

ATRIBUTOS INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLOS ANTROPIZADOS EM ÁREA URBANA DE TERESINA, PIAUÍ

QUALITY INDICATOR ATTRIBUTES OF ANTHROPIZED SOILS IN THE URBAN AREA OF TERESINA, PIAUÍ

Miguel Alvares Lima Neto

Graduado em Geografia na Universidade Federal do Piauí – UFPI.

E-mail: alvoresmiguel@gmail.com

Gustavo Souza Valladares

Doutor em Ciência do Solo. Professor Associado da Coordenação de Geografia da Universidade Federal do Piauí - UFPI.

E-mail: valladares@ufpi.edu.br

Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque

Doutor em Geografia. Professor Adjunto III do Curso de Geografia da Universidade Federal do Piauí.

E-mail: lindemberg@ufpi.edu.br

RESUMO

Os solos são corpos formados por materiais minerais e/ou orgânicos, estão submetidos a diversos usos e funções, que podem alterar e degradar suas propriedades físicas, químicas e biológicas. usos mais abrasivos tendem a causar maiores alterações nos solos. Nesse contexto, o trabalho teve como objetivo mensurar e gerar mapas dos atributos físicos e químicos indicadores da qualidade dos solos por dois métodos de interpolação (TIN e IDW) compreendendo na escala ultra detalhada como os usos e manejo afetam as condições pedológicas. A área de estudo corresponde a um bosque próximo ao Centro de Ciências Humanas e Letras (CCHL), do Campus Ministro Petrônio Portela da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Foram coletadas amostras deformadas, indeformadas e em profundidade (perfil). Posteriormente os solos foram analisados quanto a sua granulometria, densidade e teor de carbono orgânico, sendo o perfil de solo classificado

como Tecnosolo Úrbico, em profundidade a fração arenosa foi superior a 90% do solo, na primeira e segunda camada, comprovando a influência antrópica foram encontrados materiais ao longo das camadas do solo. Os métodos de interpolação tiveram boa acurácia, com bases nos critérios estatísticos de validação adotados, o IDW foi ligeiramente superior ao TIN para a maioria dos atributos dos solos estudados. A interpolação apresentou correspondência com o observado em campo, os resultados permitem afirmar que as características pedológicas da área de estudo foram condicionadas por atividades antrópicas anteriores.

Palavras-chaves: pedologia; interpolação; tecnossolo úrbico.

ABSTRACT

Soils are bodies formed by mineral and/or organic materials, are subject to different uses and functions, which can alter and degrade their physical, chemical and biological properties. more abrasive uses tend to cause greater changes in soils. In this context, the objective of this work was to measure and generate maps of the physical and chemical attributes that indicate soil quality using two interpolation methods (TIN and IDW), understanding in an ultra-detailed scale how uses and management affect pedological conditions. The study area corresponds to a forest near the Center for Human Sciences and Letters (CCHL), at the Campus Ministro Petrônio Portela of the Federal University of Piauí (UFPI). Deformed, undeformed and in-depth (profile) samples were collected. Subsequently, the soils were analyzed for their granulometry, density and organic carbon content, with the soil profile classified as Urbic Technosol, in depth the sandy fraction was greater than 90% of the soil, in the first and second layers, proving the anthropic influence materials were found throughout the soil layers. The interpolation methods had good accuracy, based on the statistical validation criteria adopted, the IDW was slightly higher than the TIN for most attributes of the studied soils. The interpolation presented correspondence with what was observed in the field, the results allow us to state that the pedological characteristics of the study area were conditioned by previous anthropic activities.

Keywords: pedology; interpolation; urbic technosoil.

INTRODUÇÃO

Os solos podem ser definidos como sendo coleções de corpos naturais, constituídos por partes tridimensionais e dinâmicas. Formados por materiais minerais e/ou orgânicos que se desenvolvem em escalas de tempo da ordem

de centenas a milhares de anos e ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do planeta. Representando uma das condições básicas para o desenvolvimento da vida na Terra, juntamente com a luz solar, o ar e água (Santos *et al.*, 2018; Pedron *et al.*, 2004; Lepesh, 2016).

O uso e manejo da terra possui capacidade de alterar propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. O tipo e a intensidade são fatores determinantes para o grau de alteração, ou seja, usos mais intensivos provocam maiores mudanças.

De acordo com Rovedder *et al.* (2009, p. 1062), as “ações de impacto negativo levam à degradação do ambiente edáfico e, conseqüentemente, ao comprometimento de suas funções dentro dos sistemas biológicos”. Nesse sentido, o ambiente urbano necessita de cuidados especiais, pois faz usos mais abrasivos, como por exemplo, os solos compactados para as construções civis.

Além da compactação, a densidade, a impermeabilização e a erosão são alguns dos problemas enfrentados pelos solos urbanos. Portanto, “o uso do solo deve ser estabelecido não apenas pela legislação e zoneamento, mas de acordo com sua aptidão de uso” (Avancini, 2018, p. 26). O planejamento do uso das terras é uma etapa essencial para a minimização dos impactos negativos advindos das práticas de uso e manejo adotadas (Ranieri *et al.*, 1998).

Visto a urbanização como um processo crescente e inerente aos seres humanos, existe a necessidade de formas de uso da terra sustentáveis, que levem em consideração as aptidões dos solos, bem como tenham preocupações com as conseqüências advindas dos usos. É importante evidenciar que os processos pedogenéticos ocorrem na escala de tempo geológico que, por sua vez, é bem mais longo que a escala temporal humana, logo os solos podem levar centenas ou milhares de anos para se recuperar de usos inadequados.

