

Geoquímica de Luvisolo sob diferentes sistemas de manejo no Semiárido brasileiro

Letícia Moro^{1*}, Rodrigo Santana Macedo², Érica Olandini Lambais³, Kalline de Almeida Alves Carneiro⁴, Raimundo Nonato de Araújo Neto⁵, Alexandre Pereira de Bakker⁶

¹Doutora em Ciência do Solo, Instituto Nacional do Semiárido, Brasil. (*Autor correspondente: leticia.moro@insa.gov.br)

²Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Instituto Nacional do Semiárido, Brasil.

³Especialista em Bioecologia e Conservação, Instituto Nacional do Semiárido, Brasil.

⁴Doutora em Ciência do Solo, Instituto Nacional do Semiárido, Brasil.

⁵Laboratorista, Instituto Nacional do Semiárido, Brasil.

⁶Doutor em Mineralogia de Solos, Instituto Nacional do Semiárido, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 30/11/2022 – Revisado em: 12/10/2022 – Aceito em: 30/12/2022

RESUMO

A atividade agropecuária intensiva no Semiárido brasileiro (SAB) tem causado a degradação das propriedades químicas do solo. A pesquisa objetivou avaliar os efeitos das práticas de manejo utilizadas em agroecossistemas no SAB sobre a constituição geoquímica de Luvisolo Crômico. Foram realizadas coletas de solo na camada de 0-10 cm em três agroecossistemas familiares, sob Luvisolo Crômico, localizados no município de Queimadas, Paraíba, Brasil. Os sistemas de cultivo avaliados foram: Caatinga sob pastejo (CP), silviagrícola (SS) e monocultivo (SM). A análise geoquímica foi realizada por meio de espectrometria de fluorescência de raios-X por dispersão de energia (EDXRF) e quantificados os percentuais de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, TiO₂, K₂O, SO₃, MnO, P₂O₅, ClO, Cr₂O₃, V₂O₅, CeO₂. A melhor condição geoquímica do solo foi observada no SS, com maiores valores de MgO, CaO, TiO₂, K₂O, SO₃ e P₂O₅, e menor de Al₂O₃. A CP apresentou valores intermediários, enquanto o SM apresentou exaurimento do solo, com os menores valores de elementos essenciais às plantas. A análise geoquímica é uma ferramenta viável para o monitoramento da degradação química do solo sob diferentes manejos. A prática do monocultivo acarreta exaurimento de nutrientes essenciais às plantas, assim, sistemas de manejo que integram diferentes espécies de plantas ou plantas e animais são preferíveis nas condições do SAB.

Palavras-Chave: Desertificação, Semiárido, Agroecossistemas.

Geochemistry of Luvisol under different management systems in the Brazilian semiarid region

ABSTRACT

Intensive agricultural activity in the Brazilian Semiarid Region (SAB) has caused the degradation of soil chemical properties. The research aimed to evaluate the effects of management practices used in agroecosystems in the SAB on the geochemical constitution of Luvisol. Soil samples were taken in the 0-10 cm layer in three family agroecosystems, under Luvisol, located in the municipality of Queimadas, Paraíba, Brazil. The cropping systems evaluated were: Caatinga under grazing (CP), silviagricultural (SS) and monoculture (SM). The geochemical analysis was performed using energy dispersion X-ray fluorescence spectrometry (EDXRF) and the percentages of SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, TiO₂, K₂O, SO₃, MnO, P₂O₅, ClO, Cr₂O₃, V₂O₅, CeO₂. The best soil geochemical condition was observed in SS, with higher values of MgO, CaO, TiO₂, K₂O, SO₃ and P₂O₅, and lower values of Al₂O₃. CP showed intermediate values, while SM showed soil depletion, with the lowest values of essential elements for plants. Geochemical analysis is a viable tool for monitoring soil chemical degradation under different management systems. The practice of monoculture leads to the depletion of essential nutrients for the plants, thus, management systems that integrate different species of plants or plants and animals are preferable under SAB conditions.

Keywords: Desertification, Semiarid, Agroecosystems.

Moro, L., Macedo, R.S., Lambais, É.O., Carneiro, K.A.A., Araújo Neto, R.N., Bakker, A.P (2023). Geoquímica de Luvisolo sob diferentes sistemas de manejo no Semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.11, n.1, p.174-181.



