



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Impacto nos Atributos do Solo sob Conversão de Floresta para Áreas de Pastagem em Áreas de Mata Atlântica, Areia, PB

Joalison de Brito Silva¹, João Henrique Melo², Luiz Fernando de Santana Santos³, Emanuel da Costa Cavalcante⁴, Robson Vinício dos Santos⁵, Milton César Costa Campos⁶, Alan Ferreira Leite de Lima⁷, Flávio Pereira de Oliveira⁸

¹Graduando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2128-9408>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ²Graduando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7201-3108>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ³Graduando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8979-7030>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ⁴Mestrando em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3015-4847>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ⁵Graduando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0339-6197>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ⁶Doutor em Ciência do Solo, Docente da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8183-7069>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ⁷Doutorando em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Humaitá – AM, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7959-8778>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ⁸Doutor em Ciência do Solo, Docente da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7968-6145>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com.

Artigo recebido em 17/10/2022 e aceito em 24/04/2023

RESUMO

Explorado pela crescente demanda por insumos agrícolas, os recursos naturais vêm sofrendo sérios impactos refletindo na degradação dos atributos dos solos. Assim, muitos estudos têm buscado avaliar esses impactos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica dos segmentos de vertente nos atributos físicos e químicos do solo em duas toposequências em áreas de brejo de altitude, Areia, PB. Foram selecionadas duas toposequências uma sob fragmento de floresta e outra sobre pastagem, em seguida foi estabelecido um caminharmento a partir do “espigão” da vertente no sentido do caimento mais suave do relevo. Em seguida, em cada segmento de vertentes, identificados como topo, meia encosta e sopé de deposição, foram selecionadas e abertas cinco minitrincheiras na camada de 0,00-0,20 m. Foram coletadas amostras em anéis volumétricos de 5,0 cm de altura e 5,0 cm de diâmetro interno e amostras preservadas em forma de torrão. Em laboratório foram realizadas análises de textura, densidade do solo, macro, micro e porosidade total, agregados, condutividade hidráulica, umidade volumétrica, pH, bases trocáveis, ânions e carbono orgânico. Após obtenção dos dados foram realizadas análises estatística descritiva e teste de médias ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey e teste de normalidade de Shapiro Wilk. Não houve diferença significativa dos atributos físico-hídricos, houve comportamento adequado do pH para o desenvolvimento de atividades agrícolas e manutenção ecossistêmica, em contrapartida, houve déficits nos teores das bases trocáveis em relação a capacidade de troca de cátions nas duas toposequências, fato provavelmente associado ao material de origem gnaisses e ao manejo atribuído a área.

Palavras-chave: toposequência, fertilidade, manutenção ecossistêmica.

Impact on Soil Attributes under Forest Conversion to Pasture Areas in Atlantic Forest areas, Areia, PB

ABSTRACT

Exploited by the growing demand for agricultural inputs, the natural ones have been causing serious impacts reflecting in the alteration of the attributes of the soils. Thus, studies have sought to assess these many impacts. The work of this work was to evaluate the dynamics of the segments of variables in the physical and chemical attributes of two toposequences in areas of highland swamp, Areia, PB. The two toposequences were selected, one under a forest fragment and the other two toposequences over pasture, then followed a smoother path from the relief of the slope towards the slope. Then, slope segments were identified, identified as top of, mid-slope and foot of position, were selected and five minitrins opened in the layer of 0.00-0.20 m. Samples were collected in volumetric loops of 5.0 cm in height and 5.0 cm in internal diameter and samples preserved in the form of a clod. Together, volume capacity, macro, texture, total volume density, micro and aggregates, volume density, pH, exchangeable bases, pH, exchangeable bases, pH, exchangeable bases and organic carbon were performed at the 5% probability level of Tukey's test and Shapiro Wilk's normality test. There was no significant difference in physical-hydric attributes, behavior suitable for pH or development of agricultural activities and maintenance of origin, in two eco, there were deficits in the theories of exchangeable bases in relation to

cation exchange capacity in toposequences, a fact probably associated with the source material gneiss and assigned to the area.

Keywords: toposequences, fertility, ecosystem maintenance.

Introdução

O solo é o substrato natural constituído por combinações de propriedades que dependem dos fatores de formação e processos pedogenéticos dominantes com relevância associada a paisagem e de atuação nas principais atividades agrícolas e/ou manutenção ecossistêmica (Fonseca et al., 2021). Nesse sentido, possuem diversas particularidades que influenciam nas características que podem ser expressos nos reflexos dos segmentos de vertente e nas formas de relevo, também surte influência na dinâmica das propriedades dos atributos do solo sob amplo aspecto (Santos, 2021). Áreas com maiores declividades são mais susceptíveis a escoamento superficial de água e elementos minerais incorporados essenciais em detrimento a infiltração, o que aumenta a taxa de erosão e carreamento podendo promover o rejuvenescimento do solo.

Avaliar a influência das formas de relevo no solo é essencial para enfatizar os mecanismos das suas principais propriedades, constituídas por virtudes e deficiências. Segundo Brito Filho et al. (2022), foram desenvolvidos vários estudos destacando o papel decisivo das formas do relevo na variação das propriedades físicas, químicas e influência ecológica do solo de uma determinada região ou área. Com essa premissa, vale salientar que essas propriedades, quando afetadas por efeitos antrópicos, implicam na redução de elementos essenciais à fertilidade e, conseqüentemente, a degradação do solo (Enck et al., 2020). Ao mesmo tempo, se leva em consideração a sensibilidade adquirida por esses atributos que refletem, de maneira relevante, sob os métodos práticos de manejo empregado a esse solo.

Contudo, a conversão de áreas de conservação natural em áreas voltadas a atividade de produção agrícolas sem o devido critério técnico, tem sido um dos principais empasses causados pela ação antrópica nos ambientes naturais nos últimos anos (Souza et al. 2023). Problemas estes que atuam como protagonista nas limitações de recursos naturais e nas propriedades físicas e químicas do solo, corroborando de maneira negativa sob as necessidades vegetais e no desenvolvimento ambiental.

Em síntese, relacionar essas necessidades com os impactos dos atributos do solo, bem como as formas de relevo empregada não é fácil. À vista disso, Oliveira et al. (2020) ressaltam que é primordial o reconhecimento dessas características, identificando aquelas que são indicadores da dinâmica do ecossistema, bem como aquelas associadas ao material de origem e ao relevo.

