



Caracterização de solos no núcleo de desertificação de Gilbués, Piauí, Brasil, e sua relação com os processos de degradação

Soils characterization in the desertification nucleus of Gilbués, Piauí, Brazil, and their relationship with degradation processes


Gustavo Souza Valladares, Coordenação de Geografia, Universidade Federal do Piauí, Brasil, valladares@ufpi.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-4884-6588>

Agenor Francisco Rocha Júnior, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Piauí, Brasil, agenorrochabsbpi@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-3164-5058>

Cláudia Maria Sabóia de Aquino, Coordenação de Geografia, Universidade Federal do Piauí, Brasil, cmsaboia@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3350-7452>

Resumo: No Brasil foram definidos quatro núcleos de desertificação: Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (PB) e Cabrobó (PE). No núcleo de desertificação de Gilbués, localizado no sudoeste do estado do Piauí da região Nordeste do Brasil, os solos são degradados por erosão hídrica, processo que se inicia com erosão laminar e evolui até formar voçorocas. O clima da região é considerado tropical úmido, mas tem vários meses de déficit hídrico e ocorrência de chuvas torrenciais. A geologia é representada pelo Grupo Areado, correspondendo a pelitos e arenitos. O objetivo perseguido neste trabalho foi o de caracterizar e classificar os solos de áreas degradadas no núcleo de desertificação de Gilbués. Foi selecionada uma topossequência com seis perfis de solos representativos das principais paisagens no entorno das áreas degradadas no município de Gilbués. Foram realizadas análises morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas. Os solos foram classificados e calculado o fator K de erodibilidade. A degradação dos solos está diretamente relacionada ao material de origem, em que solos originários de pelitos se mostraram mais erodíveis e em maior grau de degradação. Os diversos atributos indicaram relação com a degradação dos solos, em que a relação silte/argila, a atividade da argila, os teores de bases, a mineralogia esmectítica e a matéria orgânica indicam os solos mais frágeis.

Palavras-chave: Pedologia; Toposequência; Fragilidade ambiental; Erosão.

Abstract: In the Brazil, four desertification nuclei were defined, Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (PB) and Cabrobó (PE). In the Gilbués desertification nucleus located in the southwest of Piauí state, in North Eastern of Brazil, the soils are degraded by hydric erosion, a process that begins with laminar erosion until forming gullies. The region's climate is considered humid tropical, but it has several months of water deficit and torrential rain. Geology is represented by the Areado Group, corresponding to pelites and sandstones. The objective of this work was to characterize and classify soils from degraded areas in the Gilbués desertification nucleus. A toposequence with six soil profiles representative of the main landscapes surrounding the degraded areas in the municipality of Gilbués was selected. Morphological, physical, chemical and mineralogical analyzes were performed. The soils were classified and the erodibility K factor was calculated. Soil degradation is directly related to the parent material, where soils originating from pelites were more erodible and had a higher degree of degradation. The different attributes indicated a relationship with soil degradation, in which the silt / clay ratio, clay activity, base contents, smectitic mineralogy and organic matter indicate the most fragile soils.

Keywords: Pedology; Toposequence; Environmental fragility, Erosion.

Introdução

A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo em 1972, impulsionou a I Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação (UNCD), em Nairóbi, em 1977, que conceituou desertificação como um fenômeno provocado pela degradação dos solos nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de diversos fatores como clima e atividades humanas. Este processo leva a muitas perdas para a humanidade e à degradação ambiental, sendo reconhecida internacionalmente como um problema mundial e que necessita de políticas de controle (Silva, 2019).

No nordeste brasileiro foram delimitados quatro núcleos de desertificação pelo Ministério do Meio Ambiente: Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (PB) e Cabrobó (PE) (Santana, 2007). No estado do Piauí está localizado o núcleo de Gilbués, sendo o de maior área contínua desertificada no país, atingindo direta ou indiretamente 15 municípios ao todo (Macambira, Monteiro, 2019). Em 2008 a área estimada de degradação era de aproximadamente 1.676 km², sendo que a área total dos municípios afetados é de 7.760 km² (Silva, 2008). O levantamento sobre a desertificação realizado no nordeste brasileiro indica fragmentação da vegetação nativa e alerta para a redução do bem-estar humano (Shulz *et al.*, 2017).

Os solos degradados em áreas susceptíveis à desertificação geralmente sofrem por déficit hídrico, salinidade/sodicidade, baixos teores de matéria orgânica, baixos teores de nitrogênio, baixa reserva de nutrientes, alta erodibilidade, pedregosidade e rochiosidade (Thomas, Middleton, 1993; Lal, 2001; Valladares *et al.*, 2017, Corti *et al.*, 2020). Vários atributos dos solos têm influência na erodibilidade, incluindo atributos físicos, químicos e mineralógicos (Almeida *et al.*, 2010; Wei *et al.*, 2019). É de fundamental importância o conhecimento dos processos pedogenéticos atuantes em áreas sujeitas a desertificação para melhor planejar o controle da degradação dos solos (Corti *et al.*, 2020).

A degradação dos solos do núcleo de desertificação de Gilbués se inicia com erosão laminar, que se intensifica para sulcos e posteriormente para ravinamento intenso, levando à perda das camadas superficiais do solo mais ricas em nutrientes e que têm maiores condições de sustentar a biodiversidade (Crepani, 2009). O processo ocorre devido à remoção da cobertura vegetal nativa, que passa de arbórea para herbácea, sendo intensificado por eventos de chuvas intensas na região (Crepani *et al.*, 2004; Crepani, 2009).

O conhecimento dos solos das terras degradadas no núcleo de desertificação de Gilbués é escasso. Existe um levantamento exploratório/reconhecimento realizado na escala 1:1.000.000 (Jacomine *et al.*, 1987) e um mapeamento realizado também em nível exploratório, porém na escala 1:250.000 (CREN, 2014). Nesses trabalhos os solos descritos como predominantes são Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Luvisolos crômicos e Neossolos lítólicos. O presente trabalho objetivou caracterizar e classificar os solos de áreas degradadas do núcleo de desertificação de Gilbués, estado do Piauí, no Nordeste brasileiro.

1. Material e Métodos

Os solos caracterizados foram coletados no município de Gilbués, PI (Figura 1). O município localiza-se no sudoeste do estado do Piauí, próximo às nascentes do Rio Parnaíba. A região apresenta clima de transição entre clima tropical subúmido e semiárido, caracterizado por chuvas mal distribuídas, com precipitação anual variando de 800 a 1200 mm (Macambira, Monteiro, 2019). O tipo climático é o tropical subúmido, segundo Andrade Júnior *et al.* (2004), utilizando a classificação de Thornthwaite e Mather (1955). A vegetação é de Cerrado *Sensu Stricto* (França *et al.*, 2017). Como principais feições geomorfológicas destacam-se chapadas, morros testemunhos e rampas longas (Sousa-Silva, 2014).

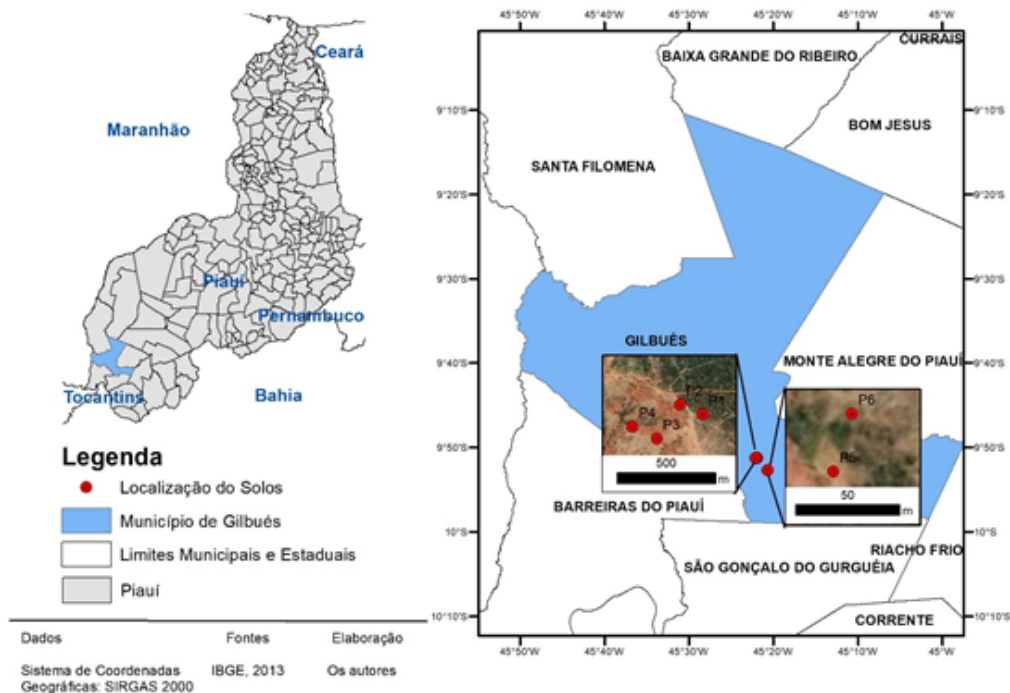


Figura 1: Localização dos solos estudados no município de Gilbués, PI.