1. Introdução

A agricultura e a pecuária são as principais fontes de renda da população rural do Semiárido brasileiro (SAB), porém, a prática intensiva destas atividades, com a rápida remoção da biomassa da superfície do solo (Oliveira et al., 2021), afeta diretamente as propriedades do solo (Almeida et al., 2017) acelerando o processo de degradação e desertificação ao qual estas áreas são naturalmente propensas. Quase metade da área originalmente coberta com Caatinga foi desmatada (Santos et al., 2019). A retirada da vegetação nativa seguida de práticas de manejo inadequadas tem causado a vulnerabilidade dos agricultores familiares e variações climáticas.

Sampaio et al. (2017) relatam a tendência de abandono da agricultura para o plantio de pastagens e pecuária, pois, as culturas tradicionalmente plantadas estão apresentando baixa produtividade e alto custo de produção, devido à baixa disponibilidade hídrica, tornando a agricultura cada vez menos competitiva em relação às demais regiões do Brasil. Estas condições a longo prazo se tornarão cada vez mais severas, com menor precipitação e maior evapotranspiração. Assim, faz-se necessário direcionar esforços para melhorar a produtividade e as condições do solo.

O monitoramento ambiental dessas áreas através das propriedades do solo é uma ferramenta importante, pois, a compreensão dos impactos causados pelos diferentes manejos ajuda a melhorar os sistemas agrícolas e escolher sistemas de produção mais sustentáveis (Lambais et al., 2021; Mantovanelli et al., 2022), além de permitir o planejamento da aplicação de medidas de reversão e prevenção sobre os recursos naturais a longo e médio prazo (Silva, Moura & Lopes, 2020).

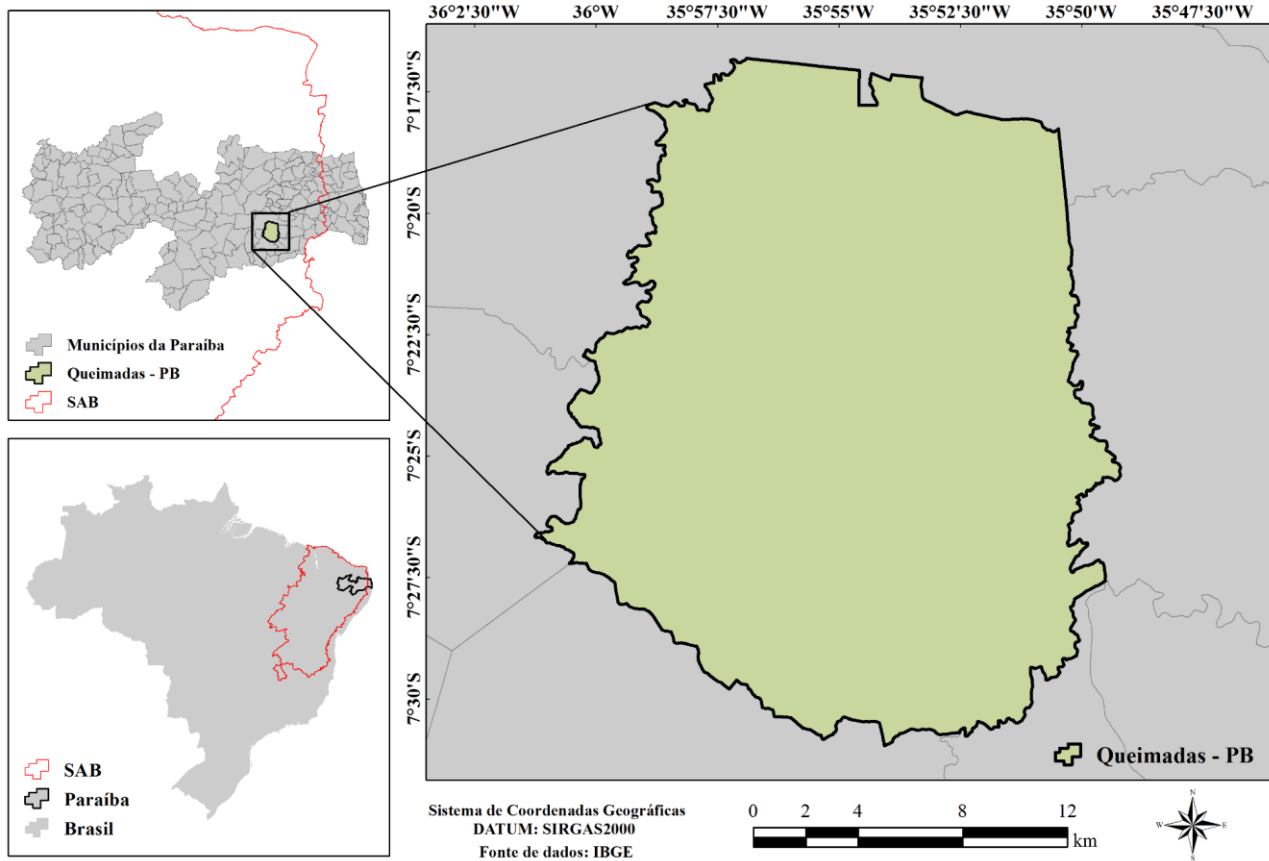
A espectrometria de fluorescência de raios-X por dispersão de energia (EDXRF) é uma técnica analítica quantitativa multielementar que permite a identificação dos elementos que estão presentes nas amostras de solo e suas proporções. É uma ferramenta de caracterização química de fácil execução, não necessita de tratamento exaustivo para a preparação das amostras, utiliza poucos reagentes químicos, e tem alta precisão instrumental (Krishna, Murthy & Govil, 2007). Assim, é uma alternativa interessante para a avaliação da degradação das propriedades químicas do solo causada pelos diferentes sistemas de manejo.