Ademais, há alguns usos que provocam desgastes intenso dos solos, no entanto, há áreas que podem ser conservadas a fim de equilibrar a relação entre desgaste e conservação. Neste sentido, as áreas verdes intraurbanas são formas de conservação ambiental e dos solos urbanos que devem ser mantidas, pois são alternativas para conservação e recuperação (Duarte; Casagrande, 2006).

Destaca-se que as áreas verdes propiciam inúmeras vantagens a partir da implantação e/ou manutenção. A vegetação impede o contato direto das gotas de chuva com o solo, os resíduos vegetais diminuem a velocidade do escoamento superficial e são responsáveis pela formação de matéria orgânica (Santos, 2006). Portanto as condições físicas, químicas e biológicas podem ser melhoradas ou restauradas por meio de medidas de uso e conservação adequadas.

O presente estudo constitui uma análise quantitativa de atributos físicos e químicos indicadores da qualidade do solo em uma área fortemente antropizada, que anteriormente foi canteiro de obras para a construção civil e estacionamento improvisado de veículos automotores. Mas que recentemente foi transformada em bosque com a adição de algumas árvores. Objetivou-se mensurar e gerar mapas dos atributos físicos e químicos indicadores de qualidade dos solos por diferentes métodos de interpolação e compreender na escala ultra detalhada como os usos e manejo afetam as condições pedológicas.

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DOS SOLOS

O conhecimento das propriedades físicas dos solos é fundamental para o planejamento ambiental, características como a classe textural e outras propriedades físicas dos solos são aliadas importantes para análise e caracterização do mesmo. Por variarem pouco ao longo do tempo, não são definitivas para diagnosticar os processos atuantes, deve-se analisar outras

propriedades físicas concomitantemente (Mello; Bueno; Azevedo, 2006; Reichert; Reinert, 2006).

A densidade constitui outra importante propriedade física para diagnósticos e planejamento de uso do solo, por ser um indicador de compactação, pode ser usada para medir alterações na estrutura e porosidade. Solos com elevados índices de densidade quando expostos aos agentes do intemperismo tendem a ser facilmente desagregados e transportados (Reichert; Reinert, 2006; Richart *et al.*, 2005).

Nessa situação a cobertura vegetal representa uma alternativa de proteção e conservação do solo, pois a deposição das folhas e o crescimento das raízes estabilizam o solo e aumentam a atividade biológica, podendo melhorar propriedades físicas, químicas e biológicas (Richart *et al.*, 2005; Silva; Moraes; Buzetti, 2011; Franco *et al.*, 1992).

De acordo com Roscoe, Mercante e Salton (2006, p. 20), os diversos resíduos vegetais entram no solo e são gradativamente transformados em matéria orgânica (MOS), sendo que esta possui “diversas funções no solo, estando ligada a processos fundamentais como a ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo e dinâmica da água, além de ser fonte de nutrientes para atividade biológica”. No sentido contrário a diminuição da matéria orgânica também resulta na redução da microbiota do solo, forjando solos mais frágeis (Duarte; Casagrande, 2006).

Possibilidades para o estudo de solos

A degradação do solo é igual a perda das suas funções e usos, tal condição ocasiona instabilidades, perdas econômicas e ambientais para áreas afetadas, sendo a regeneração natural geralmente o procedimento mais simples para a recuperação de áreas degradadas, mas, o tempo necessário para esse processo é longo e está intimamente ligado ao grau de degradação.

Conforme Kitamura *et al.* (2008, p. 406) “[...] em trabalho de recuperação, a primeira atividade compreende a identificação e caracterização dos processos de degradação atuantes e a análise de suas consequências ambientais”. Para realizar tal atividade existem inúmeras metodologias, com destaque para o geoprocessamento, que em virtude dos avanços das tecnologias computacionais abre inúmeras possibilidades de desenvolvimento de trabalhos de quantificação e espacialização dos processos atuantes no solo.

Para Caten *et al.* (2012) entre as oportunidades para a ciência do solo, estão as várias técnicas e métodos já disponíveis, além dos softwares e hardwares. Nesse sentido, tem-se a geoestatística, uma ferramenta utilizada para estudar a variabilidade espacial, pois possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural das características avaliadas, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (Lima *et al.*, 2006).

Gomes (2007, p. 428) afirma que “usualmente, o interesse da análise geoestatística não se limita à obtenção de um modelo de semivariograma e seus parâmetros, desejando-se também prever valores em pontos não amostrados”. Na literatura encontram-se diversos métodos de análise e interpolação de dados do solo, não tendo consenso quanto ao melhor, tendo em vista que as variáveis analisadas possuem comportamentos diversos. Para o presente estudo foram utilizadas equações para a verificação dos melhores interpoladores de acordo com as variáveis estudadas.

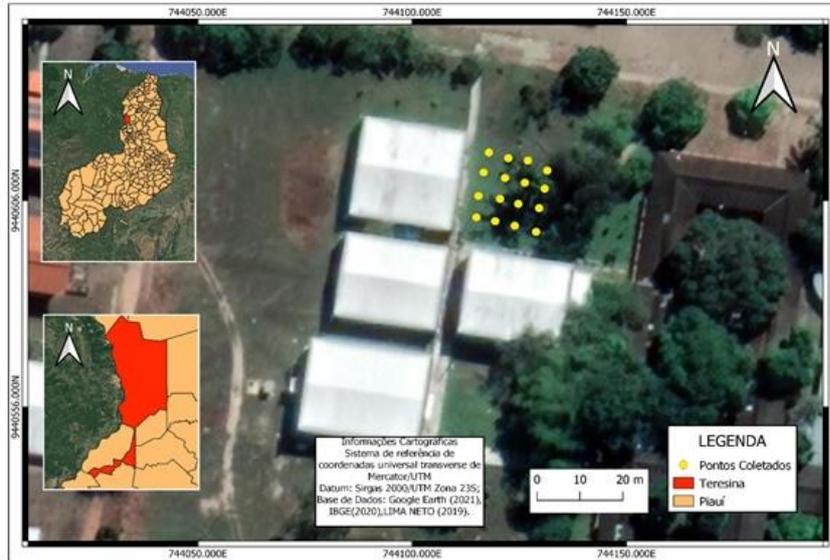
MATERIAL E MÉTODOS

Localização e características físicas da área de estudo.

