



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Espacialização dos atributos do solo e suscetibilidade magnética em ambiente de inundação sazonal no Nordeste do Brasil

Hyandra de Oliveira Monteiro¹, Sammy Sidney Rocha Matias², Renato Falconeres Vogado³, Mariane Sirqueira Nogueira¹, Dayane Neres da Silva¹, Jacqueline Sousa Paes Landim⁴

¹Engenheira Agrônoma pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI). Av. Joaquina Nogueira de Oliveira, s/n, Aeroporto, Corrente – PI, CEP: 64980-000 – Brasil. E-mail: hyandraom28@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-0771-8424>); marinogueira98@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-2760-8775>); dayaneneresagro-hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-0445-7257>); ²Prof. Dr. da Universidade Estadual do Piauí – UESPI/Campus Dep. Jesualdo Cavalcanti Barros. Corrente-PI, Brasil. E-mail: ymmsa2001@yahoo.com.br (<https://orcid.org/0000-0002-5729-3284>). ³Dr em Agronomia Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Rodovia PB-079, km 12, Areia – PB, CEP: 58397-000 – Brasil. E-mail: renatoagro86@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-3282-7363>). ⁴Doutoranda em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Cinobelina Elvas, Endereço: BR 135, Planalto Horizonte, s/n, Bom Jesus – PI, CEP: 64900-000. E-mail: agrolandim_jacqueline93@outlook.com (<https://orcid.org/0009-0006-7843-4935>).

Artigo recebido em 29/05/2024 e aceito em 10/06/2024

RESUMO

A distribuição espacial dos atributos químicos, físicos e suscetibilidade magnética do solo pode mostrar o nível de concentrações e suas relações, indicando a melhor forma de manejar o solo, consequentemente, melhorando a produtividade da área. Dessa forma, objetivou-se com presente trabalho, mapear e avaliar a variação dos atributos químicos, físicos e suscetibilidade magnética em área inundada sazonalmente utilizada para pastoreio no município de Monte Alegre, Piauí. Foi montando uma malha amostral com espaçamentos 10 X 10m, sendo coletado 18 pontos amostrais, na profundidade de 0,0–0,20m, totalizando um total de 18 amostras georreferenciadas. Foram determinados: pH, matéria orgânica do solo (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por base (V%), condutividade elétrica (CE), suscetibilidade magnética (SM), areia, silte e argila. Os dados foram avaliados pelos métodos da estatística descritiva e geoestatística. Houve variabilidade espacial, permitindo a elaboração de mapas de fertilidade. Os mapas apontaram valores elevados de P, Ca, Mg, SB, CTC e V%; e baixos teores de MO e K. O mapa de SM apresentou similaridade com os mapas de K, Ca, Mg, SB e CTC. O diagnóstico da fertilidade do solo mostra o K como deficiente. Os valores elevados de Ca e Mg podem estar relacionados a deposição de sedimentos nos períodos de inundação. A interpolação de Krigagem para gerar mapas mostrou-se eficaz para determinar a distribuição espacial dos nutrientes do solo em área de pastagem natural.

Palavras-chave: Inundações sazonais, dinâmica de nutrientes, variação espacial, atributos químicos do solo, atributos físicos do solo

Spatialization of soil attributes and magnetic susceptibility in a seasonal flood environment in northeastern Brazil

ABSTRACT

The spatial distribution of soil chemical, physical, and magnetic susceptibility attributes can reveal concentration levels and their relationships, indicating the best way to manage the soil and consequently improve area productivity. Therefore, the objective of this study was to map and assess the variation of chemical, physical, and magnetic susceptibility attributes in a seasonally flooded area used for grazing in the municipality of Monte Alegre, Piauí. A sampling grid was established with 10 x 10 m spacing, collecting 18 sample points at a depth of 0.0–0.20 m, totaling 18 georeferenced samples. The following parameters were determined: pH, soil organic matter (OM), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), potential acidity (H+Al), sum of bases (SB), cation exchange capacity (CTC), base saturation (V%), electrical conductivity (EC), magnetic susceptibility (MS), sand, silt, and clay. Data were evaluated using descriptive and geostatistical methods. Spatial variability was observed, allowing the creation of fertility maps. The maps indicated elevated values for P, Ca, Mg, SB, CTC, and V%, and low levels for OM and K. The MS map showed similarity with K, Ca, Mg, SB, and CTC maps. Soil fertility diagnosis indicated a deficiency in K. The high values of Ca and Mg may be related to sediment deposition during flooding periods. Kriging interpolation for map generation proved effective in determining the spatial distribution of soil nutrients in a natural pasture area.

Keywords: Seasonal floods, nutrient dynamics, spatial variation, soil chemical attributes, soil physical attributes.

Introdução

Algumas áreas próximas ao Rio Gurgueia, no Sul do Piauí, são afetadas por inundações sazonais. Essa característica beneficia os pecuaristas locais, que aproveitam as pastagens naturais desenvolvidas nessas regiões para alimentar seus animais. A dinâmica dos nutrientes do solo em ecossistemas sazonais de várzea é altamente complexa devido às inundações e às mudanças nos processos de oxirredução (Tsheboeng, Bonyongo & Murray-Hudson, 2014).

Essas áreas alagadas distinguem-se, em parte, pela deposição de sedimentos ricos em nutrientes, como P, K, Ca e Mg elementos cruciais para a manutenção das pastagens naturais (Vourlitis et al., 2023). A ciclagem desses nutrientes durante as cheias sazonais contribui significativamente para a fertilização natural do solo, proporcionando um ambiente propício para o desenvolvimento da vegetação (Vourlitis et al., 2017).

Em períodos de inundação sazonal, partículas podem ser lixiviadas no perfil do solo ou suspensas nas águas das cheias, sendo redistribuídas pelos solos das planícies aluviais ou transportadas pelo rio, potencialmente fertilizando planícies aluviais a jusante (Silva et al., 2023).

Muitas das informações sobre a dinâmica de nutrientes baseiam-se em estudos de solos elevados e bem drenados (Vourlitis et al., 2017). A disponibilidade de nutrientes em solos inundados sazonalmente pode assemelhar-se à encontrada em áreas de solos elevados no final do período inundado e durante a estação seca (Vourlitis et al., 2014). No entanto, as diferenças na dinâmica da ciclagem de nutrientes entre solos elevados e inundados sazonalmente são potencialmente marcantes, especialmente durante a fase de inundação (Vourlitis et al., 2017).

Na região em análise, o índice de fertilidade é afetado pela sazonalização das inundações, pelo material de origem e pelo relevo, o que implica em mudanças na abordagem de manejo em comparação com outras regiões. Assim, o estudo da variação espacial emerge como uma ferramenta essencial para compreender o comportamento da fertilidade do solo (Matias et al., 2019; Oliveira et al., 2022). A análise da variação espacial dos atributos do solo, considerando as diferentes influências sazonais e características geográficas, torna-se crucial para adaptar práticas de manejo mais eficientes e sustentáveis, levando em conta as especificidades

de cada região (Vogado et al., 2020; Oliveira et al., 2021; Oliveira et al., 2022; Silva et al., 2023).

