



ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO COMO INDICADORES DA DEGRADAÇÃO DO SOLO

CAMILA CALAZANS DA SILVA LUZ¹
JÚLIO CÉSAR LOURENÇO MELLO²
NATHALIA CHAGAS DE BRITO GOMES³
WILLIAN ROBERTO CECILIANO⁴
DEZIANY DA SILVA FERREIRA⁵

RESUMO: O manejo inadequado dos Neossolos Quartzarênicos intensifica processos erosivos e compromete a estrutura, a fertilidade e a sustentabilidade dos ecossistemas de pastagens. Este estudo teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e químicas de um Neossolo Quartzarênico sob três níveis de degradação (natural, moderado e degradado) na bacia do rio Caramujo, Mato Grosso. Amostras de solo deformadas e indeformadas foram coletadas nas profundidades de 0–0,10 e 0,10–0,20 m, e submetidas à determinação de densidade, porosidade, agregação, textura, pH, P, K, Ca, Mg, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). A análise de componentes principais indicou que os atributos MO, H^+Al , CTC a pH 7,0, CTC efetiva, soma de bases (SB) e V% foram os mais sensíveis à degradação do solo. Verificou-se que o avanço da degradação está diretamente associado à redução da matéria orgânica e da CTC, refletindo em perda de fertilidade e qualidade estrutural. Assim, a manutenção da cobertura vegetal e a adoção de práticas conservacionistas são essenciais para mitigar os impactos da degradação e garantir a sustentabilidade das pastagens em Neossolos Quartzarênicos.

PALAVRAS-CHAVE: Conservação do solo; Fertilidade; Qualidade física do solo; Pastagens.

PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF A QUARTZARENIC NEOSOL AS INDICATORS OF SOIL DEGRADATION

ABSTRACT: Inadequate management of Quartzarenic Neosols intensifies erosion processes and compromises the structure, fertility, and sustainability of pasture ecosystems. This study aimed to evaluate the physical and chemical properties of a Quartzarenic Neosol under three degradation levels (natural, moderate, and degraded) in the Caramujo River basin, Mato Grosso, Brazil. Deformed and undeformed soil samples were collected at depths of 0–0.10 and 0.10–0.20 m and analyzed for density, porosity, aggregation, texture,

¹ Doutora em ciência do solo. Faculdade Fasipe de Rondonópolis. Endereço eletrônico: camila.calazans@unemat.br

² Mestre em Química com Concentração em Química Analítica. Faculdade Fasipe de Rondonópolis. Endereço eletrônico: loureenco@hotmail.com

³ Mestre em Agrícola. Faculdade Fasipe de Rondonópolis. Endereço eletrônico: nathaliabrito_1037@hotmail.com

⁴ Mestre em Administração. Faculdade Fasipe de Rondonópolis. Endereço eletrônico: willianroberto@gmail.com

⁵ Doutora em Fitopatologia. Faculdade Fasipe de Rondonópolis. Endereço eletrônico: deziany28@hotmail.com



pH, P, K, Ca, Mg, organic matter (OM), cation exchange capacity (CEC), and base saturation (V%). Principal component analysis indicated that OM, H^+Al , CEC at pH 7.0, effective CEC, sum of bases (SB), and V% were the most sensitive attributes to soil degradation. The progression of degradation was directly associated with reductions in organic matter and CEC, reflecting losses in fertility and structural quality. Therefore, maintaining vegetation cover and adopting conservation practices are essential to mitigate degradation impacts and ensure the sustainability of pastures established on Quartzarenic Neosols.

KEYWORDS: Soil conservation; Fertility; Soil physical quality; Pastures.

1 INTRODUÇÃO

O uso do solo com pastagens para produção animal constitui uma das principais atividades agropecuárias do Brasil, especialmente na região Centro-Oeste, onde o sistema de pecuária de corte é amplamente adotado devido à sua viabilidade econômica e facilidade de implantação. Contudo, grande parte das áreas de pastagem está localizada em solos de baixa fertilidade natural, como os Neossolos Quartzarênicos, frequentemente manejados de forma inadequada, sem adoção de práticas conservacionistas (RIBEIRO; SOUZA; SILVA, 2020). Esse manejo extrativista resulta em alterações significativas nas propriedades físicas e químicas do solo, favorecendo processos de degradação que comprometem sua qualidade e, conseqüentemente, a sustentabilidade da atividade pecuária.

Entre os impactos mais evidentes do uso inadequado estão o aumento da densidade do solo, a compactação, a diminuição da porosidade, a perda de matéria orgânica e a redução da estabilidade dos agregados, o que afeta diretamente a infiltração de água, o crescimento radicular das plantas e a resistência à erosão (MEDEIROS; SOARES; MAIA, 2022). A estrutura do solo, nesse contexto, desponta como um dos principais indicadores da sua qualidade, pois influencia processos fundamentais como retenção hídrica, aeração e movimentação de nutrientes (ROCHA JUNIOR; DONAGEMMA; BALIEIRO, 2022). Ao mesmo tempo, atributos químicos como o teor de matéria orgânica, o pH e a disponibilidade de macro e micronutrientes também são sensíveis às alterações no uso e manejo do solo, refletindo diretamente o seu estado de conservação (REIS; LEITE; FIDELIS, 2021).