Dentro desse cenário, considera-se importante estudar o comportamento dos atributos do solo em diferentes posições topográficas para o conhecimento prévio do ecossistema, especialmente considerando a atuação dos atributos físicos na estrutura e químicos na fertilidade do solo conduzindo avaliações em ambientes naturais (floresta) e de pastagem.

Dessa forma este trabalho teve como hipótese principal, que a conversão dos ecossistemas naturais (floresta) em áreas de pastagens há modificações nos atributos do solo. Assim o objetivo do trabalho foi avaliar os impactos nos atributos do solo sob conversão de floresta para áreas de pastagem em áreas de mata Atlântica, areia, PB.

Material e métodos

Localização do ambiente

O estudo foi realizado em uma área de floresta e pastagem, nas imediações do sítio Furnas, às margens da rodovia PB 07, no sentido à Remígio, município de Areia-PB, sob as coordenadas geográficas 6° 98' 35,63" S e 35° 73' 17,57" W (Figura 1). O relevo da região caracteriza-se como ondulado a forte ondulado (8-45%) em quase toda a sua extensão com predomínio de suave ondulado com amplitude altimétrica de 400 m, contrastando com superfície de desnivelamentos pequenos e algumas colinas e/ou outeiros, com declives suaves entre 0 a 8% e altitude média de 620 m (Rodrigues, 2018).

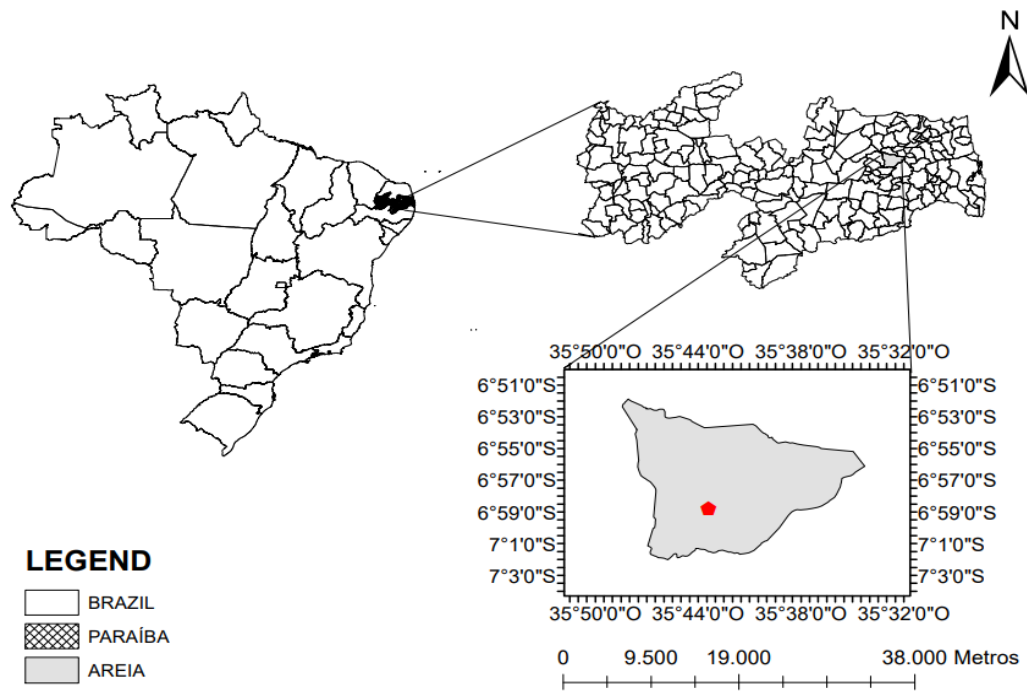


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no município de Areia, PB.

O material geológico da área de estudo está incluído sob o complexo São Caetano que, por sua vez, contém rochas que afloram em contato com sienitos milonitizados, na qual essa unidade é formada principalmente por biotita gnaisses de granulação fina a média, foliação e lineação de estiramento bem marcada, e mineralogicamente constituídos por quartzo (40-50%), feldspatos (10-20%), biotita (20-30%), muscovita e minerais opacos. Os solos da região são classificados como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico úmbrico (PVAd), Latossolo Amarelo distrófico húmico (LAd) e Planossolo Háptico eutrófico úmbrico (SXe) segundo Félix et al. (2019).

O clima da região é classificado como do tipo “As” segundo Köppen-Geiger e como B1Ra ‘a’ segundo Thornthwaite caracterizando-o como tropical com chuvas de inverno e pouca deficiência de umidade, com precipitação média variando entre 1300 mm/ano a 1600 mm/ano e temperatura variável entre 22°C e 30°C (Alvares et al., 2013). A hipsometria dessa área varia de 164 a 635 m dentro do domínio da sub bacia vaca brava, com predomínio biogeográfico da Mata Atlântica e ecossistemas associados (Marques et al., 2014).

Foram selecionadas duas topossequências, uma em fragmento florestal nativo (floresta natural) e outra sob pastagem, em seguida foi

estabelecido um caminhamento, seguindo o “espigão” da vertente no sentido do caimento mais suave do declive, partindo-se do topo até a área de sopé. Ao longo do caminhamento foram realizadas mensurações das altitudes para a confecção do perfil altimétrico. Conforme o modelo de Dalrymple et al. (1968), foram identificados os segmentos da vertente, com base, principalmente, na variação da declividade do terreno (Figura 2). Foram abertas cinco minitrincheiras na camada de 0,00-0,20 m, e coletadas amostras nos diferentes segmentos de vertentes identificados como: topo, meia encosta e sopé de deposição, nas topossequências sob floresta e pastagem.

As amostras foram secas a sobre, posteriormente foram destorroadas a mão e passadas em peneira com malha de 2 mm obtendo a terra fina seca ao ar (TFSA). Em laboratório foram realizadas as análises físicas e químicas segundo a metodologia proposta pela Teixeira et al. (2017).

A análise de textura foi realizada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 min. A fração argila foi separada por sedimentação, a areia por tamisação e o silte foi calculado pela diferença

(Teixeira et al. 2017). As médias dessa avaliação estão descritos na Tabela 1.