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos das práticas de manejo utilizadas em agroecossistemas no SAB sobre a constituição geoquímica de Luvisolo Crômico.

2. Material e Métodos

A pesquisa foi realizada em três agroecossistemas familiares (propriedades rurais) em processo de transição agroecológica, localizados no município de Queimadas (7°27'51,6''S e 35°51'4,8''O; 433 m), mesorregião do Agreste paraibano no Semiárido brasileiro (Figura 1).

Figura 1 - Localização das áreas de estudo. Município de Queimadas, Paraíba, Brasil
Figure 1 - Location of study areas. Municipality of Queimadas, Paraíba, Brazil



Fonte: Os autores
Source: The authors

O clima é classificado como Bsh (semiárido quente), a precipitação média anual é menor que 800 mm, o período seco é de nove meses, e chuvas concentradas de fevereiro a abril e a temperatura média anual é de 26,5 °C (Alvares et al., 2013).

Os diferentes tipos de manejos avaliados nos agroecossistemas familiares foram os sistemas Caatinga sob pastejo - CP, sistema silviagrícola - SS, e sistema de monocultivo - SM (cultivo de palma forrageira em sequeiro) (Tabela 1).

Tabela 1 - Histórico de uso dos diferentes sistemas de manejo do solo em agroecossistemas familiares. Município de Queimadas, Paraíba, Brasil

Table 1 - History of use of different soil management systems in family agroecosystems. Municipality of Queimadas, Paraíba, Brazil

Uso do solo	Descrição dos sistemas de manejo
CP - Caatinga sob pastejo	Vegetação secundária de Caatinga hipoxerófila com aproximadamente 30 anos, utilizada para pastoreio de caprinos e bovinos, com a prática de descanso do solo durante a estação chuvosa. Na área encontram-se espécies de cactáceas: cardeiro (<i>Cereus jamacaru</i> DC), facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i> F.Ritter), xique-xique (<i>Pilosocereus gounellei</i> FAC Weber); e arbóreas: aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão), catingueira (<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.), angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>

(Vell.) Brennan), pereiro (*Aspidosperma pyriforme* Mart.), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir), juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.), pinhão-bravo (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill) e baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.).