A área de estudo corresponde a um bosque incipiente nas proximidades do Centro de Ciências Humanas e Letras (CCHL), do Campus Ministro Petrônio Portela, da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Possui como

coordenadas geográficas 42°47'5,532" de longitude oeste e 5°3'25,754" de latitude sul (Figura 1).

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Lima Neto (2021).

Atualmente a área destina-se a plantação de ipês (*Handroanthus albus*) com intuito de constituir um pequeno bosque, no espaço onde anteriormente foi canteiro de obras e estacionamento improvisado de veículos automotores. Conforme pode ser visto na Figura 2, a área é cercada por prédios de construção recente, que adicionaram matérias ao solo do entorno.

Figura 2- Mapa de uso e cobertura do solo na área de estudo



Fonte: Lima Neto (2021).

No que tange aspectos físicos da área de estudo, Lima (2011) diz que a classificação climática, com base em Köppen, corresponde ao clima do tipo tropical com chuvas retardadas para outono (Aw'). Ainda segundo a mesma autora, nos aspectos geológicos a área está situada na bacia sedimentar do Parnaíba. A área possui relevo plano, com solos a área possui solos antropizados, classificados como Tecnossolo Urbano, seguindo a classificação WRB (FAO, 2015).

Procedimentos metodológicos

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, respectivamente, com o uso de trado holandês e anel de kopeck. As amostras indeformadas foram usadas prioritariamente para o cálculo de densidade do solo e as amostras deformadas foram destinadas aos demais procedimentos de análise granulométrica. As coletas foram realizadas formando uma matriz 4x4, portando, com 16 pontos de coleta, nas profundidades de 0-10 e de 10-20 cm.

Além de coletas por meio de trado holandês e anel Kopeck, houve a abertura de uma trincheira com 170 cm de profundidade para descrição morfológica, coleta e caracterização do perfil do solo. A etapa de coleta do perfil seguiu as recomendações do Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos *et al.*, 2015) e do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (Santos *et al.*, 2018).

As amostras de solos coletadas na malha foram analisadas no Laboratório de Solos e Sedimentos da Coordenação de Geografia, quanto a sua granulometria, densidade do solo e carbono orgânico (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A posteriori, os dados foram trabalhados em softwares, como o Microsoft Excel 16.0, para fins estatísticos e através do Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS, versão 10.3, e QGIS, versão 3.16.11, para que os dados amostrais fossem interpolados por meio dos interpoladores Ponderação

do Inverso da Distância ou Inverse Distance Weighted (IDW) e Malha Irregular Triangular (TIN).

O método TIN corresponde a uma estrutura topológica de dados vetoriais, no qual pontos (nós) com coordenadas planialtimétricas conhecidas são ligados por linhas (arestas), formando triângulos irregulares (o mais próximo possível do equilátero) e contínuos (Oliveira, 2011). Destaca-se que a interpolação por IDW determina os valores dos pontos usando uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados. O peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância (Marcuzzo, 2011).

Para avaliar a acurácia das estimativas realizadas pelos dois métodos de interpolação anteriormente apresentados, usou-se os parâmetros RMSE, EAM e R^2 . Segundo Portela (2019), o R^2 representa o coeficiente de determinação de regressão linear, entre os valores observados e os preditos. O EAM corresponde ao erro absoluto médio e o RMSE o erro quadrático médio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perfil do Solo

Na área de estudo buscou-se compreender a influência humana no solo, tanto nas camadas superiores, quanto em profundidade. Com tal finalidade, foi realizada a coleta de solo em profundidade (Figura 3) por meio da análise em perfil de solo. O mesmo foi classificado como Tecnosolo Úrbico, seguindo a classificação WRB (FAO, 2015), pois não se enquadrou no SiBCS (Santos et al., 2018), devido à forte influência antrópica em sua formação, como pode ser observada por meio das camadas que o compõem, sendo essas de aterro, e os vários materiais (artefatos) ao longo do perfil (Figura 3-C).

O perfil de solo foi descrito até 170 cm de profundidade, sendo identificados 6 horizontes. A morfologia, apresenta-se com classes texturais classificadas em areia, fraco-arenosa e franco-argilo-arenosa. No que se

refere à consistência úmida, o perfil apresentou consistência solta, friável e muito friável. Para consistência molhada a classificação foi não plástica e não pegajoso nos horizontes Ap1 e Ap2, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso nos horizontes Ab, C2 e C3. O horizonte C1, diferindo dos demais, apresentou-se como plástica e pegajoso, refletindo o seu maior teor de argila.

Figura 3 - Fotografias da área de estudo. A- Vista da área de estudo. B- Perfil Tecossolo Úrbico. C- Artefatos encontrados no perfil



Fonte: Lima Neto (2021).

Os horizontes apresentaram espessuras variáveis, com aumento em profundidade, enquanto Ap2 apresentou 8 cm de espessura, C2 e C3 apresentaram, respectivamente, 66 e 44 cm, indicando continuidade pedogenética. A transição entre horizontes é fator fundamental para determinar a organização em forma de camada, visto que a exceção feita C3 não caracterizado e C2 com transição gradual e plana, todos os demais horizontes acima (Quadro1) apresentaram transição abrupta e plana.

