partículas inorgânicas e orgânicas, água, ar), luz e resistência à penetração de raízes. O parâmetro hidráulico descreve o armazenamento de água no espaço poroso, definido pelas forças capilares e de adsorção, representado pela umidade volumétrica versus o potencial matricial expresso por meio da curva característica de retenção de água no solo (CRS), tornando conhecida a energia com que a água está retida. A CRS é influenciada por atributos como textura e sua classificação, carbono orgânico total (COT) e densidade do solo (Ds), como também pelos usos agrícolas. A partir dela é possível identificar o espaço poroso, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente do solo (PMP), água disponível (AD) e determinar a condutividade hidráulica relativa (Kr), parâmetros essenciais para produção agrícola, questões ambientais, econômicas e sociais (FILGUEIRAS et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2021; TUAN et al., 2023; YONGWEI et al., 2023).

Para um completo entendimento dos agroecossistemas é necessário que pesquisas sejam realizadas, inter-relacionando os cultivos, às condições estruturais e atributos intrínsecos dos solos, assim como a capacidade de oferecerem água e nutrientes para as plantas (DONG et al., 2022; SONG et al., 2023). Sob tais condições, objetivou-se identificar as condições hídricas, por meio da CRS e suas inte-relações com atributos do solo e usos da terra na região semiárida do Brasil, discriminando os ambientes, por meio da técnica estatística multivariada. Nesse sentido (1) a pastagem apresentará restrições físicas, com condições desfavoráveis para o crescimento e desenvolvimentos das plantas em função do histórico de uso da terra e a classe de solo; (2) os usos da terra que adotaram a adição de matéria orgânica no solo irão apresentar manutenção do espaço poroso, como também melhores resultados de AD para as plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo fica localizada no Semiárido Brasileiro, em Comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN (05°38'3" S e 37°15'28" O), o clima foi caracterizado com precipitação pluvial anual de aproximadamente 715 mm e temperatura média de 26,2 °C para o intervalo de tempo da pesquisa (ALVARES et al., 2013). Os usos dos solos são: Mamão (*Carica papaya*) em Cambissolo, com histórico do cultivo de hortaliças e incorporação de matéria orgânica no solo; Banana (*Musa spp*) em Cambissolo, área cultivada anteriormente com milho (*Zea mays*) e feijão (*Vigna unguiculata*), ambos os usos da terra realizaram preparo mínimo do solo por meio de escarificação antes da implantação das culturas; Pastagem Natural

(Argissolo) com presença de ovinos e capim Panasco (*Aristida adscensionis* L.); Mata Nativa (Latossolo) característica da Caatinga tomada como referência.

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,30 m, embaladas e identificadas para realização das análises no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido do Centro de Ciências Agrárias (CCA/UFERSA).

Para as amostras deformadas foram determinadas as análises de granulometria e COT. Após destorroamento, foram passadas na peneira de 2,00 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e realizada a textura e sua classificação textural, segundo Teixeira et al. (2017) por meio do método da pipeta, com auxílio do dispersante químico hexametáfosfato de sódio e do agitador mecânico tipo Wagner. As frações inorgânicas obtidas foram quantificadas: argila (<0,002 mm) por sedimentação considerando a Lei de Stokes, areia (2,00-0,05 mm) por peneiramento e silte por diferença. O COT foi determinado pela TFSA que foi passada pela peneira de 0,210 mm, com digestão da matéria orgânica seguindo metodologia de Yeomans e Bremner (2008) utilizando dicromato de potássio, ácido ortofosfórico e indicador difenilamina, titulado com sulfato ferroso amoniacal 0,05 M.

As amostras indeformadas foram coletadas com anéis volumétricos (0,05 x 0,05 m de diâmetro e altura), a densidade do solo (D_s) foi obtida pela relação massa de solo seco em estufa a 105 °C e volume do anel. A CRS foi obtida com as seguintes tensões: 0, 2, 6, 10 e 33 kPa na mesa de tensão e 100, 200, 300, 500 e 1500 kPa nas câmaras de Richards de médias e altas tensões. O ajuste da CRS foi realizado pela Equação de van Genuchten (1980) no programa RETC, bem como a condutividade hidráulica relativa do solo (K_r) foi obtida por meio das curvas (VAN GENUCHTEN et al., 2009).