Apesar da relevância desses atributos, os Neossolos Quartzarênicos ainda são pouco estudados em relação à sua resposta às práticas de manejo sob pastagem, especialmente em regiões tropicais. A literatura carece de trabalhos recentes que abordem de forma integrada os atributos físicos e químicos desse tipo de solo como indicadores de degradação em sistemas produtivos, dificultando a adoção de estratégias de manejo sustentável voltadas à sua conservação (CARNEIRO; SOUZA; ARAÚJO, 2015).

Dessa forma, torna-se essencial compreender como diferentes níveis de degradação afetam os atributos físicos e químicos dos Neossolos Quartzarênicos sob pastagens, a fim de identificar parâmetros sensíveis à degradação e que possam ser utilizados no monitoramento da qualidade do solo. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes níveis de degradação em área de pastagem, buscando identificar atributos que possam atuar como indicadores da qualidade do solo e subsidiar práticas de conservação e recuperação.



O estudo foi realizado em uma fazenda próxima ao Distrito de Vila Progresso, no município de Salto do Céu, Mato Grosso, em solos classificados como Neossolos Quartzarênicos. Foram selecionados nove pontos amostrais em três tipos de ambientes: conservado, moderadamente degradado e degradado, considerando a cobertura vegetal e intensidade de erosão hídrica. Amostras deformadas e indeformadas foram coletadas em profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. No laboratório, foram analisados atributos físicos, como densidade, porosidade e agregação, e atributos químicos, incluindo pH, matéria orgânica, P, K, Ca e Mg, H⁺ Al. Técnicas de análise multivariada, como componentes principais, foram utilizadas para identificar os atributos mais sensíveis à degradação do solo.

Os resultados indicaram que atributos como matéria orgânica, pH, capacidade de troca de cátions e nutrientes como P e K foram os mais sensíveis à degradação, apresentando diferenças significativas entre os ambientes estudados. A agregação do solo mostrou-se diretamente afetada pelo manejo inadequado, sendo que macroagregados e microagregados evidenciaram processos erosivos e perda de nutrientes. Os dados reforçam que práticas conservacionistas podem melhorar a qualidade física e química do solo, mantendo sua capacidade produtiva e mitigando impactos da erosão hídrica. Esses achados indicam que os atributos analisados podem servir como indicadores eficientes de degradação em Neossolos Quartzarênicos sob pastagem.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fragilidade natural dos Neossolos Quartzarênicos e o papel da matéria orgânica na sua organização estrutural

Os Neossolos Quartzarênicos representam uma classe de solos pouco desenvolvidos do ponto de vista pedogenético, caracterizados pela expressiva participação de areia e pela presença mínima de minerais de alta atividade. Como consequência, exibem valores muito reduzidos de capacidade de troca de cátions (CTC) e baixo potencial de retenção de água e nutrientes ao longo do perfil (DONAGEMMA *et al.*, 2016). Em regiões tropicais com marcada sazonalidade hídrica, como o Centro-Oeste brasileiro, tais propriedades tornam esses solos altamente suscetíveis a processos de degradação quando explorados sem práticas conservacionistas, sobretudo devido à ação combinada de chuvas intensas, textura arenosa e débil coesão entre partículas (SANTOS *et al.*, 2018).

Fisicamente, o predomínio de partículas grosseiras e a pequena fração argilosa resultam em estrutura pedológica pouco consolidada. Nesse tipo de solo, a agregação costuma ser frágil e a porosidade depende mais da simples organização granulométrica do que da existência de uma estrutura estável (MELO; ALLEONI, 2009). Assim, a manutenção da integridade dos agregados está diretamente relacionada à contribuição de matéria orgânica, da atividade radicular e de exsudatos biológicos que atuam como agentes de cimentação. Na ausência desses componentes, o material tende a comportar-se como um arranjo de grãos soltos, facilmente desorganizados pelo impacto das chuvas, pelo escoamento superficial ou pelo pisoteio dos animais (FERREIRA *et al.*, 2018).

Do ponto de vista químico, a reduzida CTC desses solos implica duas consequências relevantes. A primeira diz respeito à baixa capacidade tampão, que os torna sensíveis a processos de acidificação gerados por adubações desequilibradas, remoção de bases e lixiviação (MELO; ALLEONI, 2009). A segunda refere-se à ineficiência na retenção de nutrientes como Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e fósforo, que são facilmente perdidos quando o sistema



não recebe manejo adequado (REIS; LEITE; FIDELIS, 2021). Dessa forma, os Neossolos Quartzarênicos constituem ambientes de baixa “reserva” química, altamente dependentes de aporte contínuo de matéria orgânica e de estratégias de manejo mineral bem planejadas.