Além disso, a compactação do solo pode afetar o desenvolvimento da planta e também na absorção ou disponibilidade dos nutrientes para a planta. O impedimento mecânico ou resistência do solo à penetração (RP), pode ser considerado um dos principais indicadores de baixa qualidade física do solo agricultável, podendo acarretar a limitação da produtividade da planta em determinada área (Barros et al., 2022, Nogueira et al., 2023). Porém, estudos de variabilidade espacial necessitam de um volume de amostras de solo que pode inviabilizar de forma econômica sua aplicação, neste caso, vários autores (Siqueira et al., 2010, Barros et al., 2022, Nogueira et al., 2023, Matos et al., 2023), estão utilizando a técnica da suscetibilidade magnética (SM) como forma de minimizar esses custos, pois o valor obtido está relacionado com o material de origem, relevo e com o manejo.

Ademais, compreender a distribuição espacial dos atributos químicos, físicos e suscetibilidade magnética do solo em uma determinada área é essencial para aprimorar as práticas de manejo e avaliar os impactos da agricultura na qualidade ambiental (Cambardella et al., 1994). Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo mapear e avaliar a variação dos atributos químicos, físicos e suscetibilidade magnética em uma área inundada sazonalmente, frequentemente utilizada para pastoreio no município de Monte Alegre, Piauí.

Material e métodos

O experimento foi instalado no Município de Monte Alegre nas coordenadas latitude: 9° 45' 20'' Sul, Longitude: 45° 18' 23'' Oeste, com altitude média de 453 m. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen (1936), pertence ao tipo Aw', tropical com estação seca, com temperaturas variando entre 25 ° C a 39 ° C, precipitação média de 1054 mm.

O estudo foi realizado na área com alta vegetação, sendo composta de gramíneas e arbustos. Essa área sofre com inundações sazonais ao longo do ano, que podem ocorrer no período chuvoso que se concentra entre os meses de novembro a abril.

As amostras de solo foram coletadas manualmente com auxílio de um trado de caneco, em uma profundidade de 0,0-0,20 m, espaçado a cada 10 m, totalizando 18 amostras simples, em uma área de 0,5 hectares. Todos os pontos

amostrados foram georreferenciado com GPS (Figura 1).

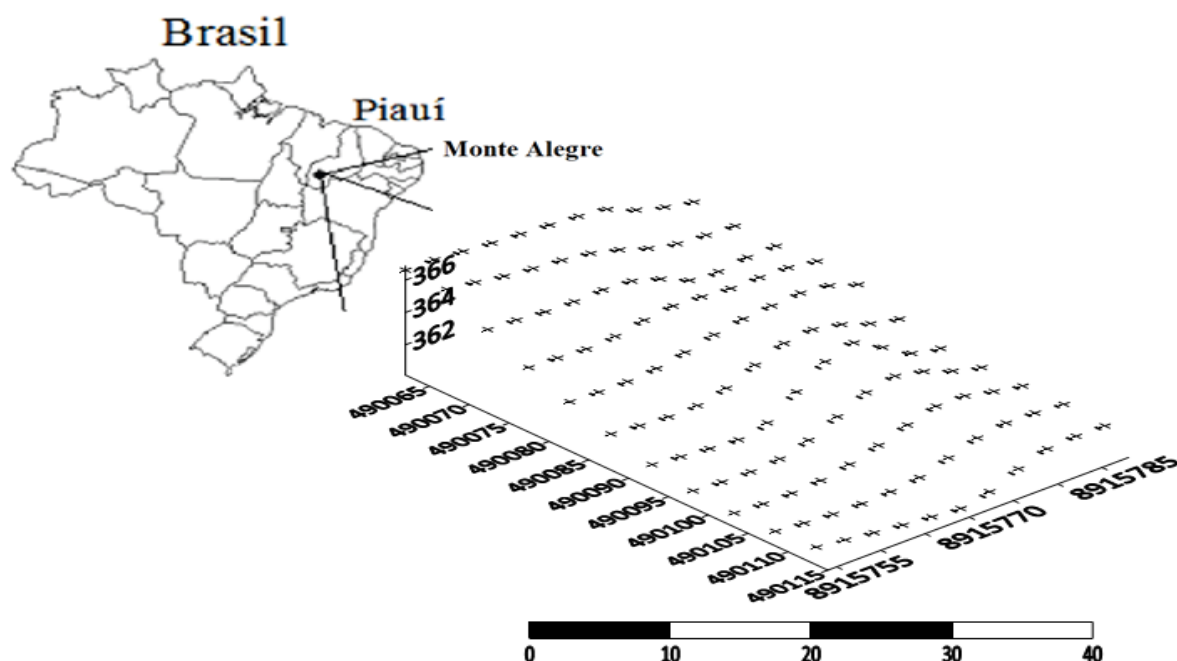


Figura 1. Localização da área de estudo, mapa de relevo e distribuição dos pontos amostrais na profundidade de 0,0-0,20 m.

Fonte: Autores (2023).

As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm. As análises dos atributos do solo foram realizadas no Centro de Análises de Solo e Planta da Universidade Estadual do Piauí- UESPI, foram determinados os seguintes atributos químicos: pH em H_2O , matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e condutividade elétrica do solo de acordo com as recomendações de Teixeira et al. (2017), e calculado a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e percentagem de saturação por bases (V%) e determinado a granulometria do solo, areia, argila e silte.

O pH foi determinado em água na proporção 1:2,5 onde foi utilizado 10cm^3 de solo e 25 ml de água e posteriormente foi realizado a leitura em potenciômetro com eletrodo combinado de vidro. Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram extraídos com solução extratora de $KCl\ 1\text{ mol L}^{-1}$ e leitura realizada por meio de espectrofotômetro de absorção atômica, o teor de K^+ foi determinado com solução Mehlich⁻¹ e posterior determinação por espectrofotometria de chama conforme metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

Com base nos resultados obtidos nas análises químicas, foram calculadas a CTC e V%. A CTC foi determinada pelo somatório da soma das bases, H e Al que foram determinados por meio

de acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinação volumétrica com solução de NaOH utilizando-se fenolftaleína como indicador. A V% foi determinada dividindo a soma das bases trocáveis pela CTC multiplicando-se o resultado por 100, o valor obtido indica a porcentagem das cargas negativas ocupadas pelas bases (Teixeira et al., 2017).

Os teores de argila, areia e silte, foram determinados pelo método da pipeta, utilizando NaOH $0,1\text{ mol L}^{-1}$ como dispersante químico e agitação mecânica em baixa velocidade por 16 h, conforme recomendações propostas por Teixeira et al. (2017). A suscetibilidade magnética (SM) “ χ ” das amostras foi realizada segundo a metodologia de Siqueira et al. (2010), essa técnica é constituída de uma balança analítica, um ímã, um porta ímã e um porta amostra, proporcionando uma interação entre o ímã e os minerais magnéticos, dentro das amostras de solo, gerando uma força de peso na balança, em que essa força peso é então convertida em SM utilizando uma curva-padrão.