A área de estudo está inserida na bacia sedimentar do Parnaíba, onde ocorrem rochas do Grupo Areado (Aguiar, Gomes, 2004; CPRM, 2006; Crepani, 2009), Formação Quiricó (Campos, Dardene, 1997; Crepani, 2009) com argilas expansíveis 2:1 (Sgarbi, 1991) e altos teores de matéria orgânica (Campos, Dardene, 1997) nas cotas inferiores e influência de arenitos e siltitos intemperizados nas camadas mais superiores das chapadas da Formação Três Barras (Sgarbi, 2000).

Foram coletadas 20 amostras de horizontes superficiais e subsuperficiais pertencentes a seis perfis de solos, distribuídos na área de estudo. O critério de amostragem foi a observação no campo de solos que ocorrem em diferentes posições na paisagem, localizados no topo da chapada (P1), na borda da chapada (P2), na encosta dissecada, nos terços médio e inferior (P3 e P4) com grau extremo de

denudação, e em área de colinas com forte denudação (P5 e P6), com diferentes graus de degradação e de pedogênese, representativos dos principais pedoambientes da área de estudo aqui estudados em topossequência/litossequência. Os solos foram coletados, descritos e caracterizados analiticamente em laboratório, seguindo as recomendações adotadas pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Santos *et al.*, 2005; Teixeira *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2018).

Na terra fina seca ao ar (TFSA) foram analisados os seguintes atributos: pH em água, pH em KCl 1N, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, acidez potencial (H⁺+Al³⁺), Al³⁺, Valor T (CTC do solo), Valor S (soma de bases), V% (saturação por bases), saturação por alumínio, carbono orgânico (C), P assimilável, areia fina, areia grossa, silte, argila, argila natural, grau de floculação e relação silte/argila (Teixeira *et al.*, 2017). Em amostras indeformadas foi analisada a densidade do solo para cada horizonte (Teixeira *et al.*, 2017).

O fator K é determinado pelos atributos do solo e está relacionado aos efeitos integrados de chuva, escoamento e infiltração, sendo responsável pela perda de solo durante eventos de chuvas intensas (Renard *et al.*, 1997). Foi calculado através da equação experimental (Equação 1) (Wischmeier, Smith, 1978).

$$K = 2,1 \times 10^{-6} \times M,14 \times (12-OM) + 0,035 \times (P-2) + 0,025 \times (S-3) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: M = (%silte + %areia fina)(100-%argila); OM= % de matéria orgânica; P= classe de permeabilidade; S = classe de estrutura.

As análises de difração de raios-X (DRX) foram realizadas no Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados (LIMAV), na Universidade Federal do Piauí. As amostras foram separadas por fração em pó. As análises foram realizadas através do equipamento SHIMADZU XRD-6000 com radiação Cu-K α , com os parâmetros de análise de varredura de 3-75°, voltagem padrão de 40KV/ 30mA e o passo de 1°/ min. Foram separadas as frações areia, silte e argila dos solos conforme Teixeira *et al.* (2017).

Foram efetuadas análises de correlação de Pearson. Os coeficientes de correlação tiveram sua significância testada pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

2. Resultados e Discussão

A topossequência tem 3763m de extensão, um desnível de 112m e caracteriza-se por representar uma chapada contornada por uma encosta dissecada, seguida por sua vez por um setor rebaixado constituindo o fundo de vale local. Os perfis de solos amostrados na topossequência e suas características ambientais são apresentados nas Figuras 2 e 3, e na Tabela I. Tais solos representam sistemas pedogenéticos representativos de diferentes pedoambientes e riscos de degradação por erosão no núcleo de desertificação de Gilbués.

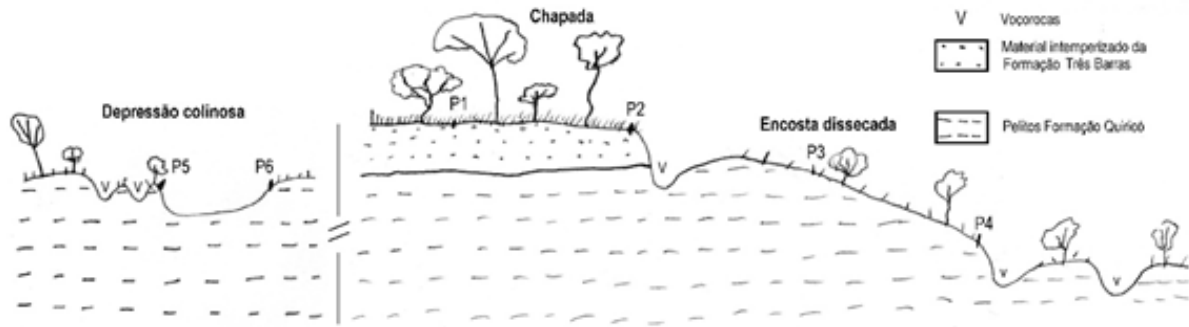


Figura 2: Croqui da topossequência/litosequência representativa dos perfis de solos estudados em Gilbués, com corte geológico esquemático.

Tabela I: Localização e características dos pedoambientes.

Perfil	Localização/ ambiente	Rochosidade/ pedregosidade	Formação geológica	Erosão
P1- PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abrupto	459958 W, 8910764 S, 436 m. Topo de chapada em relevo plano, com cobertura de cerrado senso strito.	Não rochoso e não pedregoso.	Produto do intemperismo de Arenitos da Formação Três Barras.	Não aparente.
P2-CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico plintossólico	459843 W, 8910815 S, 435m. Borda de chapada em barranco de voçoroca, com relevo plano, com cobertura de campo cerrado ou solo exposto (decaptado pela erosão).	Não rochoso e não pedregoso.	Produto do intemperismo de Arenitos e Siltitos da Formação Três Barras.	Laminar moderada a forte e voçorocas na adjacência.
P3-NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário	459724 W, 8910641 S, 430 m. Terço superior de vertente em relevo suave ondulado com cobertura vegetal herbácea e solo exposto.	Não rochoso e ligeiramente pedregoso.	Folhelhos da Formação Quiricó.	Laminar forte.
P4- NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário	459599 W, 8910701 S, 424 m. Terço inferior de vertente em barranco de voçoroca relevo suave ondulado com cobertura vegetal herbácea e solo exposto.	Não rochoso e ligeiramente pedregoso	Folhelhos da Formação Quiricó.	Laminar forte e voçorocas.
P5- PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico vertissólico	462261 W, 8908049 S, 430 m. Terço médio de colina em relevo suave ondulado e cobertura de campo cerrado ou solo exposto (decaptado pela erosão).	Não rochoso e não pedregoso.	Folhelhos da Formação Quiricó.	Laminar forte e voçorocas.
P6- LUVISSOLO CRÔMICO Pálico vertissólico	462270 W, 8908077 S, 430 m. Terço médio de colina em relevo suave ondulado e cobertura de campo cerrado ou solo exposto (decaptado pela erosão).	Não rochoso e não pedregoso.	Folhelhos da Formação Quiricó.	Laminar forte e voçorocas..