Em solos arenosos, a matéria orgânica passa a assumir papel estrutural central. Além de representar parcela importante das cargas negativas que compõem a CTC, ajudando na retenção temporária de nutrientes (FRAZÃO *et al.*, 2008), a MOS promove o desenvolvimento de agregados mais estáveis ao conectar partículas minerais por meio de compostos húmicos, polissacarídeos, glomalina e outros exsudatos microbianos (PINTO *et al.*, 2022). Dessa forma, contribui simultaneamente para a melhoria da resistência dos agregados à ação mecânica e para a manutenção de poros estruturais.

Diante dessas particularidades, a literatura considera os Neossolos Quartzarênicos como solos extremamente frágeis, cuja sustentabilidade depende de elevada cobertura vegetal, aporte contínuo de material orgânico e manejo que minimize o pisoteio e a exposição direta da superfície (DONAGEMMA *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2018). Essa perspectiva fundamenta a hipótese central do presente estudo de que a condição física e química desses solos sob pastagem responde de forma marcada aos níveis de degradação, especialmente no que se refere à MOS, à CTC e à agregação do solo.

2.2 Degradação física e química de pastagens em Neossolos Quartzarênicos

2.2.1 Dinâmica de uso e mecanismos de degradação

Historicamente, a expansão das pastagens no Brasil sobre solos de baixa fertilidade, entre eles os Neossolos Quartzarênicos, ocorreu sob sistemas extensivos e pouco tecnificados, com baixa reposição de nutrientes, elevada pressão de pastejo e ausência de práticas conservacionistas (DIAS-FILHO, 2011). Nesses sistemas, a degradação tende a ocorrer de forma progressiva: o declínio do vigor da forrageira reduz o aporte de biomassa ao solo; a superfície desnuda intensifica o impacto das chuvas; e o pisoteio intensifica a compactação, alimentando um ciclo contínuo de perda de qualidade (GOMES *et al.*, 2019).

Em solos arenosos, tais processos são acelerados. A baixa estabilidade estrutural e o reduzido teor de MOS fazem com que pequenas reduções na cobertura vegetal resultem em maior selamento superficial, aumento da erosão e perda da agregação (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Isso coincide com os padrões observados no estudo, que evidenciam maior proporção de microagregados e distinções claras entre áreas conservadas, moderadamente degradadas e degradadas.

A degradação química acompanha esse processo físico. A exportação de nutrientes pelo pastejo, somada à ausência de adubação corretiva e ao declínio da MOS, provoca reduções nos teores de P e K, diminuição da saturação por bases e elevação da acidez potencial. Em solos com baixa CTC, esses efeitos são intensificados e exigem manejo mais cuidadoso, como calagem e adubação reequilibradora (FRAZÃO *et al.*, 2008; REIS; LEITE; FIDELIS, 2021).

2.2.2 Alterações estruturais: agregação, densidade e porosidade

A degradação de pastagens em Neossolos Quartzarênicos manifesta-se de forma evidente nas propriedades estruturais do solo. O diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) são amplamente empregados para expressar a estabilidade dos agregados e sua resistência à ruptura (FERREIRA *et al.*, 2010). Em áreas bem manejadas, espera-se predomínio de macroagregados formados pela interação entre



raízes, fungos e MOS. Já em áreas degradadas, prevalece a fragmentação dos macroagregados, resultando em maior participação de microagregados.

Os padrões observados no presente estudo — agrupamento de DMP e DMG com macroagregados e maior dissimilaridade dos microagregados — são coerentes com pesquisas que relatam fragmentação estrutural em áreas sob superpastejo (FERREIRA *et al.*, 2010; BURAK *et al.*, 2011). A quebra dos macroagregados gera microagregados relativamente resistentes, porém menos eficazes na manutenção de porosidade e na proteção da MOS.

A densidade do solo (Ds) e a porosidade total complementam esse diagnóstico. O aumento da Ds, especialmente nas camadas superficiais, é típico de pastagens submetidas a pisoteio intenso, o que reduz macroporosidade, dificulta a infiltração e restringe o crescimento radicular, impactando diretamente a produtividade e a resiliência da pastagem (SEVERIANO *et al.*, 2013; CAVALCANTI *et al.*, 2021).

2.2.3 Alterações químicas: MOS, CTC, pH e nutrientes

A análise de componentes principais (PCA) realizada no estudo mostrou que, na camada de 0–0,10 m, variáveis como P, K, H, MOS e CTC (efetiva e a pH 7) apresentam forte correlação com o Fator 1, evidenciando sua sensibilidade aos processos de degradação. Na camada subsequente (0,10–0,20 m), MOS e CTC continuaram entre os atributos mais influentes, revelando o papel central da matéria orgânica na dinâmica química desses solos.