Os resultados médios foram interpretados pela técnica de estatística multivariada, por meio da matriz de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$), análise fatorial (AF) e dos componentes principais (PCA), para determinação dos atributos característicos de cada uso. Enquanto os parâmetros da curva foram ajustados relacionando a entrada de ar, inclinação das curvas, tamanho e formato dos poros, sendo considerados indicadores importantes para predição efetiva e segura dos dados obtidos pelo modelo em relação aos quantificados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos dados foi possível identificar variações dos atributos dos solos nas camadas estudadas, em função da distribuição granulométrica e usos da terra.

Tabela 1. Matriz de correlação linear de Pearson entre os atributos sob usos da terra, Piracicaba, Upanema-RN.

	Areia	Silte	Argila	Ds	Macro	Micro	Paer	CC	PMP	AD	COT	Ks
Areia	1,00											
Silte	-0,29	1,00										
Argila	-0,97	0,06	1,00									
Ds	0,07	-0,49	0,05	1,00								
Macro	0,57	-0,17	-0,55	-0,55	1,00							
Micro	-0,71	0,64	0,59	-0,16	-0,58	1,00						
Paer	0,68	-0,27	-0,64	-0,32	0,92	-0,70	1,00					
CC	-0,73	0,67	0,60	-0,47	-0,32	0,83	-0,57	1,00				
PMP	-0,73	0,55	0,62	-0,50	-0,28	0,71	-0,50	0,92	1,00			
AD	-0,60	0,68	0,46	-0,36	-0,31	0,81	-0,55	0,91	0,67	1,00		
COT	0,08	0,22	-0,14	-0,78	0,53	-0,21	0,44	0,08	0,17	-0,03	1,00	
Ks	0,94	-0,28	-0,91	0,10	0,57	-0,64	0,71	-0,74	-0,72	-0,62	-0,05	1,00

Densidade do solo (Ds); Capacidade campo (CC); Ponto de murcha permanente (PMP); Água disponível (AD), Carbono Orgânico Total (COT); Condutividade Hidráulica (Ks).

A matriz de correlação apresentada na Tabela 1 identifica as inter-relações entre os atributos, as correlações negativas foram: entre a fração areia e argila, microporosidade, atributos hídricos; argila com a Kr; microporosidade e a Paer; PMP e CC com a Kr. As correlações positivas foram: a fração areia e a Paer com a Kr; macroporosidade com a Paer e a microporosidade com os atributos hídricos.

Tabela 2. Eixos fatoriais extraídos para atributos de solos e as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada.

Variáveis	F1	F2
Areia	-0,88	0,22
Silte	0,61	0,43
Argila	0,77	-0,33
Ds	-0,28	-0,94
Macro	0,55	0,74
Micro	0,88	0,09
Paer	-0,74	-0,58
CC	0,94	0,23
PMP	0,88	0,25
AD	0,85	0,17
COT	0,01	0,82
Ks	0,88	0,17
Autovalores	6,65	2,89
Variância Total (%)	6,65	9,55
Variância Total Acumulada(%)	55,44	79,59

Densidade do solo (Ds); Capacidade campo (CC); Ponto de murcha permanente (PMP); Água disponível (AD), Carbono Orgânico Total (COT); Condutividade Hidráulica (Ks).

A análise fatorial na Tabela 2, revelou dois fatores com autovalores acima de 1, com variância total acumulada de 79,59%. O F1 reuniu a fração areia, argila, microporosidade, Paer,

CC, PMP, AD e Kr com variância total de 55,44%. Enquanto o F2 contribuiu com 9,55% da variabilidade, reunindo a Ds, macroporosidade e o COT.