Quadro 1- Atributos morfológicos do perfil de solo

Horizontes	Profundidade (cm)	Cor úmido	Classe textural	Consistência úmida	Consistência molhada	Transição
Ap1	0-7	10YR 3/3	Areia	Solto	Não plástico, não pegajoso	Abrupta e plana
Ap2	7-15	10YR 4/3	Areia	Solto	Não plástico, não pegajoso	Abrupta e plana
Ab	15-23	10YR 5/1	Franco-arenosa	Friável	Lig. Plástico, lig. pegajoso	Abrupta e plana
C1	23-50	10YR 5/4	Franco-argilo-arenosa	Friável	Plástico, pegajoso	Abrupta e plana
C2	50-116	10YR 3/2	Franco-arenosa	Friável	Lig. Plástico, lig. Pegajoso	Gradual e plana
C3	116-160 +	10YR 5/4	Franco-arenosa	Muito friável	Lig. Plástico, lig. pegajoso	---

Fonte: Organizado por Miguel Alvares Lima Neto (2021).

A seguir, são apresentadas as frações granulométricas dos horizontes (Tabela 1). Destaca-se o predomínio das frações areia fina e areia grossa, os horizontes Ap1 e Ap2 apresentam valores superiores a 90% de areia se somadas as duas frações, visto que, dentre os usos anteriores a área foi canteiro de obras, entende-se que tais valores são devidos as construções do entorno, pois a areia coletada assemelhava-se a areia lavada, matéria prima na construção civil.

Tabela 1 - Granulometria percentual dos horizontes

Horizontes	Areia fina (%)	Areia grossa (%)	Argila (%)	Silte (%)
Ap1	23	70	2	5
Ap2	23	74	2	2
Ab	57	19	12	11
C1	53	19	18	10
C2	54	22	12	12
C3	51	22	19	8

Fonte: Organizado por Miguel Alvares Lima Neto (2021).

As características texturais comprovam o predomínio da fração areia em todas as camadas. A composição granulométrica e a consistência molhada do horizonte C1 apontam para descontinuidade do material depositado na área.

Ademais, durante as coletas foram encontrados ao longo do perfil em diferentes profundidades, materiais como tijolos, telhas, sola de calçado de borracha, concretos, seixos rolados, além de fragmentos de carvão, caracterizando a ação humana.

Distribuição espacial dos atributos

Os resultados da análise granulométrica indicam que a fração areia é a predominante na área de estudo, os teores de areia grossa e areia fina são maiores do que os teores de argila e silte. Os coeficientes de variação indicam menor variabilidade na fração areia, quando comparado aos demais.

As frações argila e silte apresentaram média respectiva de 77 e 129 para a primeira profundidade de análise. Para a segunda profundidade, os valores foram 104 e 118. O coeficiente de variação aponta maior variabilidade para os valores de argila e silte. Compreende-se que pela predominância das frações arenosas, as demais frações apresentem valores menores (Tabela 2).

Na primeira e segunda profundidade, a análise granulométrica revelou predominância das frações arenosas. A média da fração areia fina foi 518 g/kg, com valor máximo e mínimo respectivos de 550 e 474 g/kg. A areia grossa apresentou média de 260 g/kg, valor inferior ao apresentado na camada superior 481 g/kg. Esses resultados indicam descontinuidade dos sedimentos depositados, reforçando a natureza antrópica dos solos analisados.

Tabela 2 - Estatística descritiva das propriedades físicas analisadas

Profundidade	Variáveis	Med	D. Pad	Var	CV (%)	Ass.	Curt.	Max.	Min.
(0,0-10 cm)	Areia fina(g/kg)	491	44	1955	9	-0,96	1,61	561	380
	Areia Grossa (g/kg)	303	77	5894	25	1,59	1,97	481	236
	Argila (g/kg)	77	26	704	34	0,05	-1,28	119	37
	Silte (g/kg)	129	45	2048	34	-0,41	1,78	223	21
	Densidade (Mg/m ³)	1,37	0,23	0,05	17	-1,37	3,17	1,78	0,73
(10-20 cm)	Areia fina (g/kg)	518	21	432	4	-0,06	-0,08	550	474
	Areia Grossa (g/kg)	260	49	2365	18	2,33	7,62	418	194
	Argila (g/kg)	104	33	1061	31	0,03	-1,36	152	56
	Silte (g/kg)	118	33	1079	27	-1,52	3,08	165	28
	Densidade (Mg/m ³)	1,54	0,24	0,06	15	0,09	-0,23	1,97	1,10

Med= Média; D. pad= Desvio padrão; Var= Variância; CV(%)= Coeficiente de Variação; Ass=Assimetria; Curt= Curtose; Max= Máximo; Min= Mínimo .

Fonte: Organizado por Miguel Alvores Lima Neto (2021).

Os valores de densidade do solo na área para a primeira profundidade (0,0-10 cm) apresentam máximo 1,78 Mg/m³ e mínimo de 0,73 Mg/m³, sendo a média 1,37 Mg/m³, portanto há amplitude entre valores elevados. Ao levar em conta os usos anteriores, como estacionamento improvisado e canteiro de obras, a densidade do solo apresenta alguns valores muito elevados, superiores a 1,50 Mg/m³, indicando a relação entre densidade e tipo de uso do solo.

A densidade do solo nas amostras da profundidade de (10-20 cm) apresentou média de 1,54 Mg/m³, valor superior à média das amostras coletadas na camada mais superficial. O aumento da densidade indica maior compactação dos solos nas camadas inferiores, segundo o teste t de *Student* a 5% de probabilidade. O valor máximo de densidade encontrado foi de 1,97 Mg/m³ na segunda profundidade de coleta, sendo que esse valor indica solos

muito densos, o valor mínimo foi de 1,10 Mg/m³, coincidindo com o ponto com resquícios de vegetação nativa e maior teor de carbono orgânico.