A rápida resposta da MOS às mudanças de uso, já documentada na literatura para solos arenosos, explica a forte contribuição dessa variável na distinção dos ambientes avaliados (SANTOS *et al.*, 2010; SOARES *et al.*, 2023). Declínios na MOS reduzem as cargas negativas do complexo sortivo, diminuem a saturação por bases e intensificam a acidificação.

P e K, igualmente importantes no estudo, são nutrientes particularmente sensíveis em sistemas sem reposição adequada. Em solos de baixa CTC, perdas por lixiviação e escoamento tornam-se ainda mais acentuadas (REIS; LEITE; FIDELIS, 2021).

2.3. Indicadores integrados de qualidade do solo e manejo em Neossolos Quartzarênicos

2.3.1 Atributos físicos e químicos como indicadores

A seleção de indicadores sensíveis ao manejo é crucial para monitorar a qualidade do solo. Em solos arenosos sob pastagens, atributos como DMP, DMG, macro- e microagregados, densidade, porosidade, MOS, pH, CTC, teores de P, K, Ca, Mg, H+Al, V% e SB são frequentemente destacados como indicadores robustos (HERNANDES *et al.*, 2012; DONAGEMMA *et al.*, 2016).

A literatura evidencia que atributos como matéria orgânica do solo (MOS), capacidade de troca catiônica (CTC), pH, fósforo (P) e potássio (K) figuram entre os indicadores mais sensíveis às alterações decorrentes de processos de degradação. Considerando sua relevância e ampla utilização em estudos similares, esses parâmetros foram selecionados para compor as análises conduzidas na pesquisa.



2.3.2 PCA na seleção de atributos sensíveis

A análise multivariada, especialmente a PCA, é útil para reduzir a complexidade de grandes conjuntos de dados, identificando variáveis mais informativas (MANLY, 1994; ROSSETTI *et al.*, 2021). No estudo, a PCA destacou MOS e CTC como atributos centrais na diferenciação entre ambientes, juntamente com P, K e parâmetros de acidez.

Essas variáveis conectam diretamente os processos de degradação física — representados pela fragmentação dos agregados e pela compactação — às alterações químicas relacionadas à perda de MOS e nutrientes (PINTO *et al.*, 2022; SOARES *et al.*, 2023).

2.3.3 Manejo conservacionista, correção da acidez e aumento da MOS

Os achados apontam que a recuperação de pastagens degradadas em Neossolos Quartzarênicos exige intervenções integradas. Calagem, reposição nutricional, manejo adequado da lotação animal, uso de forrageiras adaptadas e incremento da cobertura vegetal figuram entre as estratégias mais eficazes (DIAS-FILHO, 2011; CHERUBIN *et al.*, 2018).

A calagem melhora as condições químicas e favorece a atividade biológica, enquanto práticas que aumentam o aporte de resíduos orgânicos — como pastejo rotacionado, adubação orgânica, ILPF ou consórcios com plantas de cobertura — contribuem para recuperar a estrutura física e elevar a CTC (FRAZÃO *et al.*, 2008; SOARES *et al.*, 2023).

Em síntese, a integração entre indicadores físicos e químicos — especialmente agregação, MOS, CTC, pH, P e K — constitui a abordagem mais eficiente para avaliar e monitorar a qualidade de Neossolos Quartzarênicos sob uso pastoral.

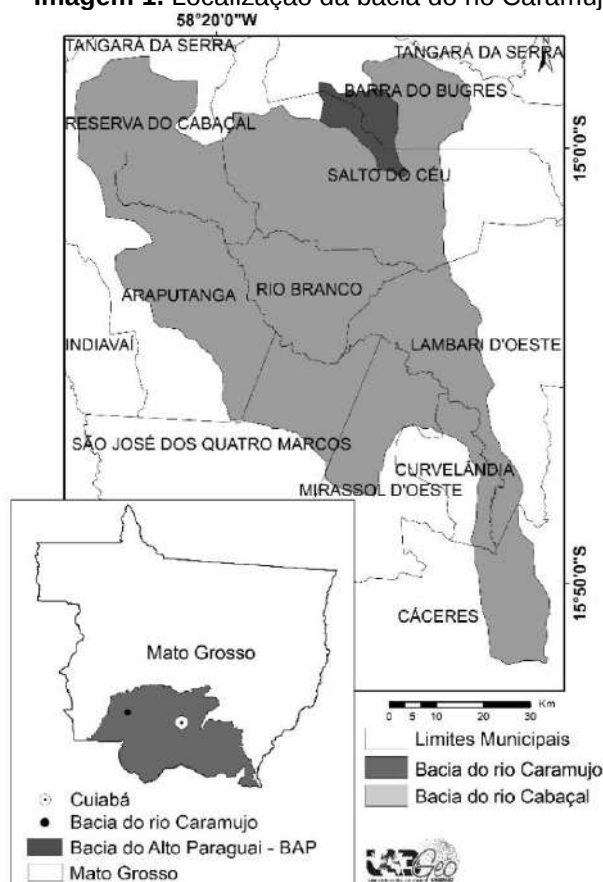
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

As coletas de solo foram feitas numa fazenda particular, situada próximo ao Distrito de Vila Progresso no município mato-grossense de Salto do Céu, no mês de novembro de 2013. Esta propriedade está contida na bacia do rio Caramujo, tributário do rio Branco, que por sua vez é afluente do rio Cabaçal, que desagua no Pantanal mato-grossense. A extensão territorial da unidade hidrográfica investigada está distribuída nos municípios de Salto do Céu e Barra do Bugres (imagem 1).