SS - Sistema silviagrícola	Plantio consorciado, iniciado em 2015, com cultivo de três variedades de palma forrageira: gigante (<i>Opuntia ficus indica</i> Mill.), doce miúda (<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm-Dick) e orelha de elefante (<i>Opuntia stricta</i> Haw) em conjunto com espécies arbóreas nativas: juazeiro, angico, baraúna, jucá (<i>Caesalpinia ferrea</i> Mart. ex Tul), catingueira e canafistula (<i>Senna spectabilis</i> (DC.) Irwin et Barn); e frutíferas: acerola (<i>Malpighia puniceifolia</i> L.), pinha (<i>Annona squamosa</i> L.) e trapiá (<i>Crateva tapia</i> L.).
SM - Sistema de monocultivo	Cultivo de palma forrageira da variedade orelha de elefante (3 anos de idade), em sequeiro, com aplicação de esterco caprino duas vezes ao ano.

Fonte: Lambais et al. (2021)
Source: Lambais et al. (2021)

O solo da região é classificado como Luvisolo Crômico (SiBCS, 2018). A caracterização química e física dos solos das áreas estudadas são apresentadas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 - Caracterização química do solo das áreas amostradas na camada de 0 a 10 cm sob diferentes agroecossistemas, Município de Queimadas, Paraíba, Brasil⁽¹⁾

Table 2 - Soil chemical characterization of the sampled areas in the 0 to 10 cm layer under different agroecosystems, Municipality of Queimadas, Paraíba, Brazil⁽¹⁾

	pH H ₂ O	CE	P	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SB	T	t	V	m	PST
	1:2,5	μs cm ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³								%			
CP ⁽²⁾	7,8	0,1	2,6	1,8	0,0	4,8	3,0	0,1	0,1	8,0	9,9	8,0	81,6	0,0	0,7
SS	7,0	0,2	101,8	3,2	0,0	4,0	2,8	0,1	0,4	7,3	10,5	7,3	68,5	0,0	0,6
SM	7,7	0,1	0,7	1,9	0,0	3,4	2,6	0,1	0,1	6,2	8,2	6,2	75,4	0,0	1,7

⁽¹⁾ Análises realizadas conforme metodologia proposta pela Embrapa (Teixeira et al., 2017); pH H₂O: pH em água; CE: condutividade elétrica; P: teor de fósforo disponível; H+Al: acidez potencial; Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺: teores trocáveis de alumínio; cálcio e magnésio; Na⁺ e K⁺: teores extraíveis de sódio e potássio; SB: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0; t: CTC efetiva; V%: saturação por bases; m%: saturação por alumínio; PST: percentual de sódio total. ⁽²⁾ CP: Caatinga sob pastejo, SS: sistema silviagrícola, SM: sistema de monocultivo.

⁽¹⁾ Analyzes performed according to the methodology proposed by Embrapa (Teixeira et al., 2017); pH H₂O: pH in water; CE: electrical conductivity; P: available phosphorus content; H+Al: potential acidity; Al³⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺: exchangeable aluminum contents; calcium and magnesium; Na⁺ and K⁺: extractable levels of sodium and potassium; SB: sum of bases; T: cation exchange capacity (CTC) at pH 7.0; t: effective CTC; V%: base saturation; m%: aluminum saturation; PST: percentage of total sodium. ⁽²⁾ CP: Caatinga under grazing, SS: silviagricultural system, SM: monoculture system.

Tabela 3 - Caracterização física do solo das áreas amostradas na camada de 0 a 10 cm sob diferentes agroecossistemas. Município de Queimadas, Paraíba, Brasil⁽¹⁾

Table 3 - Physical characterization of the soil in the sampled areas in the 0 to 10 cm layer under different agroecosystems. Municipality of Queimadas, Paraíba, Brazil⁽¹⁾

	Areia	Silte	Argila	Classe Textural ⁽²⁾	ADA	Ds
	g kg ⁻¹				g kg ⁻¹	g cm ⁻³
CP ⁽³⁾	412,7	207,3	380,0	franco argilosa	320,0	2,0
SS	501,7	191,7	306,7	franco argilosa arenosa	433,3	1,9
SM	504,7	175,3	320,0	franco argilosa arenosa	206,7	1,6

⁽¹⁾ Análises realizadas conforme metodologia proposta pela Embrapa (Teixeira et al., 2017); ADA: argila dispersa em água; Ds: densidade do solo. ⁽²⁾ Classe textural definida pelo triângulo textural proposto pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

(USDA) (Soil Survey Staff, 2017). ⁽³⁾ CP: Caatinga sob pastejo, SS: sistema silviagrícola, SM: sistema de monocultivo.