A seguir são apresentados os valores de carbono orgânico para as duas profundidades analisadas (Tabela 3).

Tabela 3 - Estatística descritiva para o carbono orgânico na área de estudo

Carbono (g/kg)	Méd	D. Pad	Var	C.V(%)	Ass	Curt	Max	Min
0,0-10 cm	10,4	10,3	108	99	2,80	9,45	45,5	0,71
10-20 cm	6,3	5,2	27,9	83	1,09	0,96	19,3	0,4

Med= Média; D. pad= Desvio padrão; Var= Variância; CV(%)= Coeficiente de Variação; Ass=Assimetria; Curt= Curtose; Max= Máximo; Min= Mínimo .

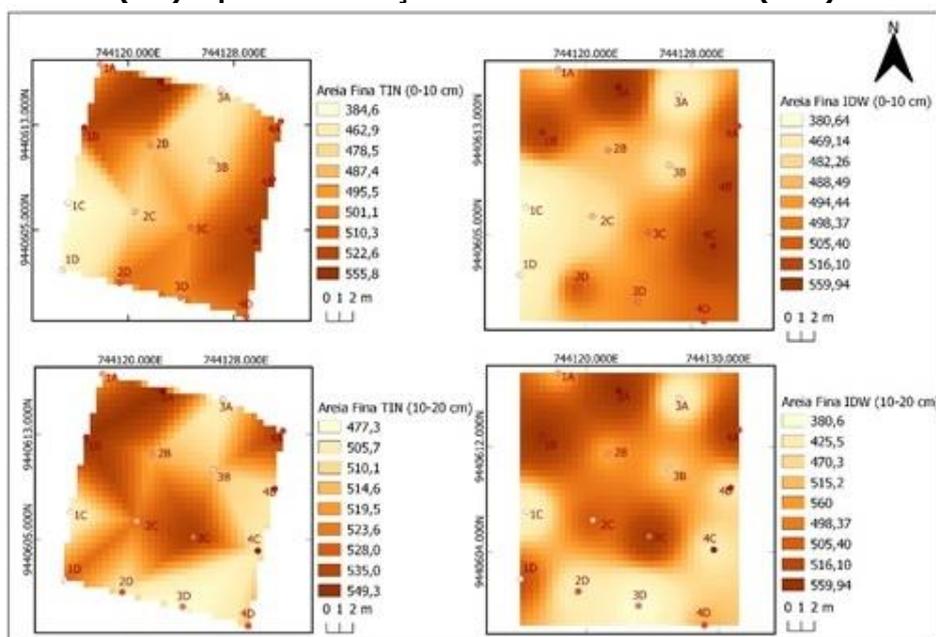
Fonte: Organizado por Miguel Alvares Lima Neto (2021).

Os teores de carbono da área foram baixos, com valor mínimo de 0,71 g/kg. A baixa concentração de carbono é justificada pela pequena cobertura vegetal, na maior parte da área, pois o carbono é primordialmente fornecido por resto de plantas ou animais. A exceção aos baixos índices de carbono coincide com a presença de vegetação de porte arbóreo, em parte da área estudada.

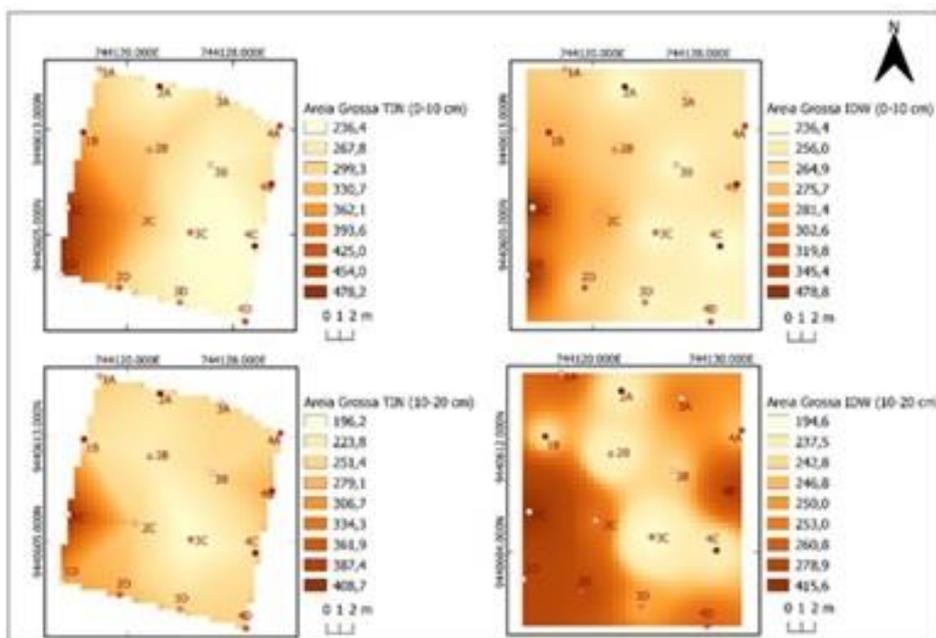
Os teores de carbono na camada inferior apresentaram decréscimo, fato normal, levando em conta as poucas árvores presentes no local, além de poucas estão concentradas em um ponto específico. As mudas plantadas ainda se encontram pequenas, portanto, sem influência significativa na produção de matéria orgânica.