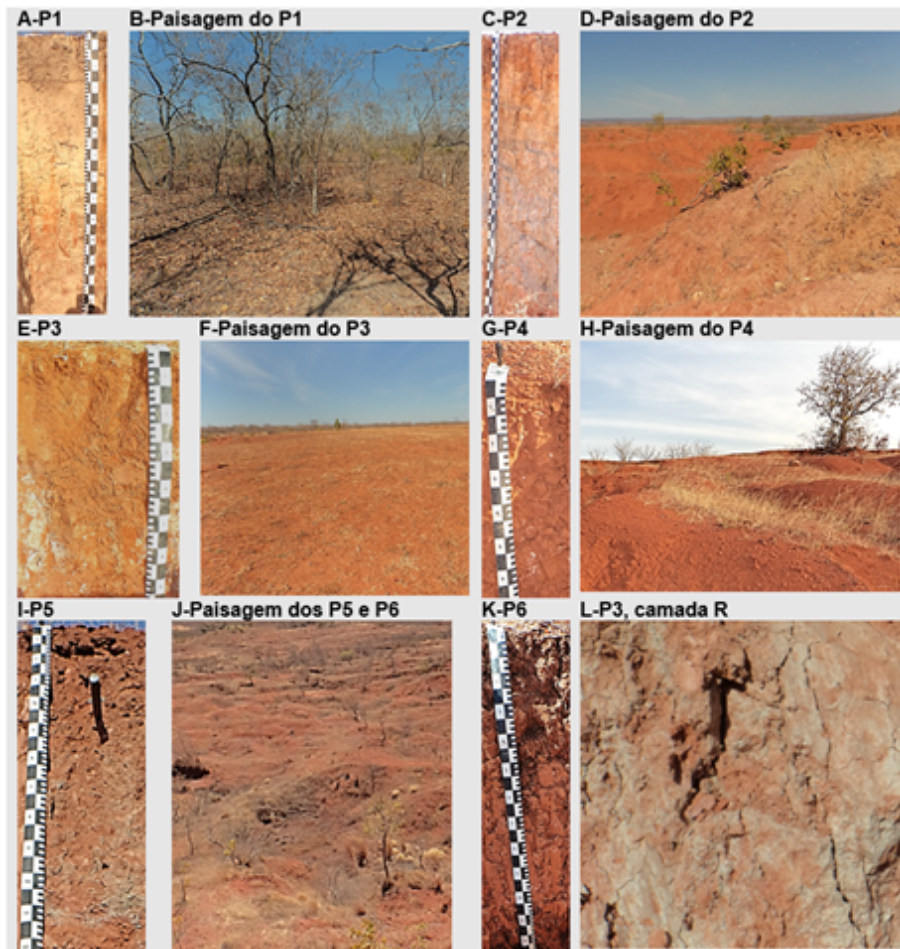


Figura 3: Imagens dos perfis de solos estudados e suas respectivas paisagens (A a K); folhelho do Grupo Areado, Formação Quiricó, com fendilhamento característico de argilas expansíveis 2:1, imagem da camada R do perfil P3 (L).

Dos seis perfis caracterizados dois são Plintossolos, um Cambissolo, um Luvisso e outros dois Neossolos Litólicos (Tabela I e Figura 2). O perfil P1 foi coletado no topo da chapada, com vegetação de Cerrado preservada, presença de serapilheira e erosão não aparente, portanto com menor nível de degradação entre os perfis amostrados. O perfil P2, localizado na borda da chapada, marginando uma voçoroca com cobertura vegetal de Cerrado mais ralo do que o P1, apresenta erosão laminar forte no ponto da coleta, apesar do relevo local plano, mas, ao lado, o pedon foi completamente degradado devido ao solapamento das águas durante as chuvas intensas que drenam a encosta pela voçoroca, apresentando, portanto, alto risco de degradação. Vale destacar que os dois perfis citados, P1 e P2, são originários de arenitos da Formação Três Barras. O P3, localizado no terço médio da encosta dissecada com relevo suave ondulado, representa solo raso e incipiente, desenvolvido de saprolitos de folhelhos da Formação Quiricó, onde a cobertura superficial de material da Formação Três Barras já foi totalmente removida. O solo encontra-se em frágil equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese, com alto grau de degradação e cobertura vegetal muito rala ou ausente. O P4 é o mais raso e incipiente de todos, composto por fina camada de solo, sobreposta a rocha friável e pouco coerente de

folhelho e, como está posicionado na borda da voçoroca, apresenta altíssimo grau de degradação (Tabela I e Figura 2). Os perfis P5 e P6 também são originários de pelitos da Formação Quiricó e, apesar de muito frágeis e degradados, em ambiente de forte erosão contendo ravinas e voçorocas, são mais espessos e geneticamente mais desenvolvidos que os P3 e P4.

Os perfis P3 e P4, mais degradados e erodidos, também são os mais incipientes, com menor densidade de cobertura vegetal e com relevo mais frágil, devido à maior declividade e dissecação. Como fragilidade litológica apresentam os folhelhos (Figura 3L) com mineralogia 2:1 expansível (Sgarbi, 1991) e a consistência muito friável. Todos os perfis tem predomínio de argila de alta atividade e alta relação silte/argila na maior parte do perfil de solo, indicadores do baixo grau de intemperismo dos solos (Santos *et al.*, 2018) e de fragilidade (Tricart, 1977; Clemente *et al.*, 2009; Ferreira *et al.*, 2011). O conjunto desses fatores explica o alto grau de degradação dos solos no núcleo de desertificação de Gilbués.

Os atributos morfológicos dos solos estudados (Tabela II) mantêm estreita relação com os seus respectivos materiais de origem. Os perfis P1 e P2 são originários dos produtos da decomposição de arenitos da Formação Três Barras e apresentam cores de matizes amarelados, ou seja, 7,5 YR ou mais amarelos. E os perfis P3, P4, P5 e P6 são mais avermelhados com matizes 2,5 YR ou 5 YR, matizes essas semelhantes às do material de origem.

Os teores de areia variaram de 118 a 735 g kg⁻¹, os de silte de 155 a 704 g kg⁻¹ e os de argila de 40 a 384 g kg⁻¹ (Tabela II). Os solos, em sua maioria, apresentaram textura média, com apenas um único horizonte argiloso. As classes de textura foram franco-arenosa, franco-argiloarenosa, franca, franco-siltosa, siltosa e argiloarenosa.

Os resultados indicam que a degradação dos solos não se deve à textura arenosa, como em outros locais com solos degradados, onde o processo de degradação é conhecido por arenização (Suertegaray, 1987; Suertegaray *et al.*, 2005; Gass *et al.*, 2019), em que estes mesmos autores se referem a esses solos como areais. A arenização é definida como:

o retrabalhamento de depósitos arenosos pouco ou nada consolidados e que promove, nessas áreas, uma dificuldade de fixação de vegetação devido à constante mobilidade dos sedimentos. (Suertegaray, 1987).

Sousa-Silva (2013, 2016, 2017) classifica o processo de degradação dos solos de Gilbués como arenização, ou formação de areais, porém, essa classificação é contraditória com o conceito de arenização, pois o mesmo está associado a material de textura arenosa, o que não é observado nos solos característicos de Gilbués, como exposto. Os resultados ora apresentados são corroborados pelos outros trabalhos sobre solos de Gilbués, que indicaram textura média ou argilosa para os mesmos (Velooso *et al.*, 2011; Branco *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2013). Portanto, a degradação dos solos de Gilbués não resulta de processo de arenização.

Tabela II: Atributos morfológicos e físicos dos solos de Gilbués, PI.

Hor.	Prof. cm	Areia		Silte	Argila	Silte/ Argila	Classe textural	Estrutura	Cor úmida (Munsell)
		Grossa	Fina						
g kg ⁻¹									
Perfil 1 – PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abrupto									
A	0-24	292	442	165	102	1.62	Franco-arenosa	Blocos subangulares, moderada, pequena e média	10YR 2/2
E	24-75	434	301	160	105	1.52	Franco-arenosa	Blocos angulares, fraca, grande	10YR 5/4
Btf	75-130	253	217	230	300	0.77	Franco argilo-arenosa	Prismática, moderada, grande	10YR 5/3 e 2,5YR 3/6
Perfil 2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico plintossólico									
A	0-12	313	196	170	321	0.53	Franco argilo-arenosa	Blocos angulares, moderada, pequena e média	7,5YR 3/3
Bi1	12-30	279	183	155	384	0.40	Argiloarenosa	Prismática, moderada, média e grande	7,5YR 4/6
Bi2	30-46	283	173	204	339	0.60	Franco argilo-arenosa	Prismática, moderada, média e grande	7,5YR 5/6
Bic	46-85	300	154	241	304	0.79	Franco argilo-arenosa	Prismática, moderada, média	7,5YR 5/6, mosqueado (7,5 YR 3/4)
Bf	85-135	263	173	507	57	8.89	Franco-siltosa	Prismática, forte, grande	5Y 7/2, mosqueado (7,5 YR 3/6)
Cf1	135-197	282	212	419	103	4.82	Franca	Maciça	5Y 7/2, mosqueado (7,5 YR 3/6)
Cf2	197-230	223	239	487	70	9.50	Franca	Maciça	Variegado 5Y 5/1, 2,5YR 4/6, 10YR 5/1
Perfil 3 – NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário									
A	0-3	249	133	555	63	8.80	Franco-siltosa	Prismática, fraca, muito pequena	2,5YR 3/4
Cr	3-45	137	417	397	49	8.06	Franco-arenosa	Grãos simples	2,5YR 5/4
R	45+								
Perfil 4 – NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário									
A	0-2	254	276	247	223	1.11	Franco argilo-arenosa	Grãos simples	2,5YR 3/4
R	2-60+								
Perfil 5 – PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico vertissólico									
A	0-13	150	330	446	74	6.01	Franca	Prismática, forte, muito pequena	5YR 4/6
CA	13-40	178	257	526	40	13.22	Franco-siltosa	Maciça	5YR 4/6, mosqueado (5Y 7/1 e 2,5YR 4/8)
Cf	40-110	130	128	693	49	14.27	Franco-siltosa	Maciça	5YR 4/6, mosqueado (5Y 7/1 e 2,5YR 4/8)
Perfil 6 – LUVISSOLO CRÔMICO Pálico vertissólico									
A	0-15	88	30	704	178	3.95	Franco-siltosa	Prismática, moderada, média e grande	5YR 3/4
Bt1	15-45	87	33	677	203	3.34	Franco-siltosa	Prismática, moderada, média e grande	5YR 3/4
Bt2	45-80	129	124	484	263	1.84	Franca	Prismática, moderada, média e grande	5YR 3/4
Bt3	80-150	120	147	536	197	2.72	Franco-siltosa	Prismática, forte, média e grande	5YR 4/4