Para a determinação da resistência a penetração do solo (RP), foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar com ângulo de cone de 30° . A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração, sendo

obtida através da equação proposta por Stolf (1991). (Equação 1).

$$RP = \frac{[Mg + mg \left(\frac{M}{M + m} \times \frac{Mg \cdot h}{x} \right)]}{A} \quad (1)$$

Em que:

RP = resistência do solo à penetração, kgf cm⁻² (kgf cm⁻² * 0,098 = MPa);

M = massa do êmbolo, 4 kg (Mg - 4 kgf);

m = massa do aparelho sem êmbolo, 3,2 kg (Mg - 3,2 kgf);

h = altura de queda do êmbolo, 40 cm; x = penetração da haste do aparelho, cm/impacto, e

A = área do cone, 1,29 cm².

Foi analisado a RP na profundidade de 0,0-0,20 m, não houve análises de umidade do solo.

Para a análise da estatística descritiva, inicialmente realiza-se um estudo exploratório de dados, com o software MINITAB (Minitab Release, 2000), calculando medidas de localização (média, mediana, mínimo e máximo), de variabilidade (coeficiente de variação) e de tendência central (assimetria e curtose), para verificar a normalidade dos atributos avaliados. Para a análise do CV, será utilizado a classificação de (Warrick & Nielsen, 1980), com variabilidade

baixa para valores menores de 12%, média entre 12 e 60%, e alta para valores maiores de 60%. Foi realizada a correlação linear de Pearson nos atributos do solo estudados.

Os semivariogramas foram obtidos mediante o programa GS⁺ (Robertson, 2008), ajustados aos dados os seguintes modelos: (a) esférico, (b) exponencial, (c) gaussiano. Por meio destes modelos, realizou-se a predição de cada atributo em zonas não amostradas mediante krigagem, representados em mapas de contorno, utilizando o programa (Surfer, 2000). A escolha dos modelos teóricos foi realizada, observando-se a soma do quadrado dos resíduos (SQR), o coeficiente de determinação (R²) e, posteriormente, o coeficiente de correlação obtido pela técnica da validação cruzada. A classificação do grau da dependência espacial (GDE) foi realizada com base na razão entre o efeito pepita e o patamar (C₀/C₀+C₁), sendo considerada, fraca superior de 75%, moderada entre 25% e 75% e forte inferior de 25% (Cambardella et al., 1994). Nos mapas da distribuição espacial dos atributos químicos do solo os teores foram interpretados segundo a descrição de Classificação Agronômica feita por Ribeiro et al. (1999), descrito na tabela 1.

Tabela 1. Classificação agronômica dos atributos químicos do solo que foi utilizada na interpretação dos resultados para fins de avaliação da fertilidade do solo no presente estudo.

Variáveis	Classificação Agronômica				
pH em H ₂ O	Acidez muito elevada	Acidez elevada	Médio	Fraco	Alcalino
	< 4,50	4,50 – 5,00	5,10 – 6,00	6,10 – 6,90	> 7,00
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito Bom
K ⁺ cmol _c dm ⁻³	< 0,50	0,50 – 1,00	1,00 – 2,00	-----	> 2,00
P mg dm ⁻³	< 8,00	8,10 – 11,40	11,50 – 15,80	15,90 – 24,00	> 24,00
Ca ²⁺ cmol _c dm ⁻³	0,40	0,41 – 1,20	1,21 – 2,40	2,41 – 4,00	> 4,00
Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	0,15	0,16 – 0,45	0,46 – 0,90	0,91 – 1,50	> 1,50
H+Al cmol _c dm ⁻³	1,00	1,01 – 2,50	2,51 – 5,00	5,01 – 9,00	> 9,00
SB cmol _c dm ⁻³	0,60	0,61 – 1,80	1,81 – 3,60	3,61 – 6,00	> 6,00
CTC cmol _c dm ⁻³	1,60	1,61 – 4,30	4,31 – 8,60	8,61 – 15,00	> 15,00
V%	20,00	20,10 – 40,0	40,1 – 60,00	-	-

Fonte: Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999).

Resultados e discussões

Conforme evidenciado na Tabela 2, constata-se que as médias e medianas dos atributos analisados apresentam proximidade. Analisando os valores médios da resistência a penetração (RP) e suscetibilidade magnética (SM), constatou-se que os mesmos são considerados baixos (Barros et al.,

2022, Nogueira et al., 2023), indicando que a RP, não foi influenciado pela sazonalização das águas. Em relação a SM, os valores além da não influencia pela sazonalização, está associado a característica textural (Areia) do local. Nogueira et al. (2023), obtiveram resultados semelhantes em área com mesma classificação textural).

Tabela 2. Análise descritiva dos atributos químicos, físico, resistência a penetração e suscetibilidade magnética em duas profundidades.

Atributos	Méd	Med	DP	Min	Máx	Coeficientes		
						Ass	Curt	CV (%)
Profundidade de 0,0-0,20 m								
pH	7,57	7,69	0,37	6,90	8,09	-0,45	-1,15	5,00
MO	0,22	0,20	0,30	0,0	0,90	0,93	-0,54	131,97
P	64,07	68,09	14,42	34,27	84,97	-0,69	-0,44	22,51
K	0,30	0,29	0,09	0,11	0,44	-0,21	-0,39	33,11
Ca	11,16	10,65	3,00	6,00	17,50	0,58	0,15	26,95
Mg	1,92	1,55	1,24	0,30	5,30	1,27	1,96	64,61
H+Al	0,82	0,86	0,33	0,33	1,65	0,38	0,62	40,86
SB	13,93	12,80	3,69	7,14	23,25	0,99	1,82	27,63
CTC	14,21	13,34	3,78	8,05	24,24	0,96	1,57	26,64
V%	93,96	93,87	2,54	88,72	97,42	-0,28	-0,66	2,71
CE(dS.m ⁻¹)	0,20	0,20	0,09	0,0	0,30	-0,87	0,17	48,51
RP	0,69	0,68	0,05	0,58	0,78	0,08	0,41	7,22
SM	0,05	0,04	0,01	0,02	0,92	1,02	2,24	29,65
Areia	902,94	905,75	13,57	872,50	924,00	-0,73	0,13	1,50
Argila	21,10	20,10	6,06	10,40	33,80	0,16	0,03	28,71
Silte	75,96	74,85	15,18	54,40	108,30	0,54	-0,34	19,99

CV: Coeficiente de Variação [CV% = (Desvio-padrão/Média) x 100]; Matéria orgânica (MO), Condutividade Elétrica (CE), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Soma de Base (SB), Capacidade de troca catiônica (CTC), Saturação por bases (V%), Suscetibilidade Magnética (SM), Resistência a penetração (RP). Méd = média, Med: mediana, Max = valores máximos, Mín = valores mínimos, DP = desvio Padrão, Ass: Assimetria; Curt: Curtose.

Fonte: Autores (2023).

Verifica-se que o pH do solo está acima do considerado neutro, isso indica uma tendência da área possui pontos específicos que possa estar com problemas de alcalinidade, podendo ser necessário uma correção do pH até a sua neutralidade.