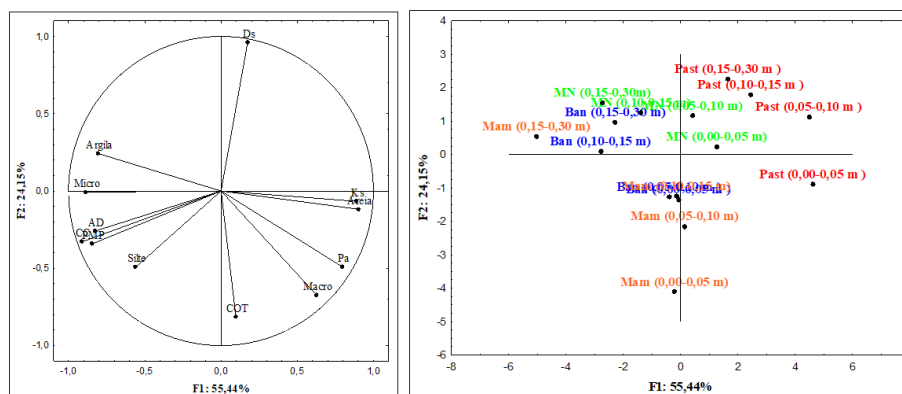


Figura 1. Distribuição das variáveis no círculo de correlações e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores 1 e 2.

Por meio dos componentes principais na Figura 1, observou-se as correlações entre os fatores, discriminando os cultivos agrícolas. A área de Pastagem (Argissolo) foi discriminada pela Ds, especialmente as camadas de 0,10-0,15 e 0,15-0,30 m e a Kr discriminou a camada 0,00-0,05 m, isso se deve a fração areia ser superior as demais frações inorgânicas em todas as camadas. Assim como Bocuti et al. (2020) a areia e a macroporosidade da área permitiram o fluxo de água no solo expresso pela Kr.

Já a fração argila discriminou a Mata Nativa (Latosso), nas camadas de 0,10-0,15 e 0,15-0,30 m. Os usos de Mamão e Banana (Cambissolos) foram discriminados pela argila em subsuperfície e microporosidade, em superfície a Paer e a Kr tiveram bons resultados, em função da adição de resíduos orgânicos oriundos de cultivos anteriores, o descréscimo em subsuperfície se deu pela presença de argila garantindo em uma lenta percolação e maior retenção de água no solo desses usos, o COT também foi discriminado pelos seus autovalores (KLEIN & KLEIN 2015; BOCUTI et al., 2020).

A mata nativa foi discriminada pelo COT, que pode ser explicado pela serrapilheira que recobre toda a superfície do solo aliada a ausência de atividades antrópicas. Nesse sentido, a presença da serrapilheira permitiu a ciclagem da matéria orgânica, repondo os estoques de carbono do solo, possibilitou ainda o desenvolvimento de microrganismos que corroboram com a agregação do solo, conseqüentemente resultou na manutenção estrutural, fundamental em solos intemperizados (LACERDA et al., 2023; LINS et al., 2023).

Quanto a CC, PMP e AD, discriminaram os usos de mamão e banana com os melhores resultados, enquanto a pastagem apresentou menor conteúdo de AD e a mata nativa obteve resultados intermediários, por ser um solo mais intemperizado, que geralmente apresentam déficit hídrico. Os resultados confirmam que a cobertura vegetal garante maior armazenamento

de água e menor escoamento superficial, minimizando a presença de crostas na superfície e degradação das áreas agrícolas (DONG et al., 2022; LINS et al., 2023).