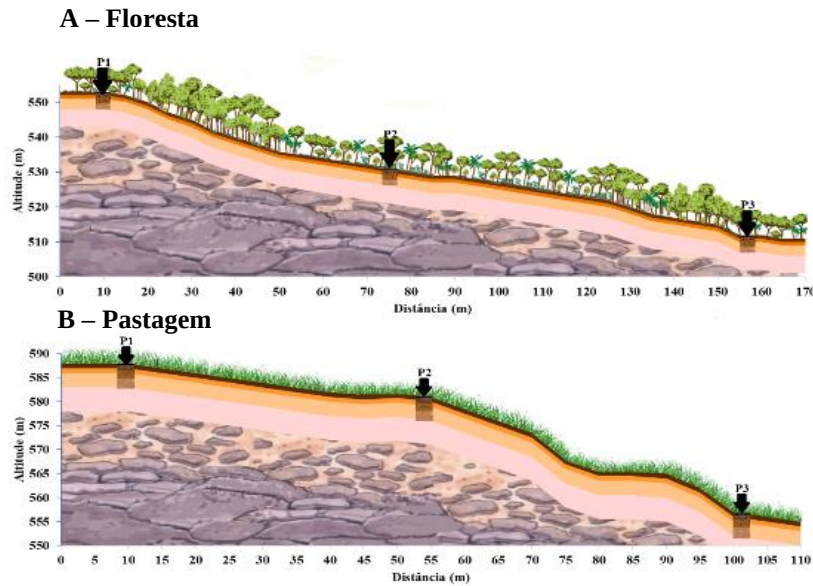


Figura 2. Perfil esquemático mostrando os pontos amostrais nos ambientes de floresta e pastagem (A e B) e os segmentos de vertente, distâncias do topo e dados topográficos das duas topossequências estudadas na região de brejo de altitude, Areia, PB. P1: topo; P2: meia encosta; P3: sopé de deposição.

Tabela 1. Caracterização da textura do solo em diferentes segmentos de vertente em topossequência em áreas de Mata Atlântica, Areia, PB.

Fração	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
Granulométrica	-----g.kg ⁻¹ -----					
$\bar{X}$	-----Floresta-----			-----Pastagem-----		
Topo						
Média	785,6	69,9	144,3	704,2	112,1	183,7
Meia Encosta						
Média	553,4	175,4	271,2	732,4	125,9	141,7
Sopé de Deposição						
Média	825,7	68,4	105,9	761,8	111,5	126,7

Para obter as determinações da densidade do solo (Ds), macroporosidade (MaP) e a microporosidade (MiP), porosidade total (Pt) e umidade volumétrica (Uv), as amostras coletadas em anéis volumétricos foram saturadas por meio da elevação gradual, até dois terços da altura do anel, de uma lâmina de água numa bandeja plástica.

Após a saturação, as amostras foram pesadas e levadas à mesa de tensão para determinação da MiP do solo, sendo submetidas a uma tensão de -0,006 MPa. Após atingirem o equilíbrio em um potencial matricial de -0,006 MPa, as amostras foram novamente pesadas. Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a 105 °C para a

determinação da Uv, Ds e Pt, pelo método do anel volumétrico, já a MaP foi determinada pela diferença entre Pt e MiP (Teixeira et al. 2017).

A determinação da estabilidade dos agregados do solo foi realizada pelo método de peneiramento úmido. A separação e estabilidade dos agregados foram determinados segundo Kemper e Chepil (1965), com modificações nas seguintes classes de diâmetro: 4,76-2,0 mm; 2,0-1,0 mm; 1,0-0,50 mm; 0,50-0,25 mm; 0,25-0,125; 0,125-0,063 mm. Os agregados provenientes da peneira de 4,76 mm foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm e submetidos à agitação vertical em aparelho Yoder (modelo SOLOTEST) por 15 min e com 32 oscilações por minuto. O material retido em cada classe das peneiras foi colocado em estufa a 105 °C por um período de 24 horas, em seguida foram mensuradas as respectivas massas em balança digital analítica. Os resultados foram expressos em porcentagem dos agregados retidos em cada uma das classes das peneiras para > 2 mm, 2-1 mm e < 1 mm, e posteriormente foi calculado o valor de diâmetro médio ponderado (DMP) meio da fórmula proposta por Castro Filho et al. (1998).

A condutividade hidráulica saturada do solo ($K\theta$) foi determinada conforme metodologia de Teixeira et al., (2017), assim, utilizou-se amostras de solo com estrutura indeformada de 102,09 cm³, previamente saturadas em água destilada por um intervalo de no mínimo 48 horas. Após a saturação, as amostras foram introduzidas no permeâmetro de carga constante até atingir o equilíbrio na taxa de percolação da água.

Em seguida foi realizado o cálculo da condutividade utilizando a equação:

$$K\theta = \frac{Q \times L}{A \times H \times T}$$

em que:

$K\theta$: é a condutividade hidráulica saturada (cm h⁻¹);

Q: é o conteúdo de água percolado e coletado em proveta (ml. l⁻¹);

A: é a área do cilindro (cm²);

H: é a altura do bloco de solo + lâmina de água (cm);

T: é o tempo de coleta do percolado (h).

A determinação do carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por Yeomans e Bremner (1988). Já o estoque de carbono (EC) foi definido pela equação:

$$EC = Ds \times h \times CO$$

em que:

EC: estoque de carbono (mg ha⁻¹);

Ds: densidade do solo (g cm⁻³);

h: é a espessura da camada de solo amostrada (cm);

CO: teor de CO (%).

O cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e alumínio trocável (Al³⁺), foram extraídos por solução de KCl 1 mol L⁻¹. Os teores de Al³⁺ foram determinados por titulometria, utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e azul de bromotimol como indicador colorimétrico. Já os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados por espectrometria de absorção atômica.

O sódio (Na⁺), potássio (K⁺) e o fósforo (P) disponível, foram extraídos por Mehlich-1. Os teores de P foram determinados por espectrofotômetro-UV-vis e os teores de Na⁺ e K⁺ por espectrofotometria de chama. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio tamponado a pH 7,00 e determinada por titulometria utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e fenolftaleína como indicador.