Esse resultado pode estar associado a depósitos de elementos oriundos de outros locais e

que estão refletindo esses valores, principalmente o cálcio que mesmo sendo considerados valores muitos bons (Tabela 1), podem estar interferindo na dinâmica da disponibilidade dos nutrientes para a planta, elevando o pH a nível além dos considerados adequados.

Apesar desse resultado do pH, verifica-se que o P se encontra com média consideradas altas, juntamente do Mg, SB, CTC e V% de acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999). Esse resultado indica que o pH pode não está afetando de forma acentuada a absorção dos nutrientes para a planta de forma geral, mais em determinadas área. Neste caso, existiria a necessidade de aplicação de corretivos em local específicos para neutralizar a alcalinidade do solo.

Quanto aos indicadores de assimetria e curtose, destaca-se que o valor zero revela uma distribuição normal dos dados. No entanto, para assimetria, observaram-se discrepâncias mais pronunciadas nos atributos Mg (1,27), SM (1,02) e CE (-0,87) (Tabela 2). Em relação à curtose, notou-se que SM (2,24), Mg (1,96), SB (1,82), CTC (1,57) e pH (-1,15) apresentaram valores desfavoráveis, sugerindo uma distribuição não normal dos dados (Tabela 2). Essas observações ressaltam a relevância de considerar não apenas medidas centrais, mas também indicadores de distribuição ao avaliar a variabilidade dos atributos do solo.

Os teores de MO apresentaram os maiores valores de CV% (Tabela 2), mostrando que essa foi a variável mais heterogênea, ou seja, apresenta valores mais dispares em relação à média. Possivelmente as flutuações sazonais da água nesse ambiente, resultaram no remanejamento da MO para outros locais, principalmente a MO localizada na camada superficial. Os solos das zonas húmidas, sob condições anaeróbicas

regulares, reduzem a decomposição de materiais vegetais orgânicos, resultando na acumulação de matéria orgânica. Isto permite que as zonas húmidas armazenem eficazmente quantidades substanciais de MO (Martín-López et al., 2023).

Ao analisamos a condutividade elétrica do solo, verifica-se que seus valores são considerados baixos, ou já, não existe risco de salinização da área em estudo, apesar das variações de inundações que pode ocorrer durante um determinado período do solo.

Segundo Tavares Filho et al. (2022) que analisou um número de amostra de água em poço e sua utilização em área do semiárido para irrigação, identificou que existe locais com potencial de salinização, indicando que as áreas devem utilizar um manejo específico, assim evitando possíveis salinização das e consequentemente inutilização da área para agricultura.

Os resultados da análise geoestatística revelaram que todos os atributos do solo e suscetibilidade magnética manifestaram dependência espacial (Tabela 3). Todas as variáveis examinadas foram ajustadas a algum modelo, para o qual se observou um efeito pepita puro. A representatividade dos modelos seguiu a seguinte ordem: Exponencial (H+Al, SB, CTC, V%, RP e silte), Gaussiano (P, K, Ca, areia e argila) e Esférico (pH, MO, Mg, CE e SM). Conforme observado por Bernardi et al. (2016), os modelos Gaussiano e Esférico destacaram-se por descrever de maneira mais precisa o comportamento dos atributos químicos do solo.

Tabela 3. Análise de geoestatística dos atributos químicos, físico, resistência a penetração e suscetibilidade magnética em duas profundidades.

Atributos	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	GDE	Distância (m)	R ²
Profundidade de 0,0-0,20 m						
pH	Esférico	0,0041	0,1562	2,62	15,1	0,7
MO	Esférico	0,004	0,684	0,58	10,1	0
P	Gaussiano	103,6	339,9	30,48	52,82	0,95
K	Gaussiano	0,00156	0,01212	12,87	27,36	0,99
Ca	Gaussiano	0,27	8,81	3,06	11,26	0,41
Mg	Esférico	0,294	0,726	40,50	26,3	0,78
H+Al	Exponencial	0,0352	0,1604	21,95	47,1	0,97
SB	Exponencial	4,78	9,57	49,95	37,8	0,29
CTC	Exponencial	5,07	10,15	49,95	35,7	0,23

V%	Exponencial	0,97	5,518	17,58	36,6	0,89
CE	Esférico	0,00155	0,0121	12,81	35,9	0,97
RP	Exponencial	0,000532	0,00295	18,01	12,6	0
SM	Esférico	0,000056	0,00012	47,06	32,3	0,35
Areia	Gaussiano	65,1	198	32,88	29,27	0,99
Argila	Gaussiano	0,1	41,13	0,24	19,74	0,68
Silte	Exponencial	22,8	183,7	12,41	17,4	0,28

C_0 = efeito pepita; C_0+C_1 = patamar; GDE = grau de dependência espacial; R^2 = coeficiente de determinação do modelo

Fonte: Autores (2023).

O grau de dependência espacial foi delineado conforme a abordagem de Cambardella et al. (1994), revelando dependência espacial forte (<25%) para os atributos: pH, MO, K, Ca, H+Al, V%, CE, RP, argila e silte, e moderada (25 a 75%) foi observada para P, Mg, SB, CTC, SM e areia (Tabela 3). A forte dependência espacial assinala que o modelo foi suficiente para detectar a variabilidade existente no local, indicando que os atributos do solo não estão dispostos no espaço de forma aleatória e que esses atributos são influenciados por fatores intrínsecos do solo, como material de origem, mineralogia, relevo, organismos e tempo (Vogado et al., 2020; Oliveira et al., 2021).

Dentre os atributos avaliados, constatou-se que o P exibiu o alcance maior, atingindo o valor de 52,82, seguido por H+Al, que registrou 47,1. Em contraste, o Ca demonstrou a menor alcance, totalizando 11,26 (Tabela 3). No contexto da geoestatística, um alcance mais elevado denota que a correlação entre os valores da variável persiste por distâncias ampliadas, enquanto um alcance reduzido sugere uma diminuição da correlação espacial conforme a distância se estende. Uma maior extensão de alcance implica em uma distribuição mais homogênea da variável na área de estudo (Resende et al., 2014; Vogado et al., 2020).