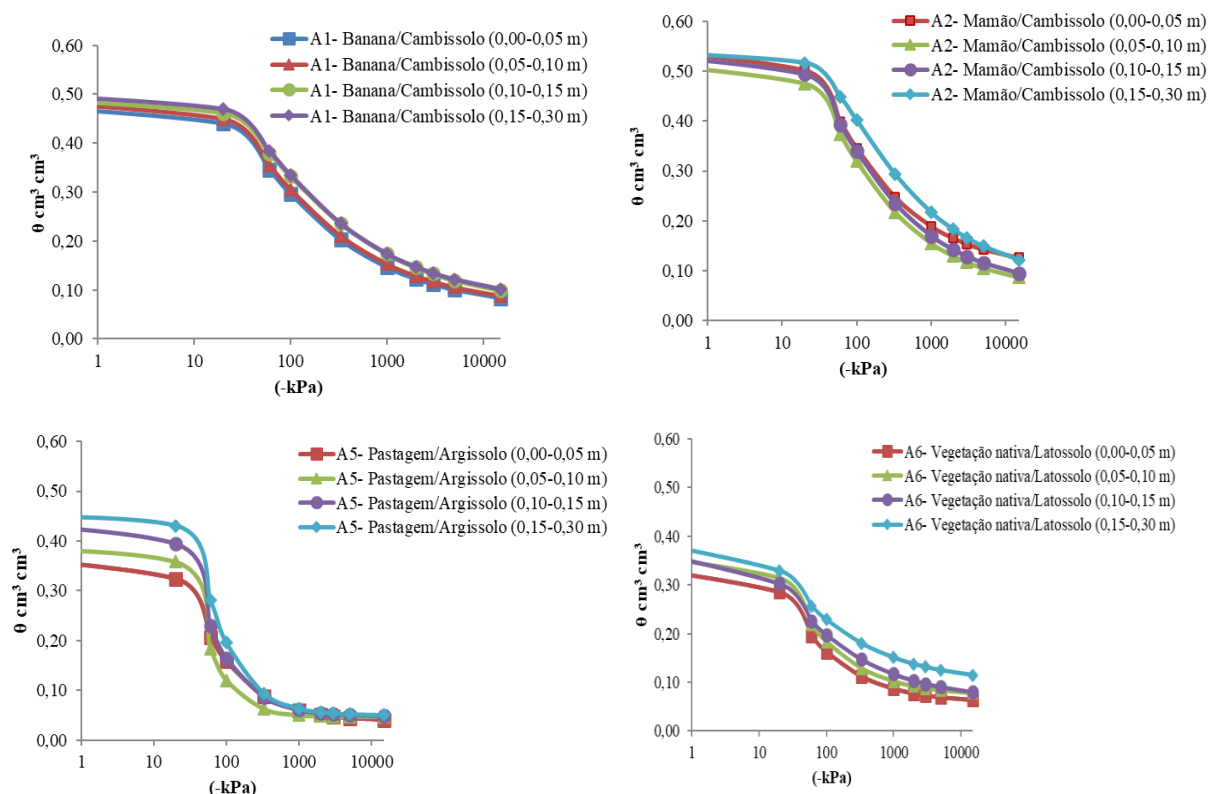


Figura 2. Curvas características de água no solo nos usos da terra em Piracicaba, Upanema-RN.

As CRS foram expressas na Figura 2 para áreas, seus coeficientes de determinação apresentaram valores superiores a 90% indicando bom ajuste das curvas de retenção de água no solo pela equação de van Genuchten. No potencial matricial correspondente à CC (-33 kPa) os usos de banana e mamão apresentaram maiores teores de água, isso se deu pela maior microporosidade comparada aos demais usos, refletindo no conteúdo de AD. Para o PMP (-1500 kPa) a pastagem e a vegetação nativa tiveram resultados inferiores, com menores resultados para AD, apresentando restrições hídricas.

Na Tabela 3 estão expressos os parâmetros da CRS, a umidade de saturação foi superior na banana e mamão, assim como a AD, são resultados da incorporação de matéria orgânica que garante a manutenção da porosidade do solo com maior retenção de água e disponibilidade para as plantas (DONG et al, 2022). A K_r foi superior na área de pastagem devido a presença da fração areia e para os demais usos os valores tiveram decréscimo nas camadas inferiores.

Tabela 3. Parâmetros das curvas de retenção de água no solo.