O perfil P1 (Figura 3 A e B, Tabela II) foi classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico abrupto, A moderado, apresentando sequência de horizontes A, E e Btf. O perfil apresenta textura média, porém o gradiente textural é de 2,9, muito alto e associada à transição clara do horizonte E para o Btf confere ao solo mudança textural abrupta, propriedade que associada à drenagem imperfeita, representada por cores variegadas compostas também por cores de redução com croma igual a 3 e matiz 10YR (Santos *et al.*, 2018), representam solos com susceptibilidade à erosão significativa. Por outro lado, a estrutura do horizonte superficial é moderada e o mesmo tem espessura de 24 cm. A morfologia do perfil indica que os principais processos de formação do solo são argiluviação, plintitização e elutriação (Ker *et al.*, 2015). Argiluviação e elutriação indicados pela presença de horizonte E e elevado gradiente textural, com mudança textural abrupta. Plintitização pelas cores variegadas e presença de plintita, associadas a restrições de drenagem do perfil (IBGE, 2007). Azevedo e Bueno (2016), estudando o potencial agrícola de solos do Maranhão, alertaram para o risco de saturação por água no período chuvoso nos plintossolos argilúvicos, o que pode favorecer o escoamento superficial e causar erosão dos solos a jusante. A formação de plintita ocorre em clima tropical em ciclos de umedecimento e secagem (Eze *et al.*, 2014). A Figura 4 apresenta a perspectiva de visada do perfil P3 para a borda da chapada e onde se localizam os perfis P1 e P2 é perceptível que as águas pluviais que escoam da chapada provocam o voçorocamento das encostas a jusante. A Figura 3D apresenta a perspectiva da borda da chapada para a encosta com forte erosão.

O perfil P2 (Figura 3 C e D, Tabela II), classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico plintossólico, A moderado com estrutura de grau moderado, tem sequência de horizontes A, Bi, Bf e Cf. Para ser Plintossolo, o horizonte com plintita deveria ocorrer até 40 cm de profundidade, o que ocorreu apenas a 46 cm (Santos *et al.*, 2018), evidenciando que, por um critério estritamente taxonômico, o solo não se enquadrava na ordem dos Plintossolos, mas tem propriedades representativas da ordem. No quarto nível categórico os autores estão sugerindo a inclusão do plintossólico para os Ta Eutróficos, visto que em Santos *et al.* (2018) também está previsto para os Tb Eutróficos. O solo tem textura média, com exceção do horizonte Bi1 que tem textura argilosa. As cores têm croma elevado até 85 cm de profundidade, mas, dessa profundidade até 230 cm, as cores tornam-se cromadas ou variegadas, caracterizando a presença de plintita e horizonte plíntico, tornando o perfil imperfeitamente drenado, como o perfil P1. No horizonte Bic (46 a 85 cm de profundidade) ocorrem petroplintitas na fração cascalho, em volume inferior a 15%, não indicando ser horizonte plíntico típico (Santos *et al.*, 2018).

A petroplintita forma-se em solos tropicais devido a sucessivos ciclos de umedecimento e secagem (Eze *et al.*, 2014). Estes autores afirmam ainda que a plintitização pode ter ocorrido em situação de relevo rebaixado na paisagem onde sua presença pode gerar maior estabilidade e, subsequentemente, o processo de inversão do relevo. A estrutura prismática moderada e grande no horizonte B diagnóstico incipiente, seguida da presença de horizonte plíntico, limita a infiltração da água e

favorece o escoamento superficial no período chuvoso (runoff), causando os processos erosivos intensos nas adjacências, como relatado para o perfil P1.

Os perfis P3 e P4 (Figura 3 E, F, G e H, Tabela II) foram classificados como Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário, A fraco, com estrutura pouco desenvolvida, textura média cascalhenta. Os horizontes superficiais em ambos os perfis têm menos de 5 cm de espessura devido à decapitação dos solos e apresentam contato lítico fragmentário a menos de 50 cm de profundidade. O perfil P3 tem sequência de horizontes A, Cr e R, e o P4 A e R. É evidente que as taxas de denudação são mais aceleradas que as de pedogênese.

Alguns autores relacionam material de origem de pelitos ou altos teores de silte com a erodibilidade dos solos (Almeida, Resende, 1985; Clemente *et al.*, 2009; Valladares *et al.*, 2017), o que é verificado principalmente nos P3 e P4. Apresentam cores avermelhadas herdadas do material de origem (Figura 4). Na região do Parque Nacional da Serra da Capivara (PI), foram verificados solos tão degradados quanto os observados em Gilbués, originários de siltitos avermelhados da Formação Pimenteiras (Valladares *et al.*, 2017).



Figura 4: Visada do perfil P3 para a chapada onde se localizam os perfis P1 e P2. Contraste entre a área preservada ao fundo e a área degradada em primeiro plano.

O perfil P5 (Figura I A e J, Tabela II) foi classificado como Plintossolo Háplico Eutrófico vertissólico, A moderado, textura média, estrutura prismática e forte no A de apenas 13 cm de espessura e maciça no C. O horizonte diagnóstico subsuperficial é plíntico, caracterizando a ordem e tem baixo gradiente textural. Apresenta alta saturação por bases, caracterizando-se como eutrófico e apresenta slikensides em grau moderado, caracterizando caráter vértico (Santos *et al.*, 2018), que indica presença de argilas

expansíveis 2:1. A drenagem imperfeita e os demais atributos morfológicos indicam forte susceptibilidade à erosão hídrica e maior grau de desenvolvimento pedogenético que os P3 e P4 originários do mesmo folhelho. Os processos pedogenéticos mais marcantes são plintitização e vertização (Ker *et al.*, 2015).

O perfil P6 (Figura 3 K e J, Tabela II), classificado como Luvisso solo crômico pálico vertissólico, A moderado, textura média do perfil, mas o horizonte superficial é siltoso, apresenta horizonte subsuperficial com cerosidade moderada, indicando o processo de argiluviação (Ker *et al.*, 2015) e horizonte do tipo B textural, eutrófico e com argila de alta atividade. Apresenta fendilhamento no perfil, caracterizando caráter vértico (Santos *et al.*, 2018), indicativo da presença de argilas expansíveis 2:1. A drenagem é moderada e o grau de pedogênese é maior que os perfis P3 e P4.

Quanto aos atributos químicos (Tabela III), quase todos os horizontes dos perfis são eutróficos, com exceção do horizonte diagnóstico subsuperficial do P1, o B_{tf}, que é distrófico e conferiu essa característica na classificação do solo. Porém, os seus primeiros 75 cm têm alta saturação por bases. A eutrofia pode ser associada ao prolongado déficit hídrico da região, cujo clima transiciona para semiárido. Os teores de bases mostram-se de moderados a altos, mas os teores de sódio são baixos, com boa disponibilidade de nutrientes aos vegetais (Rajj *et al.*, 1997). Os teores de fósforo assimilável são baixos nos perfis P1 e P2 originários da Formação Três Barras e elevados nos demais solos originários dos pelitos da Formação Quiricó. Altos teores de fósforo assimilável nos solos de Gilbués associam-se à herança do material de origem, como já reportados (Velooso *et al.*, 2011). A origem dos fosfatos e seus elevados teores em rochas do Grupo Areado se deve a atividades sísmicas e do contato íntimo com rochas ricas em fosfatos do Grupo Mata da Corda (Melo, 2012).