O fato anteriormente apresentado torna a adição de matéria orgânica quase exclusivamente fruto da decomposição das gramíneas que recobrem o solo no período chuvoso e secam ao fim dele, e das poucas folhas que caem das árvores do entorno. A seguir são apresentados mapas dos atributos do solo interpolados por Malha Irregular Triangular (TIN) e por Ponderação Inverso da Distância (IDW) (Figura 4 A-F)

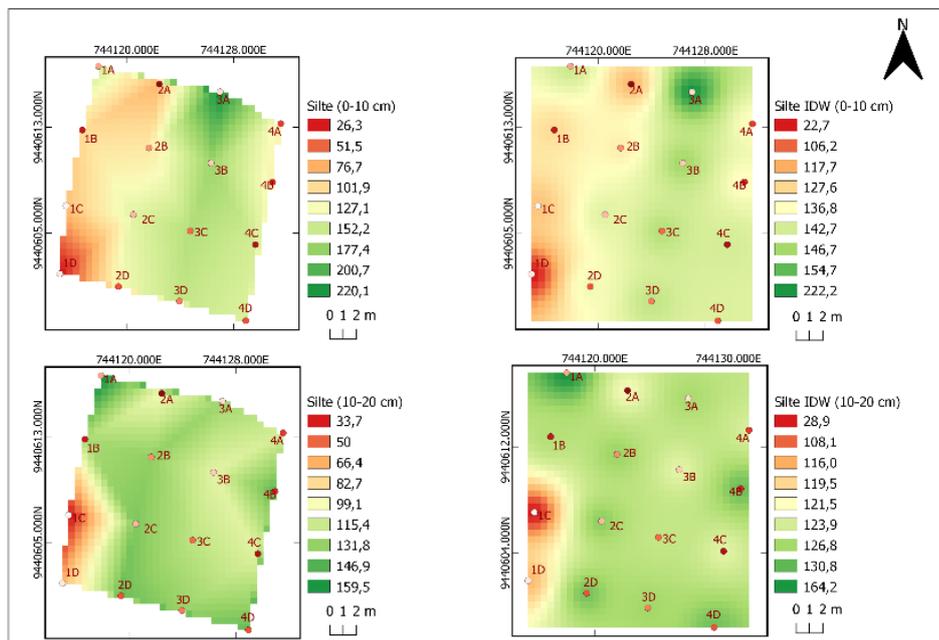
Figura 4 - Mapas dos atributos do solo interpolados por Malha Irregular Triangular (TIN) e por Ponderação Inverso da Distância (IDW)



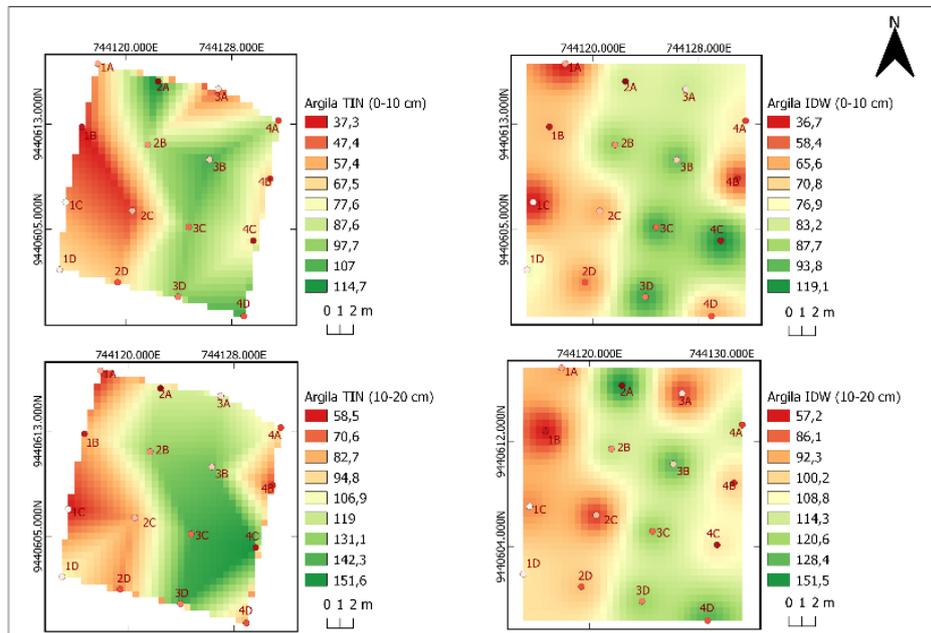
A) Areia Fina de 0-10 cm e 10-20 cm.



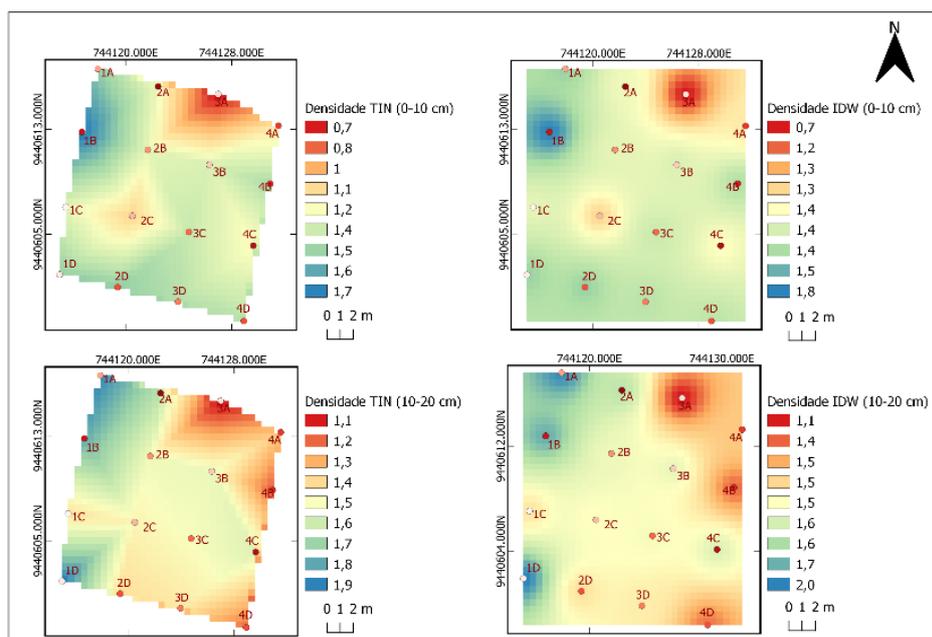
B) Areia Grossa de 0-10 cm e 10-20 cm.