As variáveis P, K, H+Al, CE e areia apresentaram os maiores coeficientes de determinação (R^2), acima de 0,90% (Tabela 3). Um R^2 mais elevado sugere que o modelo utilizado é capaz de capturar e explicar uma proporção significativa da variabilidade espacial presente nos dados (Oliveira et al., 2021). Oliveira et al. (2022), ao estudarem a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em área cultivada com bananeira

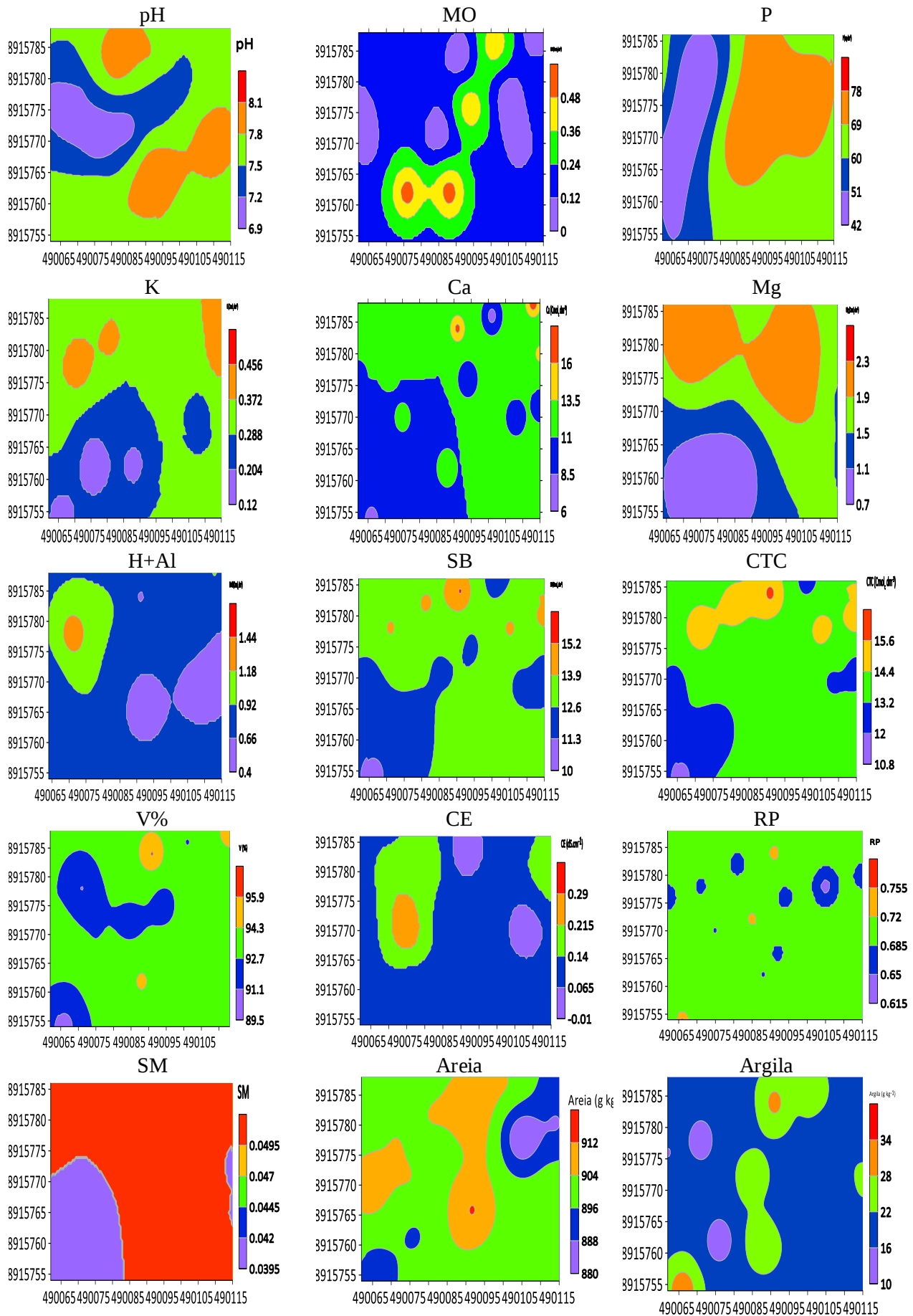
na profundidade 0,0-0,20 m, constaram valores de R^2 variando entre 0,61 a 0,99%.

Com base nas conclusões obtidas dos semivariogramas, procedeu-se à confecção dos mapas representativos da distribuição espacial dos atributos do solo. A Figura 2 ilustra a variação desses atributos ao longo da área em estudo, facilitando a identificação de zonas específicas para aprimorar o manejo da fertilidade do solo. Os mapas dos atributos P e Mg bem como o mapa de pH mostraram-se potenciais para aplicação de insumos a taxas variáveis. Essa abordagem visa a aplicação precisa de insumos, pretendendo à homogeneização da fertilidade do solo. Tais considerações são relevantes na prática da agricultura de precisão (Silva et al., 2023).

Observou-se que o pH da área é na sua maioria alcalino (Tabela 1) valores entre 7,5 a 7,8 (Figura 2). Corroborando com Silva et al. (2023), que ao estudarem área de inundação sazonal também encontram pH elevado. Como relatado por Ye et al. (2020), que ao avaliar os componentes químicos do solo, destacaram que o pH tende a ser maior nas áreas ribeirinhas inundadas em comparação a outras regiões.

Essa situação promove ou interfere a disponibilidade dos nutrientes que estão presente no solo que poderiam ser absorvidos pela planta, principalmente os micronutrientes que são os primeiros elementos a serem afetados pelo aumento do pH alcalino, decorrente do tamponamento promovido por essa alcalinidade.

A presença ou identificação de pH alcalino indica que existe presença de elementos como cálcio e magnésio acima do considerado adequado, promovendo junto com sódio, aumentos de cargas negativas no solo.



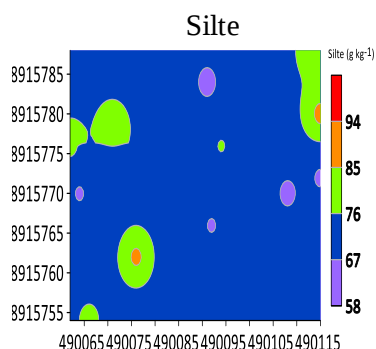


Figura 2. Distribuição espacial dos atributos químicos, físico, resistência a penetração e suscetibilidade magnética na profundidade de 0,0-0,20m

Fonte: Autores (2023).

Para os teores de matéria orgânica (MO), é perceptível uma predominância de valores entre 0,12 a 0,24% (Figura 2). Em estudo realizado em áreas inundadas sazonalmente, Silva et al. (2023), encontraram valores menores de MO, predominantemente na faixa entre 0 a 0,15% para a profundidade 0,0-0,20 m. Diferente das áreas de terra alta utilizadas para agricultura, que tendem a apresentar valores maiores, como no trabalho desenvolvido por Oliveira et al. (2022), que encontraram valores de MO entre 1,35% a 1,85%. Em solos de terras altas, os óxidos e hidróxidos de ferro ou alumínio protegem a MO da decomposição microbiana, contribuindo assim para o armazenamento de C durante séculos (Schneider et al., 2010; Lacroix et al., 2019). Em solos inundados, no entanto, o rápido esgotamento do oxigênio após a inundação pode resultar na dissolução redutiva de óxidos de ferro (III) (Chen et al., 2017), potencialmente causando a mobilização da MO anteriormente ligado ao ferro (Zhao et al., 2017).

Em estudos desenvolvidos por São et al. (2023) em solos com inundação sazonal, eles perceberam o aumento da matéria orgânica dissolvida, e relacionaram as mudanças nos mecanismos químicos, metabólicos e físicos sob condições submersas. Uma vez que com o aumento da duração das cheias, os solos submersos transformam-se lentamente de condições aeróbicas para anaeróbicas    medida que ocorre o esgotamento do oxig  nio, e com isso o estado reduzido promove a desintegração agregada, a dissolução mineral e a liberação da matéria orgânica. A dissolução da matéria orgânica presente no solo permite que a mesma seja carregada pela água e depositada em outros locais. Deste modo explica-se o que possivelmente implicou nos menores valores de MO presentes nesta pesquisa.