Os solos estudados, de forma geral, apresentaram pH em água entre 4,3 a 7,8, sendo que somente uma amostra teve pH inferior a 5,0. Portanto, a maioria se classifica entre moderadamente ácido a moderadamente alcalino, valores considerados adequados ao desenvolvimento vegetal. Os valores de pH em água apresentaram correlação positiva e significativa com os atributos pH em KCl ($r=0,93$), pH em CaCl_2 ($r=0,98$), Ca^{2+} ($r=0,88$), saturação por bases ($r=0,91$), valor T ($r=0,88$), valor S ($r=0,91$), P ($r=0,78$) e silte ($r=0,76$) (Tabela IV). A correlação foi negativa com os atributos acidez potencial ($r=-0,82$) e Al^{3+} ($r=-0,67$). Resultados semelhantes foram observados em solos frágeis no estado do Piauí (Valladares *et al.*, 2017).

A correlação positiva dos valores de pH com os teores de Ca^{2+} , soma de bases e saturação por bases deve-se à maior proporção de cátions básicos ocupando os sítios de troca dos solos em comparação aos cátions geradores da acidez do solo como H^+ e Al^{3+} . Segundo a literatura, os teores de Al^{3+} em solos com pH superiores a 5,5 tendem a zero (Nachtigall, Vahl, 1989; Pereira *et al.*, 1998). Os resultados encontrados vão ao encontro dos relatos da literatura uma vez que as únicas três amostras que apresentaram teores de Al^{3+} , superiores a $0,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, tem pH em água inferiores a 5,5 (Valladares, 2009).

Tabela III: Atributos químicos dos solos de Gilbués, PI.

Amostra	pH água	pH KCl	pH CaCl ₂	P	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	SB	T	V	C
				mg kg ⁻¹				cmol _c kg ⁻¹				%		g kg ⁻¹
P1A	6,1	5,6	5,4	2	0,02	0,24	3,2	1,2	0,0	1,6	4,7	6,3	74	14
P1E	5,2	4,8	4,5	2	0,01	0,21	2,3	1,8	0,3	1,9	4,3	6,2	69	8
P1Btf	4,3	3,8	3,8	3	0,03	0,12	1,8	0,8	1,8	7,2	2,7	9,9	28	5
P2A	5,7	5,2	5,0	3	0,03	0,34	4,7	2,0	0,0	2,4	7,1	9,5	75	12
P2Bi1	5,0	4,7	4,3	2	0,04	0,23	4,2	1,8	0,6	3,3	6,3	9,6	66	8
P2Bi2	5,2	4,3	4,5	1	0,03	0,20	3,5	1,7	0,3	2,8	5,4	8,2	66	6
P2Bic	5,7	4,9	4,9	1	0,04	0,29	4,0	2,1	0,0	2,1	6,4	8,5	75	5
P2Bf	6,1	5,6	5,3	2	0,07	0,42	5,5	2,4	0,0	1,6	8,4	10,0	84	3
P2Cf1	6,3	5,9	5,5	1	0,07	0,47	6,7	2,6	0,0	1,5	9,8	11,3	87	2
P2Cf2	6,4	5,9	5,6	1	0,13	0,59	19,0	6,5	0,0	1,3	26,2	27,5	95	2
P3A	7,4	6,8	6,6	61	0,03	0,48	31,0	2,7	0,0	0,9	33,7	34,6	97	13
P3Cr	7,5	7,2	6,7	2	0,02	0,15	29,5	2,5	0,0	0,8	32,2	33,0	98	10
P4A	7,5	7,1	6,7	60	0,03	0,34	28,5	1,4	0,0	0,8	30,3	31,1	97	7
P5A	7,4	7,2	6,7	44	0,11	0,56	26,0	7,5	0,0	1,0	34,1	35,2	97	10
P5CA	6,7	7,3	6,9	72	0,35	0,59	24,5	9,5	0,0	0,9	34,6	35,8	97	9
P5Cf	7,6	7,2	6,8	67	0,23	0,51	27,0	8,5	0,0	0,9	36,0	37,1	98	3
P6A	7,8	6,3	7,0	69	0,07	0,49	26,0	10,0	0,0	0,8	36,5	37,4	98	4
P6Bt1	7,7	6,5	7,0	70	0,91	0,63	17,0	11,0	0,0	0,8	28,6	30,3	97	4
P6Bt2	7,7	6,8	7,0	67	0,56	0,61	19,5	12,0	0,0	0,8	32,1	33,5	98	3
P6Bt3	7,3	7,0	6,6	49	0,07	0,59	25,0	8,5	0,0	1,0	34,1	35,2	97	2

Em relação aos teores de K⁺, os valores variaram de 0,12 a 0,59 cmol_c kg⁻¹, considerados de moderados a altos para a maioria dos solos (Raij et al., 1997). Os teores de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ apresentam correlação positiva e significativa a 5 % com entre si (Tabela IV), indicando que essas bases trocáveis mais concentradas no solo estão apresentando comportamentos semelhantes.

O teor de Ca²⁺ nos solos originários do Formação Três Barras é moderado e nos originários da Formação Quiricó é alto (Raij et al., 1997). Os altos teores dos perfis P3, P4, P5 e P6 são comparáveis a teores de Ca²⁺ de solos originários de materiais calcários (Valladares et al., 2017).

O Valor T ou CTC do solo apresentou grande variação, com valores entre 6,2 a 37,4 cmol_c kg⁻¹. Sua variação depende do material de origem, sendo que os perfis originários da Formação Quiricó apresentaram Valor T maior em comparação aos solos originários de sedimentos da Formação Três Barras, com exceção do último horizonte do P2, a cerca de 2 m de profundidade, o que talvez tenha alguma influência do contato lítico, pois tem alto Valor T. Esse atributo apresentou correlação positiva com os teores de silte (r=0,78) e não tem correlação com teores de argila ou matéria orgânica, o que é comum nos solos (Valladares et al., 2017). Também foi positiva e elevada a correlação com os teores de fósforo assimilável, Ca²⁺ e valores de pH (Tabela IV). Todos os perfis tiveram CTC da fração argila elevada, caracterizando Ta

(Santos *et al.*, 2018), o que indica mineralogia 2:1 e baixo grau de intemperismo dos solos.

Tabela IV: Matriz de correlações entre os atributos dos solos estudados.

	p _{hh}	p _{hk}	p _{hc}	p	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H+Al	S	T	V	af	ag	s	g	C	fK
p _{hh}	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
p _{hk}	0,93	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
p _{hc}	0,98	0,95	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
p	0,78	0,73	0,84	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca ²⁺	0,88	0,90	0,89	0,75	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg ²⁺	0,68	0,61	0,74	0,77	0,55	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ⁺	0,68	0,67	0,72	0,69	0,55	0,84	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na ⁺	0,44	0,35	0,49	0,57	0,21	0,73	0,60	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ³⁺	-0,67	-0,64	-0,63	-0,32	-0,44	-0,36	-0,54	-0,19	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H+Al	-0,82	-0,80	-0,80	-0,51	-0,64	-0,50	-0,62	-0,30	0,95	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	0,91	0,91	0,93	0,83	0,97	0,74	0,69	0,38	-0,46	-0,66	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
T	0,88	0,88	0,91	0,84	0,96	0,74	0,68	0,39	-0,38	-0,60	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	-
V	0,91	0,90	0,90	0,63	0,79	0,62	0,74	0,36	-0,86	-0,96	0,83	0,78	1,00	-	-	-	-	-	-
af	-0,77	-0,68	-0,79	-0,70	-0,71	-0,81	-0,61	-0,55	0,24	0,40	-0,81	-0,83	-0,59	1,00	-	-	-	-	-
ag	-0,20	0,03	-0,17	-0,46	-0,09	-0,48	-0,46	-0,44	0,02	0,04	-0,21	-0,23	-0,13	0,36	1,00	-	-	-	-
s	0,76	0,67	0,77	0,71	0,68	0,79	0,79	0,52	-0,39	-0,54	0,78	0,78	0,69	-0,80	-0,53	1,00	-	-	-
f	-0,47	-0,60	-0,49	-0,22	-0,49	-0,21	-0,36	-0,01	0,43	0,54	-0,46	-0,42	-0,55	0,20	-0,34	-0,51	1,00	-	-
C	-0,10	0,01	-0,06	-0,11	0,01	-0,41	-0,39	-0,30	-0,05	0,00	-0,12	-0,13	-0,10	0,32	0,56	-0,43	-0,09	1,00	-
fK	0,59	0,53	0,60	0,59	0,52	0,69	0,76	0,45	-0,34	-0,46	0,62	0,62	0,59	-0,60	-0,57	0,94	-0,53	-0,58	1,00

p_{hh}- pH em água; p_{hk}- pH em KCl; p_{hc}- pH em CaCl₂; af- areia fina; ag-areia grossa; s- silte; g- argila; fK- fator K de erodibilidade da equação universal de perda de solo. Valores superiores a 0,44 são significativos a 5% de probabilidade.