Imagem 1. Localização da bacia do rio Caramujo/MT.



Fonte: Labgeo UNEMAT, 2014.

3.2 Procedimentos metodológicos

O solo da bacia do rio Caramujo foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico e pertencente à classe VI do sistema de capacidade de uso, segundo a classificação de (EMBRAPA SOLOS, 2006). O solo é limitante quanto à textura arenosa ao longo do perfil, a baixa capacidade de troca de cátions e a baixa capacidade de retenção de água, que se torna crítica, particularmente, nos anos que apresentam veranicos acentuados, além do risco de erosão mesmo em áreas pouco declivosas (SALES *et al.*, 2010).

Com auxílio de imagens do satélite Landsat 8, resolução 30x30 metros, foram selecionados 9 pontos amostrais para estudo de caso. Posteriormente, em campo, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo, considerando 3 ambientes de acordo com o estado da cobertura vegetal e intensidade de erosão hídrica: área degradada, onde se observou processo visível de erosão hídrica (voçorocas); área moderadamente degradada, em processo inicial de erosão hídrica (laminar e em sulcos); e áreas conservadas, mata nativa, que sofreram pouca ou nenhuma ação antrópica, sem processo visível de erosão hídrica (GALINDO *et al.*, 2008).

Para as coletas foi removida a vegetação em cada ponto de coleta para retirada das amostras indeformadas, por meio de anéis volumétricos em aço inox com 5 cm de diâmetro, e amostras deformadas, nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Posteriormente, o solo foi acondicionado em recipientes plásticos e transportado para o Laboratório de Pesquisa e Estudos em Geomorfologia Fluvial (LAPEGEF) da UNEMAT



de Cáceres, Mato Grosso. Foram analisadas as seguintes propriedades físicas: densidade do solo (Ds); densidade de partículas; porosidade total (Pt), textura, macroagregados (Ma), microagregados (Mi) e umidade gravimétrica (Ug). Essas amostras foram analisadas segundo a metodologia descrita pela Embrapa (1997).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação (agitador rotativo de Vagner), por 16 horas. A fração argila foi separada por sedimentação; a areia, determinada por tamisação e o silte, calculado por diferença.

As amostras com estrutura preservada em forma de torrão de solo foram levemente destorroadas, de forma manual, e passadas em peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha, secas à sombra; para as análises relativas à diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), através da técnica de peneiramento úmido, que utiliza o aparelho de oscilação vertical, com peneiramento úmido por 10 min. Foi utilizado um conjunto de cinco peneiras com as seguintes aberturas de malha: 2,0; 1,0; 0,50; 0,25 e 0,105 mm. O material retido em cada peneira foi colocado em estufa a 105 °C por 24 horas.

Para as análises químicas de rotina as amostras foram colocadas em sacos plásticos devidamente identificados nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, homogeneizadas e, enviadas para um laboratório especializado (PLANTE CERTO) em Várzea Grande, MT, para a determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, H + Al, pH e MO.

As técnicas de análise multivariada foram empregadas, especificamente a análise de componentes principais (Minitab, 2005), para distinção dos ambientes em função do grau de degradação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O DMP e o DMG se agruparam, formando um segundo grupo com macroagregados e por último com microagregados, sendo assim os microagregados são mais dissimilares em relação aos outros grupos. A tendência é de os valores de microagregados sejam superiores aos de macroagregados.