O fósforo (P) exibiu padrões distintos e bem caracterizados, variando de 42 a 78 mg dm⁻³ (Figura 2), ou seja, valores tidos como muito bons (Tabela 1). Essas áreas claramente definidas e extensas de P podem estar ligadas    reduzida mobilidade do elemento, delineando, assim, regi    es específicas de sua distribuição no solo. Em ambientes aeróbicos, o P é firmemente retido por óxidos e hidróxidos de ferro (III). No entanto, durante períodos de alagamento, o ferro (III) assume o papel de acceptor alternativo de el  tr  ns para a oxidação microbiana da matéria orgânica, convertendo-se em ferro (II), uma forma mais móvel (Patrick & Khalid, 1974; Roy & Bickerton, 2014). O P previamente retido pelos óxidos e hidróxidos de ferro (III) torna-se móvel, dissolvendo-se na água dos poros do solo (De-Campos et al., 2012; Tang et al., 2016). Wilson et al. (2008) investigaram o solo em áreas de zonas ribeirinhas e descobriram que a alternância de condições secas e úmidas aumenta a liberação de fósforo no solo, devido a alteração de pH, alteração no potencial de oxirredução do solo e aumento da atividade microbiana.

Os resultados revelaram teores muito baixos de potássio (K) (Tabela 1), concentrando-se na faixa de 0,28 a 0,37 cmol_c dm⁻³ (Figura 2). Esses achados corroboram os resultados encontrados por Silva et al. (2023) que também identificaram valores baixos de K entre 0,19 e 0,25 cmol_c dm⁻³. É importante ressaltar que a área de estudo não recebeu nenhum tipo de adubação, e, somada à característica de solo arenoso, possivelmente contribuiu para a lixiviação do K. Outro fator a ser levado em consideração para os baixos valores de K é a presença elevada de Ca²⁺ (Tabela 2). Okeke et al. (2021) constataram que diferentes concentrações de Ca²⁺ ao longo do tempo influenciam nos valores de K, conferindo-lhes

magnitudes maiores ou menores conforme a concentração de Ca^{2+} na amostra de solo. A relação entre K, Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo consiste no antagonismo do K em relação ao Ca^{2+} e ao Mg^{2+} . Se o Ca^{2+} ou Mg^{2+} estiverem desproporcionalmente presentes e dominarem o complexo de troca sobre o K, a disponibilidade de K do solo para as plantas será reduzida (Laekemariam; Kibret; Shiferaw, 2018). Essa perspectiva pode ser aplicada a essa área de estudo, pois a presença de Ca^{2+} e Mg^{2+} são consideravelmente maiores que a do K.

O teor de cálcio (Ca) apresentou valor muito bom (Tabela 1), concentrando-se principalmente em duas faixas: 8,5 a 11 e de 11 a 13,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Com relação ao magnésio (Mg), é perceptível grandes áreas abrangendo teores entre 1,5 a 2,3 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo assim valores muito bons (Tabela 1), adequados para o desenvolvimento das pastagens. Durante o evento de inundação, o solo passa por um processo de intensa redução, ocasionando diminuição no pH, o que, provoca um aumento na mobilidade tanto do Ca quanto do Mg. Isso engloba não apenas o Ca e Mg depositados durante a enchente anterior, mas também os nutrientes liberados a partir da decomposição da matéria orgânica acumulada nos períodos de seca (Tsheboeng; Bonyongo & Murray-Hudson, 2014).

A acidez potencial (H+Al) apresentou valores muito baixos (Tabela 1) entre 0,66 a 0,92 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 2), isso indica que a quantidade de íons H^+ e Al^{3+} na solução do solo é baixa, não representando um fator limitante para o desenvolvimento das pastagens. Possivelmente os valores baixos de H+Al estão relacionados aos elevados teores de Ca. A presença significativa de Ca pode desempenhar um papel atenuante na toxicidade do Al^{3+} no solo, como a formação de complexos solúveis menos tóxicos para as plantas ou por meio da inibição de absorção, em que o Ca compete com o Al pelos mesmos sítos de absorção da planta, dessa forma, dificultando a absorção de Al pelas plantas. Valores de H+Al classificados como médios (2,51 – 5,00 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 1), indicam que a área cultivada não apresenta toxicidade, assim, não prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Oliveira et al., 2021).

A soma de bases (SB) apresentou valores na sua maioria entre 12,6 a 13,9 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Os valores observados se enquadram na classe muito bom (Tabela 1), ficando acima de 6,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. O resultado elevado para SB se deve principalmente ao Ca e Mg que apresentaram valores interpretados como muito bom. Os valores elevados de SB podem estar relacionados as

inundações que depositam resíduos ricos em Ca e Mg no solo. Dessa forma, as inundações sazonais podem solubilizar os nutrientes, tornando-os mais disponíveis para as plantas. Isso ocorre conforme a água da inundação interage com solo, movendo de um ponto para outro seus detritos e matéria orgânica, os solubilizando e tornando-os acessíveis para absorção das plantas (Tsheboeng; Bonyongo & Murray-Hudson, 2014; Ponting et al., 2021).

Com relação a capacidade de troca de cátions (CTC), os valores na sua maioria se enquadraram entre 13,2 a 14,4 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, dessa forma, tidos como bons (Tabela 1). Os valores de saturação por base (V%) ficaram predominantemente acima de 60%, na faixa entre 92,7 a 94,3% (Figura 2), indicando que a área total apresenta boa fertilidade ($V\% > 50\%$) (Tabela 1). Eventos de inundação sazonal podem impactar a CTC e a V% devido à deposição de sedimentos e minerais, introduzindo cátions que as partículas do solo podem prender e, posteriormente, liberar, permitindo assim sua incorporação à CTC efetiva (Silva et al., 2023). Quando os valores de Ca, Mg, K e Na estão baixos após um evento de inundação, podem ser resultantes da lixiviação e diluição, porque a inundação aumenta a solubilidade dos nutrientes minerais (Tsheboeng; Bonyongo & Murray-Hudson, 2014).

A condutividade elétrica (CE), apresentou valores majoritariamente entre 0,065 a 0,14 $\text{dS} \cdot \text{cm}^{-1}$, indicando baixa concentração de sais no solo, o que é desejável para a condução adequada das pastagens. A gestão da salinização dos solos requer o conhecimento da sua extensão espacial e a avaliação dinâmica ao longo do tempo, especialmente para verificar a eficácia das técnicas de remediação voltadas para a dessalinização do solo (Michot et al., 2013, Tavares Filho et al., 2022).