⁽¹⁾ Analyzes performed according to the methodology proposed by Embrapa (Teixeira et al., 2017); ADA: clay dispersed in water; Ds: soil density. ⁽²⁾ Texture class defined by the textural triangle proposed by the United States Department of Agriculture (USDA) (Soil Survey Staff, 2017). ⁽³⁾ CP: Caatinga under grazing, SS: silviagricultural system, SM: monoculture system.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. A coleta das amostras de solo foi realizada em agosto de 2020. Em uma área de 400 m² para cada sistema de manejo, foram coletadas três amostras compostas (constituídas por cinco amostras simples) deformadas na camada de 0-10 cm. As amostras de solo foram levadas ao Laboratório de Solos do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), onde foram secas ao ar até massa constante e peneiradas em peneira com malha de 2 mm (terra fina seca ao ar - TFSA).

Foram confeccionadas pastilhas com solo (TFSA) e ácido bórico como aglomerante em prensa hidráulica manual. Os percentuais de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, TiO₂, K₂O, SO₃, MnO, P₂O₅, ClO, Cr₂O₃, V₂O₅ e CeO₂ dos solos foram quantificados através de espectrometria de fluorescência de raios-X por dispersão de energia (EDXRF) com o equipamento Bruker S2 Ranger.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativos pelo teste F, foi aplicado o teste de médias de Scott-Knott ao nível de significância de 5% (p-valor < 0,05) com o auxílio do Software Sisvar 5.7 (Ferreira, 2019).

3. Resultados e Discussão

Os resultados da análise geoquímica para os elementos maiores e traços por meio de EDXRF para os agroecossistemas avaliados encontram-se listados na tabela 4.

Tabela 4 - Composição total de elementos maiores e traços de solos da camada de 0 a 10 cm sob diferentes agroecossistemas. Município de Queimadas, Paraíba, Brasil

Table 4 - Total composition of major elements and soil traces in the 0 to 10 cm layer under different agroecosystems. Municipality of Queimadas, Paraíba, Brazil

	CP ⁽¹⁾	SS ⁽²⁾	SM ⁽³⁾	CV ⁽⁴⁾
	%			
SiO ₂	50,47	51,68	51,43	1,73
Al ₂ O ₃	28,78 a ⁽⁵⁾	25,99 b	30,96 a	4,92
Fe ₂ O ₃	14,22	12,11	10,92	14,05
MgO	2,76 c	4,96 a	3,86 b	5,78
CaO	1,54 a	1,44 a	1,01 b	17,14
TiO ₂	1,35 a	1,62 a	0,86 b	12,25
K ₂ O	0,40 b	1,36 a	0,43 b	15,05
SO ₃	0,12 b	0,23 a	0,15 b	16,51
MnO	0,11	0,14	0,10	23,61
P ₂ O ₅	0,09 b	0,25 a	0,00 c	20,80
ClO	0,05	0,10	0,09	42,15
Cr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,02	212,13
V ₂ O ₅	0,00	0,00	0,01	300,00
CeO ₂	0,00	0,03	0,00	300,00

⁽¹⁾ CP: Caatinga sob pastejo; ⁽²⁾ SS: sistema silviagrícola; ⁽³⁾ SM: sistema de monocultivo; ⁽⁴⁾ CV: coeficiente de variação; ⁽⁵⁾ Médias seguidas por letras diferentes entre si nas linhas indicam diferenças significativas entre os agroecossistemas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ CP: Caatinga under grazing; ⁽²⁾ SS: silviagricultural system; ⁽³⁾ SM: monoculture system; ⁽⁴⁾ CV: coefficient of variation; ⁽⁵⁾ Means followed by different letters from each other on the lines indicate significant differences between the agroecosystems by the Scott-Knott test at 5% probability.