Camadas (m)	θ_r	θ_s	α	n	m	CC	PMP	AD	Kr	R ²
	cm ³ /cm ³		Adimensional			cm ³ /cm ³		cm/h		
A1- Banana (Cambissolo)										
0,00-0,05	0,06	0,48	0,04	1,45	0,31	0,21	0,06	0,15	10,52	0,98
0,05-0,10	0,08	0,48	0,04	1,44	0,3	0,22	0,08	0,14	9,71	0,99
0,10-0,15	0,1	0,48	0,03	1,41	0,29	0,24	0,1	0,14	8,54	0,99
0,15-0,30	0,1	0,49	0,03	1,42	0,3	0,25	0,1	0,15	7,81	0,99
A2- Mamão (Cambissolo)										
0,00-0,05	0,12	0,51	0,04	1,46	0,31	0,25	0,12	0,13	10,68	0,98
0,05-0,10	0,09	0,51	0,04	1,45	0,31	0,22	0,09	0,13	10,11	0,99
0,10-0,15	0,09	0,52	0,04	1,43	0,3	0,23	0,09	0,14	9,54	0,98
0,15-0,30	0,12	0,55	0,02	1,38	0,28	0,29	0,12	0,17	6,68	0,99
A4- Pastagem nativa (Argissolo)										
0,00-0,05	0,04	0,35	0,04	1,83	0,41	0,14	0,04	0,1	19,17	0,99
0,05-0,10	0,05	0,38	0,03	3,12	0,41	0,12	0,05	0,07	17,57	0,99
0,10-0,15	0,05	0,42	0,04	2,42	0,38	0,16	0,05	0,11	15,66	0,99
0,15-0,30	0,05	0,45	0,03	2,95	0,34	0,17	0,05	0,12	11,94	0,99
A5- Vegetação nativa (Latossolo)										
0,00-0,05	0,06	0,33	0,07	1,76	0,31	0,16	0,06	0,1	9,83	0,98
0,05-0,10	0,08	0,35	0,07	1,86	0,3	0,18	0,08	0,1	8,53	0,99
0,10-0,15	0,08	0,36	0,14	1,42	0,27	0,2	0,08	0,12	5,72	0,98
0,15-0,30	0,1	0,38	0,13	1,44	0,27	0,23	0,1	0,13	4,91	0,97

θ_r : Umidade residual; θ_s : Umidade de saturação; α , n, m: Parâmetros adimensionais; CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AD: Água disponível; K: Condutividade hidráulica dos solos; R²: Coeficiente de regressão linear.

CONCLUSÕES

Portanto, o uso da terra com pastagem (Argissolo) apresentou resultados inferiores para as variáveis físico-hídricas, com exceção da macroporosidade e condutividade hidráulica relativa (Kr) em função da fração areia e da classe de solo. Apresenta condições desfavoráveis para o crescimento e desenvolvimento das culturas, decorrente das práticas adotadas, com ausência da incorporação de matéria orgânica. Enquanto mata nativa (Latosolo) apresentou resultados intermediários para porosidade de aeração (Paer), atributos hídricos e carbono orgânico total (COT), ressaltando a importância serrapilheira na Caatinga.

Para os usos de banana e mamão houve incremento na retenção da água, quanto a capacidade de campo (CC) e água disponível (AD), assim como microporosidade, devido ao histórico de uso das áreas, garantindo condições para o crescimento vegetal. Os atributos físico-hídricos permitem identificar particularidades dos ambientes estudados, principalmente

esses usos, onde o preparo mínimo do solo e a adição de resíduos na superfície contribuíram para manutenção dos agroecossistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100153>>. Acesso em: 2 mar. 2023.

BOCUTI, E. D. et al. Condutividade hidráulica efetiva e sua relação com os demais atributos dos solos do Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 357-363, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p357-363>>. Acesso em: 1 jun. 2023.