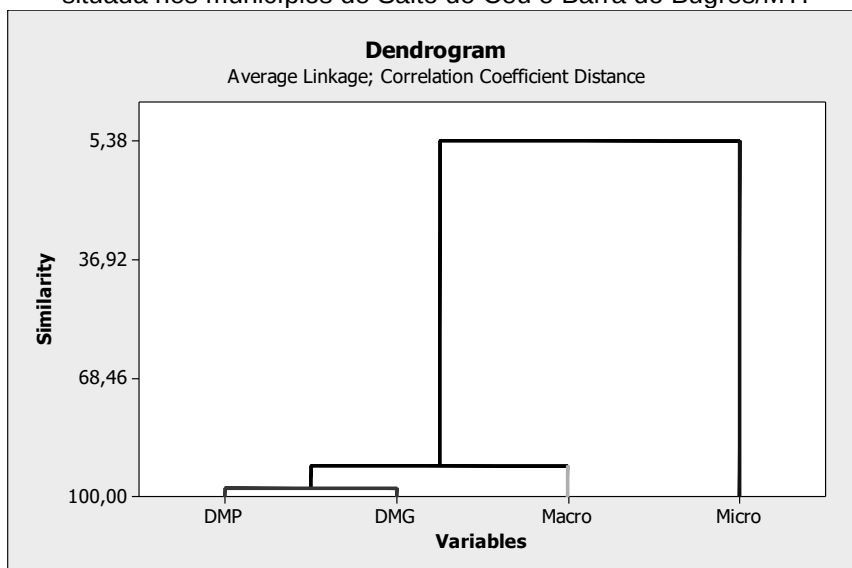
De acordo com Ferreira, *et al.* (2010), isso ocorre em pastagens que não empregam o controle do número de animais, como também, descuido quanto à altura de corte da forrageira, como ocorre na área estudada. Deve-se levar em consideração os processos erosivos que ocorreram nessas áreas da bacia, provocando o carreamento de partículas, perda de cobertura vegetal e consequentemente perda de nutrientes (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Os microagregados estáveis são unidos por agentes ligantes temporários (raízes ou hifas de fungos) e transientes (polissacarídeos derivados de microrganismos ou plantas), resultando em macroagregados (> 250 µm) (FERREIRA *et al.*, 2010). Podem atuar como importante reserva de nutrientes, principalmente em solos cultivados, devido à sua maior resistência à desagregação (BURAK *et al.*, 2011).

A figura 1 apresenta o arranjo por afinidade dos atributos, através do dendrograma baseado na distância euclidiana entre as parcelas, calculada a partir da matriz de correlação entre as variáveis selecionadas.



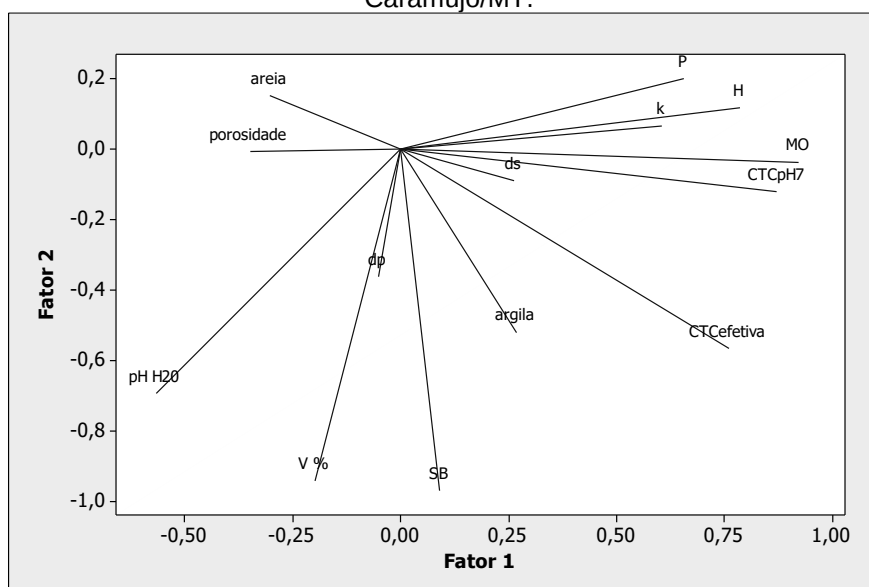
Figura 1. Agrupamento dos atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico na Bacia do rio Caramujo situada nos municípios de Salto do Céu e Barra do Bugres/MT.



Fonte: Própria (2013)

Como ferramenta para a distinção dos ambientes estudados, foram geradas dois componentes principais (Fator 1 e Fator 2) para os atributos físicos e químicos em conjunto, nas duas profundidades estudadas. A partir da relação entre esses componentes foram elaborados dois diagramas de projeção de vetores de acordo com a profundidade, para os atributos do solo que mais influenciaram nessa distinção, mostrando maior sensibilidade (Figura 2 e 3).

Figura 2. Diagrama de projeção dos vetores para os ambientes natural (N), moderadamente degradado (M) e degradado (D) nas profundidades de 0 – 0,10m de um Neossolo Quartzarênico, na Bacia do rio Caramujo/MT.



Fonte: Própria (2013)

Na figura 02 o Fator 1, gerado para os atributos, explicou (4,89 %) da variação total dos atributos estudados, e os maiores coeficientes de correlação ($\geq |0,70|$) foram