Os solos analisados são compostos majoritariamente por dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3). Os teores de SiO_2 e Al_2O_3 na proporção 2:1 se devem à evolução dos solos a partir da atuação do processo de bissialitização, que permite a formação de minerais de argila do tipo 2:1, tais como vermiculita e esmectita, enquanto os teores também elevados de Fe_2O_3 atribui-se à ocorrência de óxidos de ferro primários herdados do material gnaissico (p. ex., magnetita, hematita) e/ou pedogênicos formados a partir do intemperismo de minerais primários facilmente intemperizáveis, como as biotitas (Guimarães Camara et al., 2021). Os teores semelhantes de MnO entre os sistemas reflete a formação desses solos a partir de material de origem semelhante (banda melanocrática do gnaisse).

Foram observadas diferenças significativas (p-valor < 0,05) entre os agroecossistemas para Al_2O_3 (óxido de alumínio), MgO (óxido de magnésio), CaO (óxido de cálcio), TiO_2 (dióxido de titânio), K_2O (óxido de potássio), SO_3 (óxido sulfúrico), e P_2O_5 (pentóxido de fósforo).

De maneira geral, o sistema silviagrícola apresenta condições geoquímicas mais adequadas ao crescimento de plantas quando comparado ao sistema de monocultivo, pois, apresentou as maiores reservas de MgO, CaO, K_2O , SO_3 e P_2O_5 , que ao longo do tempo podem ser disponibilizados em suas formas disponíveis e/ou trocáveis às plantas. Isso indica que a assinatura geoquímica dos solos é sensível às mudanças de uso da terra, aqui em específico, às práticas agroflorestais.

Em adição, tais práticas demonstraram menor dependência do intemperismo de plagioclásios e biotitas para fornecimento de cátions às culturas locais, o que assume relevante importância no SAB, região altamente vulnerável aos eventos de secas e déficits hídricos prolongados. O maior valor de TiO_2 , é proveniente dos minerais rutilo e/ou anatásio (Lima Neto et al., 2010) que comumente ocorrem nos solos da região. Estes minerais são herdados do material de origem e são resistentes ao intemperismo, permanecendo como minerais acessórios nas partículas de menor tamanho do solo. O titânio tem importância pelo seu papel como catalisador da fotodegradação de moléculas de substâncias (pesticidas) (Vela et al., 2017), evitando a contaminação do solo.

Os percentuais inferiores de elementos essenciais às plantas observados na área de sistema de monocultivo (CaO , MgO, K_2O , SO_3 e P_2O_5) indicam a degradação química do solo. Os déficits nesses elementos indicam baixo aporte de elementos via adubação e forte dependência da liberação desses elementos via hidrólise dos minerais. Dessa forma, o monocultivo sob as condições avaliadas promoveu gradualmente a redução da reserva mineral do solo, indicando que a continuidade desse sistema de manejo pode levar à perda da fertilidade e da produtividade local, implicando necessidade de utilização de insumos agroquímicos para a sua utilização sustentável.

A Caatinga sob pastejo apresentou uma condição intermediária dentre os sistemas avaliados, apresentando teor de CaO semelhante ao do SS; K_2O e SO_3 iguais ao SM; e, P_2O_5 menor que SS e maior que SM. Estas observações apontam que esses elementos são em grande parte fornecidos aos solos via fertilização, confirmando a necessidade de práticas de manejo sustentáveis a fim de manter níveis de nutrientes adequados às culturas.

A partir dos resultados obtidos é possível inferir que o sistema silviagrícola é uma alternativa viável para o manejo de áreas desmatadas de Caatinga. A adoção desse tipo de sistema de manejo contribui para a conservação dos ecossistemas, pois, evita a necessidade de avanço sobre novas áreas e pode servir como diretriz para o manejo sustentável no SAB.

Por último, o aporte de elementos via práticas agroflorestais, que propiciam uma maior ciclagem de nutrientes, pode reduzir a dependência via intemperismo, fato esse agravado pelos déficits hídricos prolongados na região associados a eventos de chuvas torrenciais que promovem perdas consideráveis de nutrientes nos Luvissolos Crômicos da região.

4. Conclusão

A assinatura geoquímica dos solos é sensível às práticas de manejo adotadas nos agroecossistemas do Semiárido brasileiro.