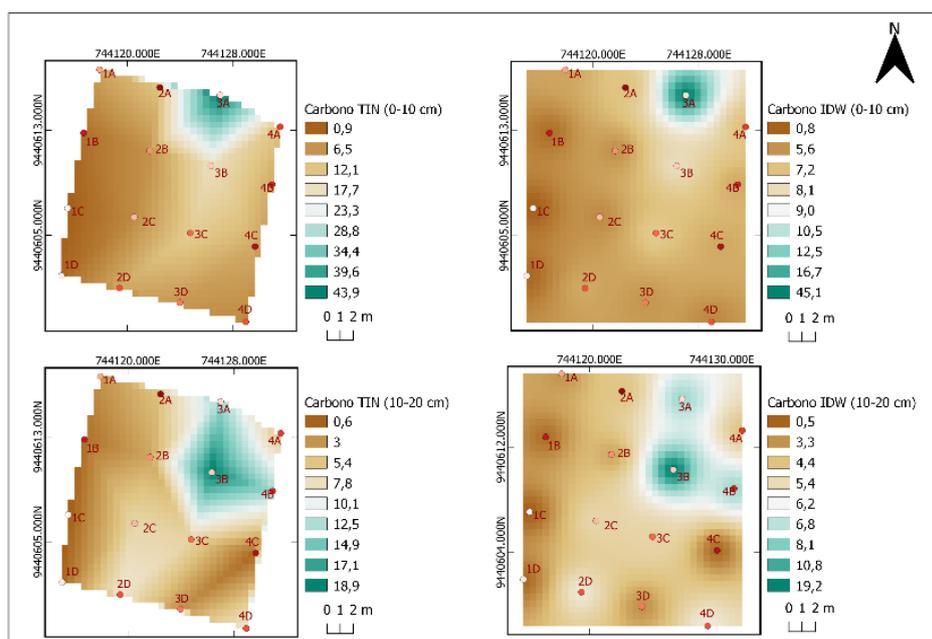
C) Silte de 0-10 cm e 10-20 cm.



D) Argila de 0-10 cm e 10- cm.



E) Densidade de 0-10 cm e 10-20 cm.



F) Carbono orgânico de 0-10 cm e 10-20 c

Fonte: Organizado por Miguel Alvares Lima Neto (2021).

Quanto aos métodos de interpolação aplicados, ambos espacializaram de maneira similar as variáveis estudadas (Figura 4). Os resultados pelo método TIN se assemelham a triângulos. Destaca-se a predominância da fração

arenosa em ambas as profundidades por toda a área de estudo. A argila e silte apresentaram-se em maior concentração na área mais afastada das construções recentes, da linha 2 a linha 4.

A validação evidenciou que as estimativas geradas pelos dois métodos utilizados foram satisfatórias, com o coeficiente de determinação superior a 0,98 na grande maioria das variáveis interpoladas por IDW, exceção a variável areia fina na segunda profundidade (AF2), com $R^2=0,86$ e areia grossa, também na segunda profundidade (AG2) com $R^2=0,70$, este foi o menor coeficiente de determinação dentre todos os gerados para as variáveis por ambos os métodos utilizados.

Os dados interpolados por TIN apresentaram R^2 entre 0,95 e 0,99, valores muito bons e que comprovam a acurácia da interpolação feita por este método para as variáveis estudadas. No referente ao erro absoluto médio ambos (EAM), os métodos apresentaram valores baixos na maioria das variáveis estudadas, ficando o maior valor na interpolação IDW para areia grossa na segunda profundidade (AG2= 12,25), já para a interpolação TIN o maior valor foi areia fina na primeira profundidade (AF1= 95,5).

Assim como no EAM, o Erro quadrático médio (RMSE) para a interpolação IDW teve seu maior valor associado a AG2, sendo (AG2=43,8). O maior valor da interpolação TIN para RMSE foi de (AG2=10,5). Estes resultados indicam maior variação nos valores desta variável. A seguir, apresenta-se os dados da validação dos dois métodos de interpolação (Tabela 4).

Tabela 4 - Validação dos métodos Inverso da Distância e Malha Irregular Triangulada com regressão para a predição dos atributos do solo analisados em duas profundidades

Variáveis	IDW			TIN		
	EAM	RMSE	R ²	EAM	RMSE	R ²
AF 1	0,48	1,95	0,99	95,5	9,77	0,96
AF 2	1,95	8,20	0,86	0,24	0,58	0,99
AG 1	0,07	1,04	0,99	0,46	3,97	0,99
AG2	12,25	43,8	0,70	-1,96	10,5	0,95
SIL 1	-0,53	2,68	0,99	-0,06	10,28	0,95
SIL2	0,07	0,77	0,99	1,26	4,51	0,99
ARG1	0,11	0,61	0,99	-0,23	2,55	0,99
ARG2	0,89	4,06	0,98	-0,84	5,78	0,97
DS1	0,05	0,05	0,99	0,04	0,01	0,97
DS2	0,04	0,05	0,98	0,04	0,06	0,97
CARB1	-0,07	0,53	0,99	0,06	0,61	0,99
CARB2	0,00	0,23	0,99	-0,23	0,78	0,97

R²=coeficiente de determinação, EAM=Erro absoluto médio RMSE=Erro quadrático médio,

Fonte: Organizado por Miguel Alvores Lima Neto (2021).