Os teores de carbono orgânico nos solos estudados decrescem em profundidade em todos os perfis, com valores variando de baixos a moderados, o que é de se esperar para o ambiente de ocorrência dos solos e o seu grau de degradação (Veloso *et al.*, 2011; Branco *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2013; Melo *et al.*, 2016). Sousa *et al.* (2012) observaram aumento dos teores de carbono orgânico em solos em processos de desertificação no semiárido brasileiro com a prática do pousio. Os solos de Gilbués foram submetidos a pastoreio por longo tempo (Macambira, Monteiro, 2019), o que justifica os teores de carbono orgânico observados. Destaca-se que outros autores descreveram teores significativos de material orgânico nos pelitos que deram origem aos solos estudados (Campos, Dardene, 1997; Melo, 2012).

O índice de erodibilidade K dos solos, calculado para os horizontes superficiais dos perfis P1 a P6, foram, respectivamente, 0,020, 0,021, 0,045, 0,030, 0,059 e 0,053 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. Os perfis P1 e P2 são considerados como tendo erodibilidade moderada e os demais muito forte (Bouguerra *et al.*, 2017) o que é coerente com os

atributos dos solos apresentados e discutidos e com o grau de degradação observado em campo.

As análises DRX das amostras indicaram diferenciação da mineralogia dos solos, havendo predomínio de quartzo com alto grau de cristalinidade na fração silte. Os perfis P1 e P2, originários da Formação Três Barras, apresentaram quartzo, exceto no horizonte Cf2 do P2, que apresentou alguns picos característicos de illita e traços de argilas 2:1 (Figura 5). Os demais perfis, originários da Formação Quiricó, tiveram sua fração silte também predominantemente formada por quartzo e, em menor quantidade, illita e traços de argila 2:1, sendo que o perfil P4, o menos intemperizado de todos também evidenciou picos de feldspatos (Figura 5). Nos perfis P5 e P6 os picos de illita em profundidade são menos pronunciados, sugerindo maior intemperismo do mineral.

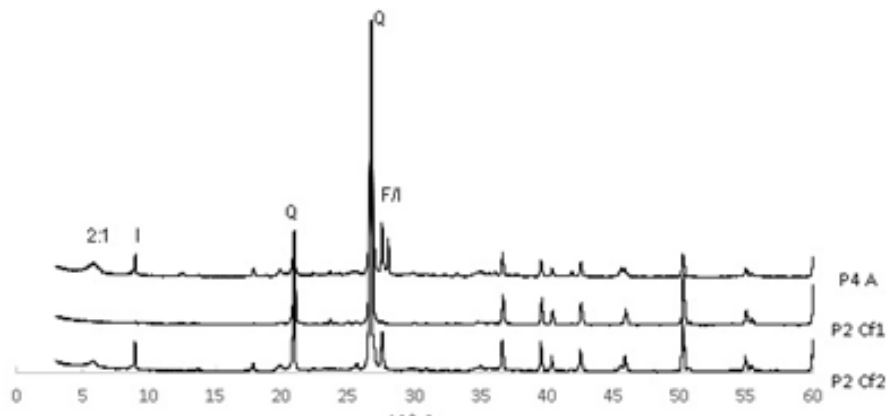


Figura 5: Mineralogia da fração silte de amostras dos solos de Gilbués, PI. 2:1- mineral da argila 2:1; I- Illita; Q- Quartzo; F- Feldspato.

A mineralogia do silte indica que o mais alto grau de intemperismo dos perfis P1 e P2 são suficientes para transformar toda a illita e feldspatos da fração silte, porém os solos menos intemperizados originários de pelitos da Formação Quiricó ainda preservam illita e podem preservar até feldspato na sua composição. A transformação da illita e feldspato deve-se à hidrólise devido à posição mais elevada na paisagem (Cunha *et al.*, 2014).

A mineralogia da fração argila dos solos estudados refletiu os atributos morfológicos observados, como caráter vértico, e os altos valores de T ou CTC da fração argila. Em todos os solos foram observados minerais 2:1 expansíveis e não expansíveis (Figura 6). A illita está presente em todas as amostras com picos mais ou menos pronunciados, como os verificados em materiais do Grupo Areado que corroboram o observado (Almeida *et al.*, 2010). A morfologia demonstrando fendilhamento e slikensides nos solos originários de pelitos da Formação Quiricó indicam a presença de esmectita como já assinalada em outros trabalhos (Sgarbi, 1991; Baltar, Luz, 2003). Almeida *et al.* (2010) verificaram, na fração argila, traços de clorita e de interstratificados de clorita/esmectita e de illita/esmectita. Nos solos originários da

formação Três Barras, os picos de minerais 2:1 expansíveis são menos pronunciados, indicando que pode haver a presença de algum mineral interestratificado com esmectita, como clorita/esmetita (Almeida *et al.*, 2010) ou esmectita com hidróxi-Al entrecamadas, que foram observados em solos de climas mais quentes no Brasil (Cunha *et al.*, 2014).

Segundo Omdi *et al.* (2018) teores elevados de esmectita em solos de sedimentos no semiárido indicam riqueza do mineral no material de origem. E o seu intemperismo resulta na formação de caulinita. O difratograma do P2 Cf2 revelou certas particularidades, pois apresentou caulinita como nos demais horizontes dos perfis P1 e P2 e uma forte expressão do pico de esmectita, semelhante aos solos originários de pelitos da Formação Quiricó (Figura 6), o que evidencia que esse horizonte pode ter influência de materiais das duas Formações.

A caulinita foi observada com picos mais pronunciados nos perfis P1 e P2, originários de sedimentos da Formação Três Barras, provavelmente produto do intemperismo de minerais 2:1 (Omdi *et al.*, 2018). Nos demais solos somente traços do mineral foram observados (Figura 6). O quartzo foi observado na fração argila de todos os solos estudados, o que indica o baixo grau de intemperismo dos mesmos (Figura 6).

Nos solos estudados notou-se ainda predomínio de hematita dentre os óxidos de ferro, com traços de goethita, e todos evidenciaram traços de ferrihidrita, refletindo a drenagem imperfeita ou moderada dos perfis, caracterizando destruição de óxidos de ferro e formação de minerais menos cristalinos como a ferrihidrita (Figura 6), comum em solos de drenagem imperfeita e com formação de plintita (Eze *et al.*, 2014).

Bezerra e Cantalice (2006), trabalhando com solos com horizonte B textural em Pernambuco, observaram maior resistência à erosão em solos mais argilosos e com mineralogia caulínica e illítica. Silva *et al.* (2005) comparando Latossolo (muito intemperizado) com Cambissolo (pouco intemperizado), verificaram maior resistência à erosão nos Latossolos devido à mineralogia gibbsítica e caulínica, favorecendo a estruturação, a porosidade, a infiltração/percolação e reduzindo, assim, o escoamento superficial. Resultados semelhantes foram observados por Demattê e Focht (1999) e Pereira *et al.* (2012). Tais resultados ajudam a explicar a maior resistência à erosão dos perfis P1 e P2, que contêm caulinita na sua mineralogia.

Solos caulínicos e illíticos, que não contêm esmectita, são estáveis e menos suscetíveis à formação de selagem superficial. Já solos que contêm caulinita e illita associados à esmectita ou puramente esmectíticos são instáveis (Lado, Ben-Hur, 2004). Portanto, a maior susceptibilidade à erosão dos solos originários de pelitos da Formação Quiricó deve-se à sua mineralogia, por se enquadrarem perfeitamente no grupo de solos mais erodíveis e com presença marcante de esmectita e a carência de caulinita (Rocha *et al.*, 2002).

Os resultados obtidos sugerem tratar-se de uma litossequência (Ruellan, Dosso, 1993), dada a evidente filiação aos substratos geológicos marcada pela litod dependência mineralógica e pelos baixos intemperismo e pedogênese. E a

distribuição dos solos em pedoambientes bem definidos sugere que a erosão esculpiu o relevo e que os solos evoluíram depois ou, no máximo, penecontemporaneamente.