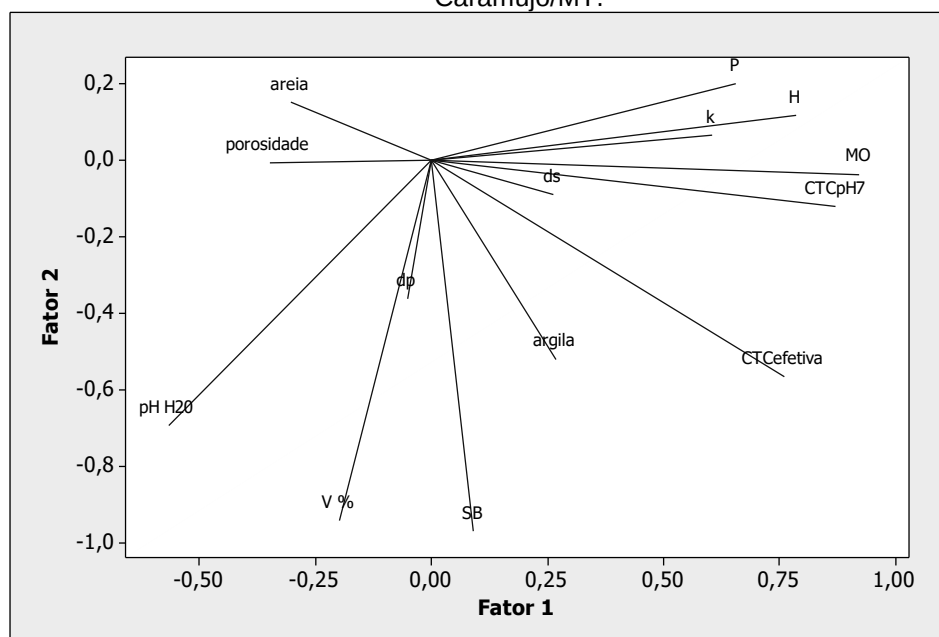


identificados para as variáveis P, K, H, MO, CTC_{efetiva} e CTC_{pH7} (Tabela 1), ou seja, esses atributos foram mais sensíveis na distinção dos ambientes. Isso pode ser visualizado no diagrama de projeção dos vetores, os atributos apresentam-se mais distantes do eixo do Fator 1. Já para o Fator 2, onde a variância explicada foi menor (2,80 %), os atributos (V% e SB) foram identificados como sensíveis na distinção dos ambientes, apresentando maior distância de seu vetor em relação ao eixo do Fator 2 (Figura 2).

A adoção de práticas conservacionistas pode ter efeito positivo sobre a matéria orgânica do solo, com reflexos diretos ou indiretos sobre as características químicas (FRAZÃO, 2008).

Os solos arenosos apresentam CTC muito baixa e dependem do teor de matéria orgânica (EMBRAPA, 2006). A vegetação nativa provê o material orgânico para o processo de mineralização, aumentando CTC e disponibilizando nutrientes para as plantas que se encontravam adsorvidos no solo. Entretanto, segundo com Dias Filho (1998), o superpastejo e o pastejo prematuro de áreas podem contribuir em grande parte para o aumento das perdas de nutrientes por erosão e lixiviação. Assim, é importante o uso de estratégias de adubação para promover maior disponibilidade e absorção de nutrientes.

Figura 3. Diagrama de projeção dos vetores para os ambientes natural (N), moderadamente degradado (M) e degradado (D) nas profundidades de 0,10 – 0,20m de um Neossolo Quartzarênico, na Bacia do rio Caramujo/MT.



Fonte: Própria (2013)

O Fator 1, gerado para os atributos, explicou (4,32%) da variação total dos atributos estudados, e os maiores coeficientes de correlação ($\geq |0,70|$) foram identificados para as variáveis H, MO e CTC_{pH7}, CTC_{efetiva} (Tabela 1), apresentaram correlação positiva, ou seja, os valores desses atributos aumentam conforme diminui o nível de degradação dos ambientes. Estes atributos mostraram-se sensíveis na distinção de ambientes, e podem ser usados como indicadores de níveis de degradação do solo por erosão hídrica.

Em relação a matéria orgânica acumulada nos solos, neste caso, é resultante, principalmente, da decomposição dos resíduos vegetais depositados na superfície sua e das raízes provenientes das plantas. Essa acumulação, porém, é mais acentuada nas



camadas superficiais no caso de áreas de pastagens (SANTOS *et al.*, 2010). Os solos arenosos possuem baixo teor de matéria orgânica, portanto, para a elevação desses níveis e da CTC do solo é necessário um tempo maior de implantação em relação aos solos argilosos (FRAZÃO *et al.*, 2008).

O Fator 2 apresentou uma variância explicada menor (3,14 %), os atributos (V% e SB) foram identificados como sensíveis na distinção dos ambientes, apresentando coeficientes de correlação negativos, sendo assim, decrescem com o aumento do nível de degradação. Baixos valores de bases trocáveis que dificultam a manutenção de valores ideais de pH para o crescimento das plantas forrageiras. Esse comportamento pode ser explicado pela concentração dos sais solúveis no solo (salinização/ sodicidade), que pode ser característico de ambientes em processo de degradação (MARTINS *et al.*, 2010).

Tabela 1. Coeficientes de correlação dos componentes principais (Fatores 1 e 2) para os atributos químicos e físicos, em função do nível de degradação dos ambientes em um Neossolo Quartzarênico na Bacia do rio Caramujo/MT.