Após quantificação dos atributos físicos e químicos do solo, foram aplicados estatística descritiva, na qual foram calculados: média, variância, máximo, mínimo, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e aplicado o teste de normalidade Shapiro Wilk. De modo que o coeficiente de variação (CV%) foi avaliado conforme classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), que classifica variáveis do solo como: CV < 12% (baixa), 12 < CV < 60% (média), e CV > 60% (alta) variabilidade. Posteriormente foi realizada a análise de variância (ANOVA) que se comparou as médias dos atributos, testado com método de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o software estatístico Sisvar.

Resultados e discussão

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos atributos físicos do solo comparando os dois ambientes (floresta e pastagem) avaliados para cada ponto da encosta. É possível verificar que não houve variação para os valores médios da microporosidade (MiP) do solo, por outro lado, observou-se uma leve tendência de aumento da macroporosidade (MaP) e porosidade total (Pt) do solo no ponto de sopé de deposição no ambiente de floresta, vale enfatizar que a Pt, segundo Leite et al. (2022a) afirmam que, o volume total dos poros do solo estar próximo de 50 m³. m⁻³ esse aspecto corrobora com potencial de restringir a

condução de água e nutrientes minerais através das aberturas da zona radicular, não comprometendo a drenagem e a difusão de oxigênio sob a importância das raízes nos efeitos da produtividade agrícola e construção do perfil do solo, vale destacar ainda que, a Pt deve ser maior em

proximidade à superfície do solo, geralmente, encontrados em áreas sob floresta nativa conforme Martinkoski et al. (2017) em estudos sobre a qualidade física do solo sob manejo silvipastoril e floresta secundária.

Tabela 2. Atributos físicos em diferentes segmentos de vertente em topossequência em áreas de Mata Atlântica, Areia, PB.

Estatística	MaP	MiP	Pt	Uv	K0	MaP	MiP	Pt	Uv	K0	
Descritiva	-----m³.m⁻³-----				%	mm.h⁻¹	-----m³.m⁻³-----			%	mm.h⁻¹
-----Floresta-----						-----Pastagem-----					
Topo											
Média	0,19a	0,23a	0,42a	0,13a	252,3a	0,17a	0,26a	0,42a	0,17a	371,8a	
Variância	0,002	0,001	0,001	0,002	170,0	0,001	0,0012	0,001	0,0006	51307	
Dp	0,051	0,027	0,041	0,017	180,9	0,031	0,037	0,023	0,024	226,9	
CV (%)	27,83	11,55	9,96	13,28	67,37	18,13	13,54	5,43	13,84	60,93	
Máximo	0,23	0,26	0,46	0,14	437,0	0,22	0,29	0,46	0,20	599,9	
Mínimo	0,10	0,19	0,35	0,10	58,1	0,15	0,20	0,40	0,14	1,00	
Assimetria	-1,02	-0,89	-1,03	-0,73	-0,15	0,97	-0,99	0,69	-0,40	-0,89	
Curtose	2,60	2,50	2,72	2,13	1,31	2,33	2,64	2,28	1,76	2,59	
SW	0,84	0,88	0,67	0,97	0,93	0,50*	0,58*	0,97	0,97	0,72	
Meia Encosta											
Média	0,17a	0,32a	0,49a	0,24a	225,1a	0,19a	0,44a	0,60a	0,34a	203,2a	
Variância	0,0002	0,001	0,001	0,001	6697,4	0,001	0,19	0,19	0,20	34243	
Dp	0,015	0,031	0,027	0,04	81,83	0,007	0,43	0,43	0,44	185,0	
CV (%)	9,30	9,66	5,28	16,41	36,36	3,72	100,56	70,05	131,6	91,07	
Máximo	0,19	0,37	0,52	0,29	350,3	0,20	1,22	1,41	1,14	479,7	
Mínimo	0,15	0,29	0,46	0,20	145,5	0,18	0,22	0,41	0,12	1,00	
Assimetria	-0,001	0,40	-0,10	-0,08	0,59	-0,00	1,49	1,49	1,49	0,54	
Curtose	1,70	2,00	1,54	1,32	2,12	2,50	3,24	3,24	3,24	2,04	
SW	0,99	0,93	0,89	0,95	0,96	0,67	0,16*	0,18*	0,16*	0,88	
Sopé de Deposição											
Média	0,24a	0,28a	0,53a	0,18a	380,1a	0,18a	0,25a	0,43a	0,22a	229,7a	
Variância	0,0001	0,001	0,002	0,002	76975	0,007	0,008	0,007	0,007	67892	
Dp	0,012	0,03	0,048	0,04	277,4	0,085	0,09	0,085	0,084	260,6	
CV (%)	5,10	13,54	9,15	22,93	72,98	47,5	37,2	19,8	39,23	113,4	
Máximo	0,26	0,33	0,60	0,24	652,8	0,29	0,36	0,55	0,29	626,1	
Mínimo	0,23	0,25	0,49	0,13	1,00	0,09	0,14	0,31	012	1,00	
Assimetria	0,91	0,30	0,57	0,11	-0,39	0,33	-0,21	-0,07	-0,30	0,69	
Curtose	2,50	1,22	1,70	1,86	1,59	1,43	1,39	2,42	1,21	1,97	
SW	0,67	0,76	0,82	0,92	0,95	0,75	0,86	0,88	0,84	0,95	

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); SW: teste de normalidade de Shapiro Wilk. * Significativo a 5% de probabilidade; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; Pt: porosidade total; Uv: unidade volumétrica; K θ : Condutividade hidráulica. Médias seguidas por letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A umidade volumétrica (Uv) e condutividade hidráulica do solo saturado (K θ) apresentaram comportamento que variaram, sendo que a Uv apresentou predomínio no ponto de meia encosta da pastagem (Tabela 2), no que pode estar associado a boa forma estrutural do solo, considerando o intervalo hídrico ótimo (IHO) ligado a fatores que realça a boa aeração, disponibilidade de água e baixa resistência a penetração (Faustino et al., 2021). Ainda assim, cabe destacar que os valores médios mais proeminentes da K θ foram mais elevados no segmento de sopé de deposição no ambiente de floresta, o qual geralmente tende a apresentar-se com maior acúmulo de água, função de sua posição na paisagem e também da proximidade do lençol freático, concordando com resultados encontrados por Brito Filho et al. (2022), ao estudarem uma sequência de solos de transição arenito-gnaiss.