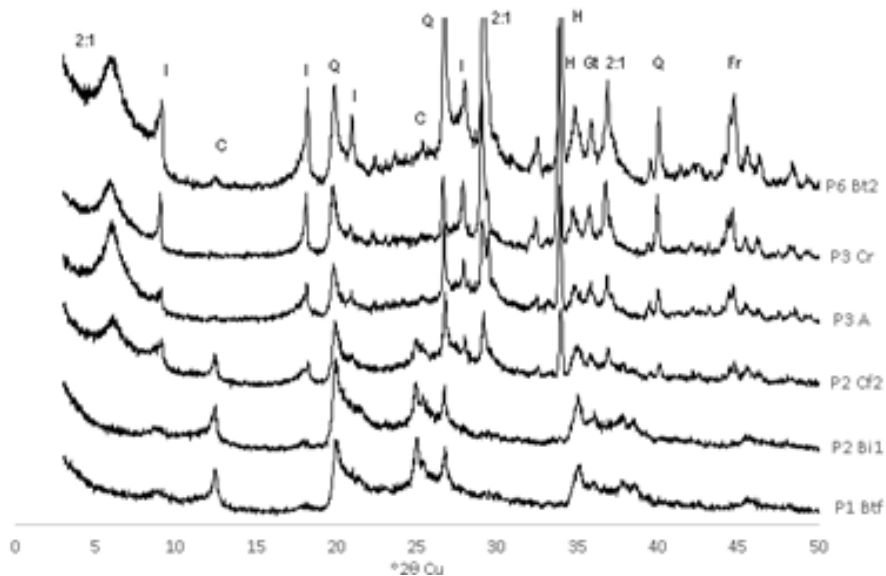


Figura 6: Mineralogia da fração argila de amostras dos solos de Gilbués, PI. 2:1- mineral da argila 2:1; I- Illita; Q- Quartzó; H- Hematita; C- caulinita; Gt- Goethita; Fr- Ferrihidrita.

Conclusões

As rochas pelíticas do Grupo Areado e Formação Quiricó são friáveis e tem mineralogia da argila esmectítica característica, o que torna o substrato instável e fortemente susceptível à erosão.

A distribuição dos solos em pedoambientes bem definidos sugere processos de esculpturação do relevo anteriores ou penecontemporâneos à evolução dos solos atuais, o que sugere relações pedogênese x morfogênese a necessitar de serem melhor investigadas.

A morfologia e a mineralogia dos perfis estudados indicam baixo grau de intemperismo dos solos e pedogênese pouco evoluída, marcada por inequívoca filiação ao material de origem de cada pedoambiente. Por isso pode-se dizer que se trataria mais de uma litosequência.

Os solos apresentaram certa restrição à drenagem e aos atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos que contribuem para a sua fragilidade favorável à erosão hídrica.

Os solos contêm de moderadas a elevadas reservas de nutrientes, sendo que a maior limitação para a agricultura é a sua elevada susceptibilidade à erosão, além do clima tendendo a semiárido.

A desertificação apontada para a região não se caracteriza como arenização, dado que os solos não são arenosos e não há formação de areais.

Agradecimentos

Ao Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados (LIMAV), na Universidade Federal do Piauí pelas análises de DRX.

Financiamento

O primeiro autor e a terceira autora são Bolsistas CNPq Produtividade em Pesquisa nível 2. E à UFPI que financiou parte do trabalho de campo.

Bibliografia

- Aguiar, R. B., Gomes, J. R. C. (2004). Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí. Diagnóstico do município de Gilbués. Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, CDD 551.49098122.
- Almeida, A. C. S., Varajão, A. F. D. C., Gomes, N. S., Varajão, C. A. C., Volkmer-Ribeiro, C. (2010). Characterization and origin of spongillite-hosting sediment from João Pinheiro, Minas Gerais, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(2), 439-453. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.09.006>
- Almeida, J. R., Resende, M. (1985). Considerações Sobre O Manejo de Solos Rasos Desenvolvidos de Rochas Pelíticas do Estado de Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, MG, 11, 19-26.
- Andrade Júnior, A. S., Bastos, E. A., Barros, A. H. C., Silva, C. O., Gomes, A. A. N. (2004). Classificação climática do Estado do Piauí. Teresina: Embrapa Meio-Norte. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 86).
- Azevedo, J. R., Bueno, C. R. P. (2016). Potencialidades e limitações agrícolas de solos em assentamento de reforma agrária no município de Chapadinha-MA. *Scientia Agraria*, 17(3), 1-13. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v17i3.46841>
- Baltar, C. A. M., Luz, A. B. D. (2003). Insumos minerais para perfuração de poços de petróleo. Recife: CETEM/UFPE.
- Bezerra, S. A., Cantalice, J. R. B. (2006). Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30, 565-573. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000300016>
- Bouguerra, H., Bouanani, A., Khanchoul, K., Derdous, O., Tachi, S. E. (2017). Mapping erosion prone areas in the Bouhamdane watershed (Algeria) using the Revised Universal Soil Loss Equation through GIS. *Journal of Water and Land Development*, 32 (1), 13-23. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0002>
- Branco, S. B., Salviano, A. A., Matias, S. S., Júnior, J. M., Santos, H. L. (2013). Influência do relevo e erodibilidade nos atributos químicos em área degradada de Gilbués, PI. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8(2), 324-330. <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2418>
- Campos, J. E. G., Dardenne, M. A. (1997). Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, 27, 269-282. <http://ppege.igc.usp.br/index.php/rbg/article/download/11291/10756>
- Clemente, E. P., Schaefer, C. E., Oliveira, F. S., Albuquerque Filho, M. R., Alves, R. J. V., Firme Sá, M. M., Melo, V. F., Corrêa, G. R. (2009). Topossequência de dolos na Ilha da

- Trindade, Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(5), 1357-1371. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500028>
- Corti, G., Cocco, S., Hannachi, N., Cardelli, V., Weindorf, D. C., Marcellini, M., Agnelli, A. (2020). Assessing geomorphological and pedological processes in the genesis of pre-desert soils from southern Tunisia. *Catena*, 187, 104290. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104290>
- Crepani, E. O. (2009). Núcleo de Desertificação de Gilbués observado pelo Sensoamento Remoto e pelo Geoprocessamento. In INPE (Coord.) Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (pp. 5185-5192). Natal, INPE.
- Crepani, E., Medeiros J. S. de, Palmeira, A. F. (2004). Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo. São José dos Campos: INPE. (INPE-11237-RPQ/760).
- CPRM-Serviço Geológico Do Brasil. (2006). Mapa geológico do estado do Piauí. 1:1000000.
- Cunha, G. O. D. M., Almeida, J. A. D., Barboza, B. B. (2014). Relação entre o alumínio extraível com KCl e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(5), 1387-1401. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000500004>
- Demattê, J. A. M., Focht, D. (1999). Detecção de solos erodidos pela avaliação de dados espectrais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23(2), 401-413. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000200023>
- Ferreira, V. M., Silva, M. L. N., Curi, N., Oliveira, A. H., Da Silva, M. A., Avanzi, J. C. (2011). Influência antrópica e atributos de solo: inter-relações em ambientes de voçorocas na mesorregião Campos das Vertentes, MG. *Geografia*, 36, 209-219. <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/4915/5144>
- Eze, P. N., Udeigwe, T. K., Meadows, M. E. (2014). Plinthite and its associated evolutionary forms in soils and landscapes: A review. *Pedosphere*, 24(2), 153-166. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(14\)60002-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60002-3)
- França, L. C. J., Piuzana, D., Ross, J. L. S. (2017). Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). *Revista Espacios* (Caracas), 38(31), 21-37. <http://www.revistaespacios.com/a17v38n31/a17v38n31p21.pdf>
- Gass, S. L. B., Verdum, R., Dos Santos Vieira, L. D. F., Caneppele, J. C. G., Laurent, F. (2019). Os areas do sudoeste do Rio Grande do Sul, Brasil, como patrimônio geomorfológico. *Physis Terrae-Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente*, 1(2), 101-119. <https://doi.org/10.21814/physisterrae.2209>
- IBGE. (2007). Manual técnico de pedologia. Rio de Janeiro: IBGE.
- Ker, J. C., Curi, N., Schaefer, C. E. G. R., Vidal-Torrado, P. (2015). *Pedologia: fundamentos*. Viçosa: SBCS.
- Lado, M., Ben-Hur, M. (2004). Soil mineralogy effects on seal formation, runoff and soil loss. *Applied Clay Science*, 24(3-4), 209-224. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2003.03.002>