O sistema silviagrícola é a prática de manejo que aporta maiores teores totais de elementos essenciais à

nutrição de plantas, seguido da Caatinga sob pastejo e do sistema de monocultivo.

O sistema de monocultivo, sob as condições avaliadas, promove a degradação química do Luvisolo Crômico.

5. Agradecimentos

Ao Instituto Nacional do Semiárido – INSA e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

6. Referências

Almeida, C. L. D., Araújo, J. C. D., Costa, M. C. G., Almeida, A. M. M. D., & Andrade, E. M. D. (2017). Fallow reduces soil losses and increases carbon stock in Caatinga. **Floresta e Ambiente**, 24, e20160175.

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

Ferreira, D. F. (2019). Sisvar: a Computer Analysis System to Fixed Effects Split Plot Type Designs. **Revista Brasileira de Biometria**, 37, 529-535.

Guimarães Câmara, E. R., dos Santos, J. C. B., Araújo Filho, J. C., Schulze, S. M. B. B., Corrêa, M. M., Ferreira, T. O., de Sousa, J. E. S., & Souza Júnior, V. S. (2021). Parent rock-pedogenesis relationship: How the weathering of metamorphic rock influences the genesis of Planosols and Luvisols under a semiarid climate in NE Brazil. **Geoderma**, 385, 114878.

Krishna, A. K., Murthy, N. N., & Govil, P. K. (2007). Multielement analysis of soils by wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometry. **Atomic Spectroscopy**, 28, (6), 202-214.

Lima Neto, J. D. A., Ribeiro, M. R., Corrêa, M. M., Souza-Júnior, V. S. D., Araújo Filho, J. C. D., & Lima, J. F. W. (2010). Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34, 473-486.

Lambais, É. O., Nascimento, M. M. B., Macedo, R. S., Souza, R. F. S.; Souza, S. L., Sousa, C. S., Lambais, G. R., & Bakker, A. P. (2021). Atividade microbiana e carbono orgânico do solo em agroecossistemas sob diferentes manejos no Semiárido paraibano. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 12, (8), 412-427.

Mantovanelli, B.C., Petri, M. T., Martins, J. D., & Carlesso, R. (2022). Qualidade física de solos do Brasil e aplicabilidade de métodos para estimativas de retenção de água no solo: A revisão. **Revista Edutec**, 3, (1), 87-100.

Oliveira, A. D. F. N., Sousa, L. I. S., Costa, V. A. S., Andrade, J. V. T., Lima, L. A. L., Sales, P. A. F., Silva, D. F., Pereira, A. P. A., & Melo, V. M. M. (2021). Long-term effects of grazing on the biological, chemical, and physical soil properties of the Caatinga biome. **Microbiological Research**, 253, 126-893.

Santos, U. J., Duda, G. P., Marques, M. C., Medeiros, E. V., Lima, J. R. S., Souza, E. S., Brossard, M., & Hammecker, C. (2019). Soil organic carbon fractions and humic substances are affected by land uses of Caatinga forest in Brazil. **Arid Land Research and Management**, 33, (3), 255-273.

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H.C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª edição. Revista e Ampliada. Embrapa, 1-590.

Sampaio, E. V. D. S. B., Menezes, R. S. C., Sampaio, Y. D. S. B., & Freitas, A. D. S. D. (2017). Sustainable agricultural uses in the Caatinga. In: Silva, J.M.C.; Leal, I. R.; & Tabarelli, M. (Org.). **Caatinga**. Califórnia: 1ed. Springer, Cham. 413-428.

Silva, J. L. B., Moura, G. B. A., & Lopes, P. M. O. (2020). Spatial-Temporal Monitoring of the Risk of Environmental Degradation and Desertification by Remote Sensing in a Brazilian Semiarid Region. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13, (2), 544-563.

Soil Science Division Staff (2017). **Soil Survey Manual**. 18.ed. Washington: Government Printing Office. 2017, 621p.

Vela, N., Pérez-Lucas, G., Fenoll, J., & Navarro, S. (2017). Recent overview on the abatement of pesticide residues in water by photocatalytic treatment using TiO₂. In: Janus, M. (Org.). **Application of Titanium Dioxide**, 1.ed. Londres: IntechOpen, 240.