Os resultados revelaram uma resistência à penetração (RP) baixa, concentrando-se principalmente na faixa entre 0,68 a 0,72 MPa (Figura 2). Esses valores indicam condições propícias para a penetração das raízes no solo, favorecendo a absorção de nutrientes, água e promovendo o crescimento das plantas. Em um estudo conduzido por Salahin et al. (2021) que investigaram diferentes sistemas de manejo em áreas sazonalmente inundadas, encontraram valores elevados de RP que variaram de no mínimo 2,95 MPa ao máximo de 9,76 MPa. Os pesquisadores observaram uma relação entre áreas com maior concentração de matéria orgânica no solo e menores valores de RP, demonstrando a influência positiva da deposição de resíduos no

solo para a redução da RP, mesmo na agricultura praticada em solos sazonalmente inundados.

As curvas de isolinhas da suscetibilidade magnética (SM) alinharam-se consistentemente com aquelas, presentes nos mapas de K, Ca, Mg, SB e CTC (Figura 2). Foi notável a tendência de aumento na SM nos pontos de maior concentração dos elementos supracitados, sugerindo uma relação interdependente entre a presença desses elementos e a SM. Essa relação pode ocorrer pelo fato de que esses elementos químicos estão frequentemente associados a minerais magnéticos, como a magnetita e a hematita. Essa associação reforça a ideia de que as variações na SM podem estar vinculadas à composição mineralógica e às propriedades químicas específicas do solo. Nogueira et al. (2023) e Matos et al. (2023), reforçam em seus estudos essa associação, indicando que o valor da SM pode ser utilizado como pedoindicador, ou seja, a sua concentração pode ter uma relação direta como os atributos químicos do solo.

Os mapas de textura do solo foram claro quanto a predominância da fração areia, que se estabeleceu na faixa entre 896 a 904 g kg⁻¹. Essa alta concentração de areia sugere uma textura mais granular, o que possivelmente impacta na drenagem do solo, favorecendo a rápida movimentação da água. Em seguida, a fração silte com valores entre 67 a 76 g kg⁻¹. E por último a fração argila, foi observada com valores entre 16 a 22 g kg⁻¹, completando o perfil textual do solo nesta região. A compreensão da textura é importante para a adaptação de práticas de manejo, visto que diferentes proporções dessas frações impactam na capacidade de aeração, drenagem e na disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Conclusões

O diagnóstico da fertilidade do solo mostra o potássio como deficiente, devido ao solo ser arenoso e ao antagonismo sofrido pelo potássio em relação ao cálcio e magnésio. Os valores elevados de cálcio e magnésio podem estar relacionados a deposição de sedimentos nos períodos de inundação. Os baixos teores de matéria orgânica do solo podem estar vinculados a sua remoção do solo nos períodos de inundação.

Todas as variáveis apresentam variabilidade espacial com grau de dependência espacial considerados fortes a moderados. A interpolação de Krigagem para gerar mapas mostrou-se eficaz para determinar a distribuição espacial dos nutrientes do solo em área de pastagem natural. Os mapas de potássio, cálcio,

magnésio, soma de bases e capacidade de troca de cátions mostraram similaridade com o mapa de suscetibilidade magnética.

Agradecimentos

A Universidade Estadual do Piauí – UESPI e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

Referências

- Barros, B. A. A.; Matias, S.S.R., Nogueira, M. S., Lins, R.C., Oliveira, F.F., Tavares Filho, G.S. (2022). Spatialization of chemical attributes, penetration resistance and magnetic susceptibility of the soil in a Cerrado area. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.17, n.4, p.e2186. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v17i4a2186>.
- Bernardi, A. D. C., Bettiol, G. M., Ferreira, R. P. Santos, K. E. L., Rabello, L. M., Inamasu, R. Y. (2016). Spatial variability of soil properties and yield of a grazed alfalfa pasture in Brazil. *Precision Agriculture*, v. 17, n. 6, p. 737-752. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9446-9>
- Cambardella, C. A; Moorman, T. B; Novak, J. M., Parkin, T. B; Karlen, D. L; Turco, R. F.; Konopka, A. E. (1994). Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society American Journal, Madison*. v.58, nº5, p.1501-1511.
- Chen, C.; Kukkadapu, R. K.; Lazareva, O.; Sparks, D. L. (2017). Solid-phase Fe Speciation along the Vertical Redox Gradients in Floodplains using XAS and Mössbauer Spectroscopies. *Environmental Science & Technology*, v. 51, p. 7903–7912. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00700>
- De-Campos, A. B.; Huang, C. H.; Johnston, C. T. (2012). Biogeochemistry of terrestrial soils as influenced by short-term flooding. *Biogeochemistry*, v. 111, p. 239–252. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9639-2>
- Köppen, W. (1936). *Das geographische system der klimate*. Berlin: Gebrüder Borntraeger, p. 1-44.
- Lacroix, R. E.; Tfaily, M. M.; Mccreight, M.; Jones, M. E.; Spokas, L.; Keiluweit, M. (2019). Shifting mineral and redox controls on carbon cycling in seasonally flooded mineral soils. *Biogeosciences*, v. 16, p. 2573–2589. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-16-2573-2019>
- Laekemariam, F.; Kibret, K.; Shiferaw, H. (2018). Potassium (K)- to-magnesium (Mg) ratio, its spatial variability and implications to potential