- Lal, R. (2001). Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Climatic Change*, 51(1), 35-72. <https://doi.org/10.1023/A:1017529816140>
- Lima, H. N., Mello, J. W. V. D., Schaefer, C. E. G., Ker, J. C., Lima, A. M. N. (2006). Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(1), 59-68. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000100007>
- Macambira, D. M., Monteiro, M. S. L. (2019). Desertificação em Gilbués–PI: Degradação dos solos, impactos econômicos e socioambientais. In J. G. Aguilera, & A. M. Zuffo (Org), *A Dinâmica Produtiva da Agricultura Sustentável* (pp.44-55). Ponta Grossa: Atena Editora.
- Melo, M. G. 2012. A origem do fosfato nas rochas vulcânicas e vulcanoclásticas do Grupo Mata da Corda nas regiões de Patos de Minas e Presidente Olegário, MG. MS Dissertation, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 168p.
- Melo, A. A. B., Valladares, G. S., Ceddia, M. B., Pereira, M. G., Soares, I. (2016). Spatial distribution of organic carbon and humic substances in irrigated soils under different management systems in a semi-arid zone in Ceará, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, 37(4), 1845-1855. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4p1845>
- Michel, F. M., Ehm, L., Liu, G., Han, W. Q., Antao, S. M., Chupas, P. J., Lee, P. L., Knorr, K., Eulert, H., Kim, J., Grey, C. P., Celestian, A. J., Gillow, J., Schoonen, M. A. A., Strongin, D. R., Parise, J. B. (2007). Similarities in 2- and 6-line ferrihydrite based on pair distribution function analysis of X-ray total scattering. *Chemistry of Materials*, 19(6), 1489-1496. <https://doi.org/10.1021/cm062585n>
- Nachtigall, G. R., Vahl, L. C. (1989) Parâmetros relacionados à acidez em solos da região sul do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 13, 139-143.
- Omdi, F. E., Daoudi, L., Fagel, N. (2018). Origin and distribution of clay minerals of soils in semi-arid zones: Example of Ksob watershed (Western High Atlas, Morocco). *Applied Clay Science*, 163, 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.07.013>
- Pereira, T. T. C., Ker, J. C., Almeida, C. C. (2012). Qualidade de solos cultivados com eucalipto na região central de Minas Gerais: atributos físicos, químicos e mineralógicos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7(suplemento), 706-713. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7isa1412>
- Pereira, M. G., Valladaes, G. S., Souza, J. M. P. F. E, Perez, D. V., Anjos, L. H. C. dos. (1998) Parâmetros relacionados à acidez em solos do Estado do Rio de Janeiro. Circular técnica 02. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS.
- Rocha, W. W., Junior, D., Lima, J. M., Miranda, E. E. V., Silva, A. R. (2002). Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26(2), 297-303. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200002>
- Ruellan, A., Dosso, M. (1993). *Regards sur le sol*. Paris: Éditions Foucher-AUPELF, Collection Universités francophones, 192 p.
- Santana, M. O. (2007). Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil/MMA. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, MMA.

- Santos, H. L., Marques Júnior, J., Matias, S. S., Siqueira, D. S., Martins Filho, M. V. (2013). Erosion factors and magnetic susceptibility in different compartments of a slope in Gilbués-PI, Brazil. *Engenharia Agrícola*, 33(1), 64-74. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000100008>
- Santos, R. D., Lemos, R. C., Santos, H. G., Ker, J. C., Anjos, L. H. C. (2005). Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5. ed. Vicosa: SBCS.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Oliveira, J. B., Coelho, M. R., Lumberras, J. F., Cunha, T. J. F. (2006). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Sgarbi, G. N. (1991). Arenitos eólicos da Formação Areado (Bacia Cretácea do São Francisco): caracterização, diagênese e aspectos químicos. *Revista Brasileira de Geociências*, 21(4), 342-354. <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/download/11779/11318>
- Sgarbi, G. N. C. (2000). The Cretaceous Sanfranciscan basin, eastern plateau of Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3), 450-452. <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/download/10676/10177>
- Silva, A. M. D., Silva, M. L. N., Curi, N., Lima, J. M. D., Avanzi, J. C., Ferreira, M. M. (2005). Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(12), 1223-1230. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005001200010>
- Silva, F. B. (2008). Geotecnologias no mapeamento de áreas degradadas no núcleo de desertificação em Gilbués. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Piauí, Teresina, Brasil.
- Silva Neto, L. D. F. D., Inda, A. V., Bayer, C., Dick, D. P., Tonin, A. T. (2008). Óxidos de ferro em Latossolos tropicais e subtropicais brasileiros em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(5), 1873-1881. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500008>
- Sousa, J. B., Pierangeli, M. A. P., Serafim, M. E., de Souza, C. A. (2015). Atributos morfológicos, físicos e químicos de solos e processos erosivos nas margens do rio Paraguai, Pantanal superior, Mato Grosso, Brasil. *Boletim de Geografia*, 33(1), 109-122. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v33i1.22580>
- Sousa, F. P., Ferreira, T. O., Mendonça, E. S., Romero, R. E., Oliveira, J. G. B. (2012). Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.009>
- Sousa-Silva, I. A. (2014). Clima e arenização em Gilbués-Piauí: dinâmica das precipitações e a vulnerabilidade da paisagem aos eventos pluviais intensos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.
- Sousa-Silva, I. A. (2019). Conexões entre clima e desertificação: trajetórias e suscetibilidade no nordeste brasileiro. *Revista Equador*, 8(2), 468-488. <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/download/9265/5420>
- Sousa-Silva, I. A. (2017). Eventos extremos de precipitação em Gilbués-Piauí: impactos na paisagem e potencialização do processo de arenização. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, 1, 2205-2216. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2441>

- Sousa-Silva, I. A. (2016). Variabilidade climática e seus efeitos no processo de arenização em Gilbués-Piauí. *Revista de Geociências do Nordeste*, 2, 405-415.
- Suertegaray, D. M. A. (1987). *Deserto grande do sul*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- Suertegaray, D. M. A., Verdum, R., Bellanca, E. T., Uagoda, R. S. (2005). Sobre a gênese da arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul. *Terra Livre*, 1(24), 135-150. <https://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/download/389/374>
- Schulz, C., Koch, R., Cierjacks, A., Kleinschmit, B. (2017). Land change and loss of landscape diversity at the Caatinga phytogeographical domain—Analysis of pattern-process relationships with MODIS land cover products (2001–2012). *Journal of Arid Environments*, 136, 54-74. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.10.004>
- Schwertmann, U., Kämpf, N. (1983). Óxidos de ferro jovens em ambientes pedogenéticos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 7, 251-255.
- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., Teixeira, W. G. (2017). *Manual de métodos de análise de solo* (4th ed.). Rio de Janeiro: Embrapa.
- Thomas, D. S. G., Middleton, N. J. (1993). Salinization: new perspectives on a major desertification issue. *Journal of Arid Environments*, 24(1), 95-105. <https://doi.org/10.1006/jare.1993.1008>
- Thornthwaite, C. W., Mather. J. R. (1955). *The Water Balance*. Centerton: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology.
- Tricart, J. (1977). *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Valladares, G. S. (2009) Caracterização química e granulométrica de solos do Golfão maranhense. *Acta Amazonica*, 39(4), 923-933. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000400020>
- Valladares, G. S., Aquino, C. M. S., Aquino, R. P., Beirigo, R. M. (2017). Solos frágeis do Parque Nacional da Serra da Capivara, Piauí. *GEOgraphia*, 19(41), 123-134. <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2017.v19i41.a13823>
- Veloso, M. D. C., da Silva, E. C., Leite, L., Blanco, F., Rocha Júnior, A. F. & Santos, W. D. C. (2011). Características químicas de um neossolo litólico em área degradada em Gilbués, Piauí. In Embrapa Meio-Norte-Artigo (Coord.). *Anais II Congresso Brasileiro de Pesquisa em Pinhão-Manso*. Brasília, DF: Embrapa.
- Wei, Y., Wu, X., Cai, C., Wang, J., Xia, J., Wang, J., ... & Yuan, Z. (2019). Impact of erosion-induced land degradation on rainfall infiltration in different types of soils under field simulation. *Land Degradation & Development*, 30(14), 1751-1764. <https://doi.org/10.1002/ldr.3382>

Artigo recebido em/ Received on: 17/04/2020

Artigo aceite para publicação em/ Accepted for publication on: 08/07/2020

Página intencionalmente deixada em branco