Os dados apresentaram similaridades de variância na maioria das variáveis, com poucas exceções distribuídas ao longo dos perfis, o mesmo foi observado para o desvio padrão. Já o coeficiente

de variação apresentou variabilidade entre baixa e média. Ademais, os valores de assimetria apresentaram desempenho próximos a zero, todos os valores da curtose foram positivos e o teste de normalidade de Shapiro Wilk não apresentou discrepâncias.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados para os atributos físicos e químicos correlacionados sob os ambientes (floresta e pastagem) estudados. Foi possível observar que a densidade do solo (Ds) foi dominante no topo da pastagem, o que pode estar associado a deficiência da composição vegetal nessa posição topográfica, o que desencadeia ausência de matéria orgânica, comprometendo as propriedades fundamentais do solo. O diâmetro médio ponderado (DMP) apresentou valores médios semelhante nos três segmentos de vertentes estudados nas topossequências, apesar disso, foi possível observar incremento médio no ponto de sopé de deposição na pastagem.

Tabela 3. Atributos físicos e químicos do solo em diferentes segmentos de vertente em topossequência em áreas de Mata Atlântica, Areia, PB.

Estatística Descritiva	Ds	DMP	CO	EC	Ds	DMP	CO	EC
	g cm ⁻³	mm	mg ha ⁻¹	mg ha ⁻¹	g cm ⁻³	mm	mg ha ⁻¹	mg ha ⁻¹
-----Floresta-----				-----Pastagem-----				
Topo								
Média	1,15a	2,37a	1,00b	22,92b	1,42a	2,84a	0,58a	16,9a
Variância	0,002	0,099	0,12	59,6	0,009	0,18	0,08	89,4
Dp	0,045	0,31	0,35	7,71	0,095	0,42	0,29	9,45
CV (%)	3,89	13,35	35,4	33,7	6,75	14,93	50,6	55,9
Máximo	1,23	2,75	1,26	28,5	1,52	3,20	1,05	32,1
Mínimo	1,11	2,06	0,42	10,2	1,27	2,24	0,29	7,5
Assimetria	0,91	0,15	-1,01	-1,03	-0,61	-0,57	0,81	0,82
Curtose	2,62	1,34	2,43	2,47	2,16	1,59	2,39	2,42
SW	0,81	0,92	0,72	0,69	0,89	0,59*	0,94	0,92
Meia encosta								
Média	1,19a	2,83a	1,48a	34,78a	1,29a	2,87a	0,09c	2,54c
Variância	0,005	0,16	0,37	190,9	0,21	0,16	0,02	16,9
Dp	0,075	0,40	0,61	13,81	0,458	0,40	0,13	4,11
CV (%)	6,37	14,4	41,32	39,72	35,40	14,23	143,6	161,9
Máximo	1,32	3,34	2,01	46,7	1,60	3,35	0,31	9,4
Mínimo	1,13	2,27	0,46	12,3	0,50	2,40	-0,05	-1,3
Assimetria	1,12	-0,15	-1,05	-0,93	-1,29	-0,01	0,75	1,02
Curtose	2,69	1,93	2,63	2,43	2,94	1,40	2,47	2,7
SW	0,81	0,99	0,85	0,94	0,62	0,98	0,75	0,81
Sopé de deposição								
Média	1,17a	2,99a	0,98bc	22,48b	1,37a	3,10a	0,20b	6,12b
Variância	0,005	0,30	0,30	155,9	0,004	0,15	1,03	791,7
Dp	0,07	0,54	0,55	12,48	0,06	0,39	1,01	28,1
CV (%)	6,54	18,4	56,2	55,5	4,80	12,58	497,7	459,7

Máximo	1,25	3,96	1,34	30,2	1,45	3,68	1,06	30,7
Mínimo	1,08	2,63	0,02	0,50	1,30	2,60	-1,08	-29,8
Assimetria	0,12	1,43	-1,32	-1,38	-0,14	0,27	-0,43	-0,43
Curtose	1,37	3,16	2,99	3,09	1,35	2,33	1,28	1,31
SW	0,85	0,28*	0,53*	0,30*	0,96	0,95	0,56*	0,62

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); SW: teste de normalidade de Shapiro Wilk. * Significativo a 5% de probabilidade; Ds: densidade do solo; DMP: diâmetro médio ponderado; CO: carbono orgânico; EC: estoque de carbono. Médias seguidas por letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ao avaliar as análises relacionadas aos níveis de CO, foi possível identificar que foram dominantes na região da meia encosta do ambiente de floresta, assim como o EC, sendo esses considerados bons. Já para os demais pontos estudados, os níveis de concentração de CO e EC foram considerados baixos, isso se dá ao baixo adensamento da vegetação nessas áreas, no que está relacionado com a capacidade de execução do processo fotossintético, comprometendo sua função na atuação como sumidouro de carbono atmosférico (Silva et al., 2022).

Foi possível destacar que o ambiente de floresta domina as concentrações de C em todo o estudo, sendo o ponto com maior proporção média de EC localizado na região de meia encosta, esse fato pode estar associado a maior estabilidade dos componentes químicos, maior adensamento na vegetação, eficiência vegetal no processo fotossintético e maior presença de matéria orgânica. Pode-se considerar que a fração orgânica do solo é facilmente alterada com a mudança da forma de manejo, tornando-os importantes indicadores da qualidade do ambiente edáfico e com isso, perdas desta qualidade indicam o surgimento de processos erosivos, levando a uma sequência de estágios de degradação (Troian et al., 2020).

Observou-se que o CV (%) apresentou comportamento de baixa a média variabilidade com poucas exceções nos atributos avaliados de acordo com a classificação de Warrick e Nielsen (1980). O desvio padrão não apresentou anomalias, os valores de assimetria apresentaram desempenho próximos a zero, todos os valores da curtose foram positivos e o teste de normalidade de Shapiro Wilk indicaram distribuição normal.