DONG, L. et al. Impact of short-term organic amendments incorporation on soil structure and hydrology in semiarid agricultural lands. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, n. 3, p. 457-469, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.10.003>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

FILGUEIRAS, R. et al. Modelos de curva de retenção de água no solo. **Irriga**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 115, 2018. Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - IRRIGA. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p115-120>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

FU, Y. et al. Estimating soil water retention curves from thermal conductivity measurements: A percolation-based effective-medium approximation. **Journal of Hydrology**, p. 129898, 2023. Disponível em: <[https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jhydrol.2023.129898](https://doi.org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jhydrol.2023.129898)>. Acesso em: 23 abr. 2023.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 21-29, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/2236117014990>>. Acesso em: 1 jun. 2023.

LACERDA, N. B. et al. Organic matter pools in a fluvisol after 29 years under different land uses in an irrigation region in northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**., v. 208, p. 1-12, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104861>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

LINS, C. M. T. et al. Influence of vegetation cover and rainfall intensity on soil attributes in an area undergoing desertification in Brazil. **CATENA**, v. 221, p. 1-9, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106751>>. Acesso em: 22 abr. 2023.

MI/SUDENE Ministério da Integração Nacional/Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste Nova delimitação da região semiárida do Brasil/Resolução no 115, de 23 de novembro de 2017 (2022), p. 63. Disponível em: <<https://www.gov.br/sudene/pt-br>>. Acesso em 11 jul. 2023.

OLIVEIRA, L. L. et al. Water retention in Cambisols under land uses in semiarid region of the Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 189, p. 104483, 2021. Disponível em: <<https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jaridenv.2021.104483>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

PEČAN, U. et al. Variability of in situ soil water retention curves under different tillage systems and growing seasons. **Soil and Tillage Research**, v. 233, p. 105779, 2023. Disponível em: <<https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.still.2023.105779>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

PEREIRA, D. G. C. et al. Litter decomposition and nutrient release in different land use systems in the Brazilian semi-arid region. **CATENA**, v. 231, p. 107345, 2023. Disponível em: <<https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.catena.2023.107345>>. Acesso em: 2 mar. 2023.

PHAM, T. A. et al. Effect of temperature on the soil–water retention characteristics in unsaturated soils: Analytical and experimental approaches. **Soils and Foundations**, v. 63, Issue 3, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2023.101301>>. Acesso em: 2 mar. 2023.

REFATI, D. C. et al. Influence of drought and anthropogenic pressures on land use and land cover change in the Brazilian semiarid region. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 126, p. 104362, 2023. Disponível em: <<https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jsames.2023.104362>>. Acesso em: 2 mar. 2023.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília - DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2018. v.1, 590 p.

SONG, T. et al. Soil water conditions together with plant nitrogen acquisition strategies control vegetation dynamics in semi-arid wetlands undergoing land management changes. **Catena**, v.

227, p. 107115, 2023. Disponível em: <<https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.catena.2023.107115>>. Acesso em: 2 mar. 2023.

SOUSA LIMA, J. R. DE et al. Moisture, temperature and respiration of two soil classes under pasture and tropical dry forest in the semiarid Brazilian region. **Journal of Arid Environments**, v. 214, p. 104981, 2023. Disponível em: <<https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jaridenv.2023.104981>>. Acesso em: 2 mar. 2023.

STATSOFT INC. 2020. **Statistica: data analysis software system, version 14**. Tulsa. Disponível em: <<http://www.statsoft.com/>>. Acesso em: 3 mar. 2023.

TEIXEIRA, P.C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 573p.

VAN GENUCHTEN M.T. et al. (2009) RETC, Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils: Version 6.02. University of California, Riverside.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

YEOMANS, J. C; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, 1988. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00103628809368027>>. Acesso em: 2 mar. 2023.

ZHOU, W. et al. Effects of vegetation restoration on soil properties and vegetation attributes in the arid and semi-arid regions of China. **Journal of Environmental Management**, v. 343, p. 118186, 2023. Disponível em: <<https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jenvman.2023.118186>>. Acesso em: 2 mar. 2023.