De maneira geral, pode-se afirmar que o IDW foi ligeiramente superior ao TIN para a maioria dos atributos dos solos estudados. No entanto, ressalta-se que ambos os métodos foram satisfatórios para as variáveis analisadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da validação de ambos os métodos de interpolação utilizados, compreende-se que a interpolação apresentou resultados bons, apesar do número pequeno de amostras analisadas e grande heterogeneidade dos atributos físicos e químicos analisados da área de estudo fruto da ação antrópica. Os usos anteriores conferiram diversas características aos solos, a começar pelas frações granulométricas com elevados teores de areia, a densidade elevada, os baixos teores de carbono e o perfil em forma de aterro.

Por fim, destaca-se que a metodologia empregada no presente trabalho pode ser amplamente utilizada para o estudo do solo, mas também para atividades como diagnóstico de impactos ambientais, tendo em vista a ótima acurácia apresentada e a praticidade de estimar valores para áreas não amostradas.

REFERÊNCIAS

AVANCINI, T. G. P. **Conservação do solo e planejamento do uso da terra: uma proposta de certificação para loteamentos em franjas urbano-rurais**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/332130>. Acesso em: 30 mar. 2021.

CATEN, A. T. *et al.* Mapeamento digital de classes de solos: Características da abordagem brasileira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1989–1997, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012001100013&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 10 maio 2021.

DUARTE, R. M. R.; CASAGRANDE, J. C. A interação solo-vegetação na recuperação de áreas degradadas. *In*: BARBOSA, L. M. (org.). **Manual para recuperação de áreas degradadas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. p. 52-69. Disponível em: https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/126/Documentos/Eventos/20062_ManualRAD.pdf#page=53. Acesso em: 20 abr. 2021.

FRANCO, A. A. *et al.* Revegetação de solos degradados. **Embrapa Agrobiologia - Comunicado Técnico**, [s.l.], n. 09, p. 1–9, out. 1992. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB2010/27134/1/cot009.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.

KITAMURA, A. E. *et al.* Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 32, n. 1, p. 405–416, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832008000100038&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 20 abr. 2021.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2016.

LIMA, I. M. de. M. F. O relevo de Teresina, PI: compartimentação e dinâmica atual. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 9., 2011, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: ANPEGE, 2011. Disponível em: <http://files.iracildefelima.webnode.com/200000034-8785d887e3/GT22%20-%20O%20RELEVO%20DE%20TERESINA.pdf>. Acesso em: 23 maio 2021.

LIMA, J. A. G. *et al.* Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um cambissolo cultivado com mamão no semiárido do RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 192–199, abr./jun. 2006. Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB709.pdf. Acesso em: 06 maio 2021.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. de R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 4, p. 793-804, 2011. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/605/1/art_marcuzzo_metodos.pdf. Acesso em: 06 maio 2021.

MELLO, G. de.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 294–305, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250985556_Variabilidade_espacial_das_propriedades_fisicas_e_quimicas_do_solo_em_areas_intensamente_cultivadas. Acesso em: 06 maio 2021.

OLIVEIRA, L. F. de. **Analysis of digital surface models generated from images of PRISM/ ALOS sensor**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geotecnia; Saneamento Ambiental) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

PEDRON, F. de. A. *et al.* Solos urbanos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1647-1653, 2004. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/331/33134553.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2021.

PORTELA, G. M. T. **Estoques de carbono do solo e da biomassa vegetal no Delta Do Parnaíba-PI**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

RANIERI, S. B. L. *et al.* Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 751-760, dez. 1998. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831998000400021&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 26 abr. 2021.

REICHERT, D. J.; Reinert; J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Departamento de Solos; UFSM, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337498761_Reinert_Reichert_-_Propriedades_fisicas_do_solo. Acesso em: 26 mar. 2021.

RICHART, A. *et al.* Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 315-338, jul./set. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Joao-Filho16/publication/276227916_Compactacao_do_solo_causas_e_efeitos/links/55800f3a08aeb61eae27447d/Compactacao-do-solo-causas-e-efeitos.pdf. Acesso em: 26 mar. 2021.

ROSCOE, R; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Sistemas de Manejo e Matéria Orgânica do Solo. *In*: ROSCOE, R; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C (ed.). **Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo em Sistemas Conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa, 2006. p. 17-42. Disponível em: http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/agriculturaOrganica/Sistemas_Manejo_Materia_Organica.pdf. Acesso em: 02 maio 2021.

ROVEDDER, A. P. M. *et al.* Organismos edáficos como bioindicadores da recuperação de solos degradados por arenização no Bioma Pampa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1051-1058, jul. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782009000400015&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 20 abr. 2021.

SANTOS, H. G. dos. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SANTOS, T. E. M. dos. **Avaliação de técnicas de conservação de água e solo em bacia experimental do semi-árido pernambucano**. 2006. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2006. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5705>. Acesso em: 04 abr. 2021.

SILVA, A. M. da.; MORAES, M. L. T. de.; BUZETTI, S. Propriedades químicas de solo sob reflorestamento ciliar após 20 anos de plantio em área de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 97–106, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265719799_Propriedades_quimicas_de_solo_sob_reflorestamento_ciliar_apos_20_anos_de_plantio_em_area_de_cerrado. Acesso em: 03 maio 2021.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. Tópicos em ciência do solo. *In*: NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A.; SCHAEFER, C. E. G. R (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 1-54. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Sidney_Vieira/publication/313098532_Geoestatistica_em_estudos_de_variabilidade_espacial_do_solo_In_NOVAIS_R_F_et_al_Eds/links/5b87c6ef92851c1e123b80b2/Geoestatistica-em-estudos-de-variabilidade-espacial-do-solo-In-NOVAIS-R-F-et-al-Eds.pdf. Acesso em: 26 maio 2020.