Na Tabela 4 estão os resultados das avaliações dos atributos químicos do solo, na qual foi possível observar que os pH em água das áreas estudadas apresentaram comportamento maneira adequada de acordo com a classificação agrônômica em vigor no estado da Paraíba para os padrões de produção agrícola, desenvolvimento vegetal e atividade microbiana (Santos et al. 2021).

Desse modo, é possível estimar a ocorrência de baixa acidez potencial (íons livres de H^+ no solo) e baixa ou nula presença de cátions trivalente de alumínio (Al^{3+}) no solo, que foi o caso observado para todos os segmentos de vertente avaliados ao longo das topossequências.

Ao destacar as bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+), foi possível verificar que houve predominância na maioria desses componentes no ambiente de floresta, com destaque para: Ca^{2+} , K^+ e Na^+ ao relacioná-los com a CTC, em contrapartida, o Mg^{2+} foi abundante no sopé de deposição ao longo de toda a topossequência de pastagem, esse fato pode estar associado a susceptibilidade de perda desse nutriente facilmente por lixiviação relacionado a exposição do solo a atritos mecânicos como a chuva e maior presença de lotação animal.

É sabido que o auto teor de um nutriente pode comprometer a inibição de outros, desencadeando uma inibição competitiva chamada de antagonismo, na qual um nutriente em excesso inviabiliza a absorção de outro. Nesse caso, o K^+ pode estar competindo com Ca^{2+} e Mg^{2+} pelos mesmos sítios de absorção em quase todos os pontos avaliados no estudo, onde que essa relação de Ca/Mg é ideal na proporção 3: 1, a qual não é vista no estudo, além disso, o ponto de sopé de deposição do ambiente de floresta apresentou deficiência considerável de K^+ , isso pode ser solucionado com o que, segundo resultados adquiridos por Pereira et al. (2020) em estudo sobre fertilidade de um Organossolo e produtividade do feijoeiro influenciados pela calagem e inoculação, se faz como susceptível a incrementação e correção por adubação com calagem.

Tabela 4. Atributos químicos em diferentes segmentos de vertente em topossequência sob ambiente de floresta e pastagem em área de Mata Atlântica, Areia, PB.

Estadística Descritiva	pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SB	H+Al	P	pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SB	H+Al	P		
	cmol _c dm ⁻³							mg kg ⁻¹			cmol _c dm ⁻³							mg kg ⁻¹		
Floresta										Pastagem										
Topo																				
Média	6,10a	0,0	0,52ab	1,00a	0,007ab	0,33abc	1,87ab	7,78a	34,67b	6,06a	0,0	0,60b	0,80b	0,004abc	0,38b	1,78ab	4,96ab	38,32ab		
Variância	0,06	0,0	0,06	0,03	0,0002	0,27	0,15	0,24	24,42	0,17	0,0	0,095	0,025	0,00001	0,08	0,15	0,20	10,27		
Dp	0,24	0,0	0,25	0,18	0,004	0,52	0,39	0,49	4,94	0,42	0,0	0,30	0,16	0,0013	0,28	0,39	0,45	3,2		
CV (%)	4,01	0,0	47,9	18,7	56,7	136,47	25,86	6,32	14,25	6,96	0,0	51,37	19,76	34,31	69,81	27,95	9,08	8,36		
Max	6,3	0,0	0,90	1,20	0,013	1,06	2,11	8,50	40,38	6,7	0,0	1,10	1,00	0,005	0,74	2,00	5,40	42,77		
Min	5,7	0,0	0,20	0,80	0,004	0,001	1,10	7,20	28,47	5,6	0,0	0,40	0,60	0,002	0,02	1,00	4,30	34,83		
Assimetria	-0,91	0,0	0,39	0,25	0,57	0,48	0,50	0,41	-0,16	0,56	0,0	0,97	-0,001	-0,36	-0,29	0,56	-0,58	0,23		
Curtose	2,50	0,0	2,54	1,27	1,59	1,33	1,95	2,06	1,51	2,14	0,0	2,33	1,70	1,62	1,69	2,11	1,80	1,76		
SW	0,67	0,0*	0,54*	0,66	0,65	0,44*	0,94	0,88	0,99	0,99	0,0*	0,50*	0,99	0,93	0,81	0,98	0,66	0,97		
Meia Encosta																				
Média	5,94ab	0,0	0,58ab	0,58ab	0,008a	0,44a	1,62b	8,06a	40,07ab	5,42ab	0,0	0,46c	0,40c	0,005ab	0,46a	1,33c	5,32ab	41,5a		
Variância	0,068	0,0	0,037	0,062	0,00002	0,57	0,03	0,73	31,78	0,54	0,0	0,023	0,06	0,00001	0,42	0,04	0,02	142,9		
Dp	0,26	0,0	0,19	0,25	0,0044	0,76	0,18	0,85	5,63	0,73	0,0	0,15	0,24	0,0034	0,65	0,20	0,14	11,95		
CV (%)	4,39	0,0	33,16	42,93	55,9	95,94	15,74	10,62	14,06	13,58	0,0	32,96	61,23	67,82	87,63	23,56	2,78	28,8		
Max	6,3	0,0	0,90	0,80	0,010	1,72	1,41	9,50	45,16	6,3	0,0	0,70	0,80	0,01	1,60	1,20	5,50	61,8		
Min	5,6	0,0	0,40	0,20	0,002	0,02	1,00	7,30	30,85	4,6	0,0	0,30	0,20	0,002	0,004	0,71	5,10	30,85		
Assimetria	0,07	0,0	1,01	-0,61	-1,50	0,33	0,36	1,08	-0,95	0,06	0,0	0,75	0,91	0,64	0,07	0,96	-0,37	1,14		
Curtose	2,06	0,0	2,65	2,07	3,25	1,31	1,43	2,72	2,47	1,39	0,0	2,36	2,50	1,78	1,62	2,46	2,21	2,83		
SW	0,96	0,0*	0,82	0,95	0,15*	0,65	0,93	0,74	0,73	0,97	0,0*	0,85	0,67	0,58	0,96	0,92	0,87	0,63		
Sopé de Deposição																				
Média	6,12a	0,0	0,80a	0,98a	0,008a	0,20c	2,00a	5,46ab	44,2a	5,94ab	0,0	0,82a	1,38a	0,006a	0,39bc	2,60a	3,88b	36,57b		
Variância	0,10	0,0	0,065	0,097	0,0001	0,03	0,01	0,50	60,4	0,023	0,0	0,037	0,88	0,00002	0,13	0,58	0,36	50,27		
Dp	0,32	0,0	0,25	0,31	0,01	0,18	0,10	0,70	7,77	0,15	0,0	0,19	0,94	0,0046	0,36	0,76	0,60	7,09		
CV (%)	5,34	0,0	31,86	31,78	104,6	121,8	5,98	12,98	17,6	2,55	0,0	23,45	68,24	72,11	117,6	34,77	15,5	19,38		
Max	6,6	0,0	1,00	1,50	0,021	0,36	1,91	6,20	50,7	6,1	0,0	1,1	2,7	0,01	0,9	3,31	4,50	48,33		
Min	5,7	0,0	0,40	0,70	0,003	0,01	1,70	4,50	33,24	5,7	0,0	0,6	0,2	0,002	0,01	1,31	3,10	29,27		
Assimetria	0,28	0,0	-0,81	1,04	0,34	0,41	0,39	-0,20	-0,56	-0,75	0,0	0,39	0,20	0,96	0,98	0,32	-0,33	0,95		
Curtose	2,30	0,0	2,14	2,67	1,84	1,19	1,18	1,64	1,58	2,36	0,0	1,99	2,00	2,58	2,53	1,98	1,44	1,41		
SW	0,97	0,0*	0,85	0,77	0,92	0,50*	0,52*	0,94	0,66	0,85	0,0*	0,99	0,99	0,86	0,87	0,99	0,88	0,63		