- Mg-induced K deficiency in Nitisols of Southern Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, v. 7, p. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0165-5>
- Martín-López, J. M., Verchot, L. V., Martius, C. Silva, M. (2023). Modeling the Spatial Distribution of Soil Organic Carbon and Carbon Stocks in the Casanare Flooded Savannas of the Colombian Llanos. *Wetlands*, 43, 65. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13157-023-01705-3>
- Matias, S.S.R.; Matos, A.P.; Landim, J.; Feitosa, S.; Alves, M.A.B., Silva, R. (2019). Recomendação de calagem com base na variabilidade espacial de atributos químicos do solo no Cerrado brasileiro. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 4, p. 896-907. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.17735>.
- Matos, A.P., Matias, S. S. R., Nunes, R.K.L., Morais, E.M., Tavares Filho, G.S. (2023). Soil management of limed areas cultivated with banana identified by magnetic susceptibility. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 70, n. 4, p. 17-24. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370040004>
- Michot, D.; Walter, C.; Adam, I.; Guéro, Y. (2013). Digital assessment of soil-salinity dynamics after a major flood in the Niger River valley. *Geoderma*, v. 207–208, p. 193–204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.05.012>
- MINITAB, (200). Release Making Data analysis Easier: version 13.1. CD Rom.
- Nogueira, M. S., Matias, S.S.R., Landim, J. S. P., Barros, B. A. A.; Monteiro, H.O., Silva, D.N., Teixeira, M.P.R., Souza Filho, J. F. (2023). Atributos químicos, físicos e suscetibilidade magnética e sua probabilidade de ocorrência em solo do cerrado piauiense em área de pastagem nativa. *Revista Observatorio de La Economía Latinoamericana*. Curitiba, v.21, n.11, p.19421-19440. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv21n11-045>
- Okeke, C.; Abbey, S.; Oti, J.; Eyo, E.; Johnson, A.; Ngambi, S.; Abam, T.; Ujile, M. (2021). Appropriate Use of Lime in the Study of the Physicochemical Behaviour of Stabilised Lateritic Soil under Continuous Water Ingress. *Sustainability*, v. 13, e257. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13010257>
- Oliveira, B. A.; Campos, L. P.; Matias, S. S. R.; Silva, T. S.; Gualberto, A. V. S. (2021). Spatiality of soil chemical attributes in a banana cultivation area in west Bahia. *Revista Caatinga*, v. 34, n. 1, p. 177 – 188. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252021v34n118rc>
- Oliveira, B. A.; Campos, L. P.; Matias, S. S. R.; Silva, T. S.; Vogado, R. F. (2022). Fertility variability in a Latosol cultivated with fertigated banana. *Revista Ciência Agronômica*, v. 53, e20218111. DOI: 10.5935/1806-6690.20220045
- Patrick, W. H.; Khalid, R. A. (1974). Phosphate release and sorption by soils and sediments: effects of aerobic and anaerobic conditions. *Science*, v. 186, p. 53–55.
- Ponting, J., Kelly, T. J., Verhoef, A., Watts, M. J., Sizmur, T. (2021). The impact of increased flooding occurrence on the mobility of potentially toxic elements in floodplain soil – A review. *Science of The Total Environment*, v. 754, e142040. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142040>
- Resende, J. M. A.; Marques Júnior, J.; Martins Filho, M. V.; Dantas, J. S.; Siqueira, D. S.; Teixeira, D. B. (2014). Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste maranhense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p. 1077-1090. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400004>
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G., Alvarez, V. V. H. (1999). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 359 p.
- Robertson, G. P. GS⁺: (2008). *Geostatistics for the environmental sciences* (version 9 for windows). Plainwell: Gamma Design Software, p. 179.
- Roy, J. W.; Bickerton, G. (2014). Elevated dissolved phosphorus in riparian groundwater along gaining urban streams. *Environmental Science & Technology*, v. 48, p. 1492–1498. DOI: <https://doi.org/10.1021/es404801y>
- São, S.; Praise, S.; Watanabe, T. (2023). Effect of flood duration on water extractable dissolved organic matter in flood plain soils: A laboratory investigation. *Geoderma*, V.432 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116392>.
- Salahin, N.; Jahiruddin, M.; Islam, M. R.; Alam, M. K.; Haque, M. E.; Ahmed, S.; Baazeem, A.; Hadifa, A.; EL Sabagh, A.; Bell, R. W. (2021). Establishment of Crops under Minimal Soil Disturbance and Crop Residue Retention in Rice-Based Cropping System: Yield Advantage, Soil Health Improvement, and Economic Benefit. *Land*, v. 10, e581. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10060581>

- Schneider, M. P. W.; Scheel, T.; Mikutta, R.; Van Hees, P.; Kaiser, K.; Kalbitz, K. (2010). Sorptive stabilization of organic matter by amorphous Al hydroxide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 74, p. 1606–1619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2009.12.017>
- Silva, D. N., Matias, S. S. R., Monteiro, H. O., Nogueira, M. S., Barros, B. A. A., Landim, J. S. P., Vogado, R. F. (2023). Variabilidade espacial da fertilidade do solo em pastagem nativa em área de inundação sazonal no Sul Piauiense. *Observatório de La Economía Latinoamericana*, Curitiba, v.21, n.12, p.24738–24758. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv21n12-071>
- Siqueira, D.S.; Marques Júnior, J.; Matias, S.S.R.; Barrón, V.; Torrent, J.; Baffa, O.; Oliveira, L.D. (2010). Correlation of properties of Brazilian Haplustals with magnetic susceptibility measurements. *Soil Use and Management*, v. 26, n. 4, p. 425-431. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00294.x>
- Stolf, R. (1991). Teoria de testes experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 229-235.
- SURFER, F. W. (2000). Realese 8.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. *User's Guide*. New York: Golden software.
- Tang, Y.; Van Kempen, M. M. L.; Van Der Heide, T.; Manschot, J. J. A.; Roelofs, J. G. M.; Lamers, L. P. M.; Smolders, A. J. P. (2016). A tool for easily predicting short-term phosphorus mobilization from flooded soils. *Ecological Engineering*, v. 94, p. 1–6.
- Tavares Filho, G. S., Batista, M.E.P.; Araújo, C.A.S., Matias, S.S.R., Gualberto, A.V.S.; Oliveira, F.F. (2022). Groundwater quality in a fraction of the river Brigida hydrographic basin for irrigation. *Water Resources and Irrigation Management*. Cruz das Almas, BA, v.11, n.1-3, p.36-46. DOI: 10.19149/wrim.v11i1-3.2866.
- Teixeira, P. C. Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. (2017). *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573 p.
- Tsheboeng, G.; Bonyongo, M.; Murray-Hudson, M. (2014). Flood variation and soil nutrient content in floodplain vegetation communities in the Okavango Delta. *South African Journal of Science*, v. 110, p. 1-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/sajs.2014/20130168>
- Vogado, R. F.; Souza, H. A.; Matias, S. S. R.; Gualberto, A. V. S.; Cunha, J. R.; Leite, L. F. C. (2020). Spatial variability of carbon and nitrogen stocks in integrated management systems and pasture in a cerrado region. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 11, e67291110220. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10220>.
- Vourlitis, G. L., Hentz, C. S., Pinto, O. B., Carneiro, E., Souza Nogueira, J. (2017). Soil N, P, and C dynamics of upland and seasonally flooded forests of the Brazilian Pantanal. *Global Ecology and Conservation*, v. 12, p. 227–240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.11.004>
- Vourlitis, G. L., Pinto JR., O. B., Dalmagro, H. J., Arruda, P. E. Z. Lobo, F. A. (2023). Nitrogen and phosphorus pools and fluxes in upland and seasonally flooded forests and woodlands of the Cerrado-Pantanal transition of Brazil. *Trees, Forests and People*, v. 12, e100383. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100383>
- Vourlitis, G. L.; Lobo, F. A.; Lawrence, S.; Holt, K.; Zappia, A.; Pinto JR., O. B.; Nogueira, J. S. (2014). Nutrient resorption in tropical savanna forests and woodlands of central Brazil. *Plant Ecology*, v. 215, p. 963-975.
- Warrick, A. W. Nielsen, D. R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, p.319-344.
- Wilson, J.S.; Baldwin, D.S. (2008) Exploring the 'Birch effect' in reservoir sediments: influence of inundation history on aerobic nutrient release *Chemi. Ecol.*, V.24, p. 379-386. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108865>
- Ye, C.; Butler, O. M.; Chen, C.; Liu, W.; Du, M.; Zhang, Q. (2020). Shifts in characteristics of the plant-soil system associated with flooding and revegetation in the riparian zone of Three Gorges Reservoir, China. *Geoderma*, v. 361, e114015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114015>
- Zhao, Q.; Adhikari, D.; Huang, R.; Patel, A.; Wang, X.; Tang, Y.; Obrist, D.; Roden, E. E.; Yang, Y. (2017). Coupled Dynamics of Iron and Iron-bound Organic Carbon in Forest Soils During Anaerobic Reduction. *Chemical Geology*, v. 464, p. 118–126. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.12.014>