Dp: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); SW: teste de normalidade de Shapiro Wilk. * Significativo a 5% de probabilidade; pH: potencial hidrogeniônico; Al³⁺: alumínio trocável; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; Na⁺: sódio; K⁺: potássio; P: fósforo. Médias seguidas por letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Os teores de P se manifestaram com comportamento muito bom, em relação aos níveis de exigência e produtividade cultural, com índices $>30 \text{ mg dm}^{-3}$, semelhante aos encontrados por Santos et al. (2021), em vista disso, apresentaram valores mais elevados no sopé de deposição do ambiente de floresta e segue decrescendo à medida que o relevo apresenta maior declividade. O sentido contrário foi observado no ambiente de pastagem, na qual há predomínio médio na meia encosta. Vale ressaltar que, o fósforo é um nutriente de pouca mobilidade e sensível a processos de erosão e lixiviação, podendo ser facilmente retirado das partículas coloidais, solução do solo e carregados para as porções de relevo mais baixas se concentrando em maior proporção sob a forma de sedimentos (Queiroz et al., 2020).

Autos índices de P no solo também pode causar antagonismo, nesse caso a competição seria com os micronutrientes B (Boro) e Zn (Zinco). Fatores como, o próprio manejo e a necessidade de demanda das plantas podem alterar a dinâmica do P no solo, nessa perspectiva é importante obter o conhecimento da natureza e distribuição das formas de P no solo podendo fornecer informações importantes para o processo de avaliação da sua disponibilidade (Lima et al., 2022b).

Em contrapartida, a área de pastagem também apresentou SB ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$), com classificação de baixo nível havendo, nessa região, comportamento de baixa saturação por base trocáveis, que pode estar associado aos processos de erosão e lixiviação em consórcio com a baixa presença de camada vegetal e redução da matéria orgânica do solo, além da influência das formas de manejo atribuídas a essa área (Ribeiro et al., 2020; Matos et al., 2022).

O ambiente de floresta dominou o aspecto H+Al em todo segmento de topossequência, destacando que em solos de regiões de altitude, as condições climáticas favorecem o acúmulo de matéria orgânica e o predomínio de H^+ ou Al^{3+} no complexo sortivo (Pereira et al., 2020).

O CV (%) apresentou comportamento de baixa a média variabilidade demonstrando poucas exceções nos atributos químicos avaliados no estudo de acordo com a classificação de Warrick e Nielsen (1980). Os valores de variância e desvio padrão tiveram comportamentos dentro do esperado para ambos os casos, o coeficiente de variação obteve padrão de distribuição variando entre baixo e médio, contendo poucas exceções em toda distribuição ao longo dos perfis avaliados nas

topossequências. O coeficiente de assimetria teve valores próximos a zero contendo algumas exceções, todos os valores do coeficiente de curtose foram apresentados com a natureza positiva e o teste de normalidade de Shapiro Wilk procedeu sem anomalia, caracterizando distribuição normal.

Contudo, todos os atributos apresentaram valores positivos de curtose e a maioria apresentaram coeficientes de assimetria com valores próximos à zero, indicando maior normalidade dos dados de acordo com Lima et al. (2022a). Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov indicaram normalidade para todos os atributos avaliados no estudo. Também foi possível afirmar com base nos resultados estatísticos que se obteve uma distribuição platicúrtica dos dados e, com base nos valores de (CV%) encontrados, que os atributos estudados apresentaram de baixa à média variabilidade, com poucas exceções, para todas as áreas dos ambientes estudados.

Conclusões

Não houve diferença estatística dos atributos físicos-hídricos das duas topossequências estudadas, de modo que apresentaram resultados semelhantes na distribuição dos relevos;

A topossequência sob fragmento de floresta apresentou as melhores condições na distribuição e dinâmica dos atributos físicos e químicos do solo quando comparado a topossequência sob pastagem, o que pode estar associado ao manejo incorporado à área;

Foi possível verificar uma considerável necessidade de Ca^{2+} em ambas as áreas, o que pode estar gerando complicações no equilíbrio dos sítios de absorção de outros elementos e viabilizando relações antagônicas.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (Capes), à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (Fapesq) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida e financiamento do projeto.

Referências

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728.

- Brito Filho, E.G., Campos, M.C.C., Silva, L.S., Silva, J.F., Silva, G.A., Cunha, J. M., Lima, A.F.L., 2022. Variation of soil attributes along a sandstone-gneiss toposequence in southern Amazonas, Brazil. *Revista brasileira de geomorfologia*, 23, 1481-1500.
- Castro Filho, C., Muzilli, O., Podanoschi, A.L., 1998. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22, 527-538.
- Dalrymple, J.B., et al., 1968. The hypothetical nine-unit landsurface model. *Geomorphology*, 12, 60-76.
- Enck, B.F., Rodrigues, J.C.W., Hassane, A.L., Tembo, R.A., Campos, M.C.C., Santos, L.A.C., Brito, W.B.M., 2020. Impacto nos atributos do solo sob conversão de floresta para áreas cultivadas na região sul do Amazonas, Brasil. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 24, 1-23.
- Faustino, L.L., Marciano, C.R., 2021. Intervalo hídrico ótimo e valores críticos de densidade como indicadores de recuperação de um solo sob sistemas florestais e pasto. *Ciência Florestal*. Santa Maria, 31, 658 – 682.
- Felix, E.S., Vendruscolo, J., Abrantes, E.G., Costa, A.A., Gomes, V.S., Nascimento, G.V., 2019. Simulação de diferentes coberturas e práticas de manejo na tolerância e perda de solo no município de Areia, Paraíba. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, 5, 22628-22642.
- Fonseca, J.S., Campos, M.C.C., Brito Filho, E.G., Mantovanelli, B.C., Silva, L.S., Lima, A.F.L., Cunha, J.M., Simões, E.L., Santos, L.A.C., 2021. Soil-landscape relationship in a sandstone-gneiss topolithosequence in the State of Amazonas, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 80, 713-728.
- Kemper, W.D., Chepil, W.S., 1965. Size distribution of aggregates. In: Black, C. A., Evans, D. D., White, J. L., Ensminger, L. E.; Clark, F. E., eds. *Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison, American Society of Agronomy, p. 499-510.
- Lima, A.F.L., Campos, M.C.C., Enck, B.F., Silva, W.S., Araújo, R.M., Santos, L.A.C., Cunha, J.M., 2022a. Physical soil attributes in areas under forest/pasture conversion in northern Rondônia, Brazil. *Environmental monitoring and assessment*, 194, 34-43.
- Lima, A.F.L., Campos, M.C.C., Martins, T.S., Silva, G.A., Brito, W.B.M., Santos, L.A.C., Oliveira, I.A., Cunha, J.M., 2022b. Soil chemical attributes in areas under conversion from forest to pasture in southern Brazilian Amazon. *Scientific Reports*, 12, 22555
- Marques, A.L., Silva, J.B., Silva, D.G., 2014. Refúgios úmidos do semiárido: um estudo sobre o brejo de altitude de areia-pb. *Revista Geotemas*, 4, 17-31.
- Martinkoski, L., Vogel, G.F., Jadoski, S.O., Watzlawick, L.F., 2017. Qualidade Física do Solo Sob Manejo Silvopastoril e Floresta Secundária. *Floresta e Ambiente*, 24, 1-9.
- Matos, A.P., Matias, S.S.R., Nóbrega, J.C.A., Nunes, T.P.M., 2022. Variabilidade espacial química do solo e macronutrientes em folhas de bananeiras sob aplicação de calcário. *Revista Ciência Agronômica*. 53, e20207293.
- Oliveira, I.A., Campos, M.C.C., Siqueira, D.S., Freitas, L., Aquino, R.E., Oliveira, F.P., 2020. Pedoenviromental indicators of soil in Western Amazônia, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 768-774.
- Pereira, M.G., Araújo, A.L.S., Dortzbach, D., Tavares, O.C.H., Silva Neto, E.C., 2020. Estimativa da acidez potencial através do método do pH SMP em solos de altitude de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, 33, 50-55.
- Pereira, M.G., Loss, A., Schultz, N., Zonta, E., Guareschi, R.F., Santos, O.A.Q., 2020. Fertilidade de um organossolo e produtividade do feijoeiro influenciados pela calagem e inoculação. *Agrarian*, 13, 211–221.
- Queiroz, A.S.B., Sáio, S.A., Teixeira Junior, T., 2020. Doses de fósforo no desenvolvimento da cultura da soja na região central do Tocantins. *Agri-Environmental Sciences*, 6, 1-7.
- Ribeiro, M.H.G., Bezerra, A.M.N., Paiva Coutinho, A., Pastich, E.A., 2020. Caracterização de fertilidade de solo através do uso de colunas de lixiviação alimentadas com efluente tratado. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5, 405–416.
- Rodrigues, J.M., Monteiro, G.N., Souza, J.O.P., 2018. Análise de fragilidade ambiental na bacia da barragem Camará, Areia (PB). *Revista de Geografía*. 35, 231-241.
- Santos, A.L.P., Diniz Neto, M.A., Melo, T.S., Vital, M.J.L., Bandeira, L.B., Cruz, G.R.B., Silva, J.C.A., 2021. Atributos químicos do solo em áreas de produção de Banana (*Musa spp.*).

- Research, Society and Development, 10, e233101018727.
- Silva, L.J.R., Souza, T.A.F., Laurindo, L.K., Freitas, H., Campos, M.C.C., 2022. Decomposition Rate of Organic Residues and Soil Organisms? Abundance in a Subtropical *Pyrus pyrifolia* Field. *Agronomy-Basel*, 12, 1-15.
- Souza, F.G., Campos, M.C.C., Oliveira, E.S., Lima, A.F.L., Pinheiro, E.N., Cunha, J.M., Martins, T.S., Silva, D.M.P., Oliveira, F.P., 2023. Impacts of native forest conversion on soil erodibility in areas of amazonic species cultivation. *Applied ecology and environmental research*, 21, 21-39.
- Teixeira, P.C., Donagema, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G., 2017. Manual de métodos de Santos, S.A., 2021. Panorama da susceptibilidade à erosão dos solos em municípios do semiárido do Pernambuco. *Revista Equador*, 10, 1 – 25. análise de solo. Rio de Janeiro, 3ª ed. revista e ampliada. – Brasília, DF: Embrapa, p.573.
- Troian, D., Rosset J.S., Martins, L.F.B.N., Ozório, J.M.B., Castilho, S.C.P., Marra, L.M., 2020. Carbono orgânico e estoque de carbono do solo em diferentes sistemas de manejo. *Revista AgroAmbiental*, 13, 1447-1469.
- 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, USA. p.344.
- Yeomans, J.C., Bremner, J.M., 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 19, 1467-1476.