Propriedades	Profundidades			
	0,0 - 0,10m		0,10m – 0,20m	
	Fator 1 ⁽¹⁾	Fator 2 ⁽¹⁾	Fator 1 ⁽¹⁾	Fator 2 ⁽¹⁾
Ds	-0,095	-0,278	0,263	-0,090
Dp	0,111	-0,460	-0,053	-0,363
Porosidade	0,277	0,002	-0,350	-0,009
Argila	0,463	0,185	0,267	-0,521
Areia	-0,501	-0,103	-0,304	0,151
pH H ₂ O	-0,346	-0,680	-0,568	-0,696
P	0,747	-0,045	0,657	0,199
K	0,775	-0,206	0,604	0,064
H	0,858	0,275	0,785	0,116
M.O.	0,827	0,094	0,922	-0,038
CTC _{pH 7,0}	0,932	0,093	0,871	-0,121
CTC _{efetiva}	0,803	-0,387	0,760	-0,566
V %	-0,062	-0,953	-0,200	-0,945
SB	0,336	-0,904	0,090	-0,970
Variância Total (%)	4,8920	2,8064	4,3288	3,1465
Variância Acumulada	0,349	0,200	0,309	0,225

Fonte: Própria (2013)

⁽¹⁾ Fatores $\geq |0,70|$ são significativos (Manly, 1994). Ds: Densidade do solo, Dp: Densidade de partículas.

A calagem dessas áreas, além de elevar o pH do solo, aumenta a CTC (MIELNICZUK, 2004), auxiliada pelo maior nível de MOS (SILVA *et al.*, 1994). O aumento da CTC gera na maior retenção de Ca⁺², Mg⁺² e K⁺ e no aumento da saturação por bases, principalmente e nas camadas superficiais onde se concentra a maior quantidade de MOS (MIELNICZUK, 2004).

Em vista disso, indica-se que o manejo a ser utilizado nesta área deve consistir em práticas conservacionistas, que conservem matéria orgânica e cobertura do solo, considerando que estes constituem os componentes indispensáveis no desenvolvimento da estrutura e na manutenção de sua capacidade produtiva.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os atributos H^+Al , MO, CTCpH7, CTCefetiva, SB e V% mostraram-se sensíveis à degradação e podem ser empregados como indicadores de qualidade do solo em Neossolos Quartzarênicos. Recomenda-se a adoção de práticas conservacionistas e de manejo de pastagens que preservem a matéria orgânica e a cobertura vegetal para garantir a sustentabilidade dos sistemas produtivos na bacia do rio Caramujo.

REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4 ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355p.
- BURAK, D. L. et al. Estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2011.
- BURAK, D. L.; FONTES, M. P. F.; BECQUER, T. Microagregados estáveis e reserva de nutrientes em Latossolo vermelho sob pastagem em região de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.2, p.229-241, 2011.
- Cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 37, n. 4, p. 1103-1112, 2013.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; ARAÚJO, E. A. Qualidade física, química e biológica de Neossolos sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2015.
- CAVALCANTI, R. Q. et al. Compactação de solos sob pastejo em sistemas tropicais. *Soil & Tillage Research*, 2021.
- CHERUBIN, M. R. et al. Qualidade física e química de solos sob integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2018.
- DIAS FILHO, M. B. Pastagens cultivadas na Amazônia oriental brasileira: processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa-MG, 1998. p. 135-149.
- DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2011.
- DONAGEMMA, G. K. et al. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2016.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 1997. 212p.



EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

FAREGIA, N. K.; STONE, L. F. **Qualidade do solo e meio ambiente**. Santo Antônio de Goiás–GO. Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 35p.

FERREIRA, A. O. et al. Estabilidade de agregados em solos sob pastagens. **Ciência Rural**, 2010.

FERREIRA, R. R. M.; T FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina-PR, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FRAZÃO, L. A. et al. Dinâmica da matéria orgânica em solos arenosos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2008.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.43, n.5, p. 641-648, 2008.

GALINDO, I. C. L.; RIBEIRO, M. R.; SANTOS, M. F. A. V.; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 32, p. 1283-1296, 2008.

GOMES, J. B. V. et al. Degradação de pastagens e qualidade do solo em sistemas de pecuária no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2019.

HERNANDES, A. et al. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo em sistemas de produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 2012.

JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um MANLY, B. F. J. **Multivariate statistical methods**. 2.ed. London, Chapman & Hall, 1994. 215p.

MANLY, B. F. J. **Multivariate Statistical Methods: a primer**. 2. ed. London: **Chapman & Hall**, 1994.

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 34, p. 1883-1890, 2010.

MEDEIROS, A. S.; SOARES, T. M.; MAIA, S. M. F. Atributos físicos de Neossolos sob diferentes manejos no semiárido. **Revista Caatinga**, 2022.



MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. Química e mineralogia de solos tropicais altamente intemperizados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2009.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em ITAJUBÁ/MG. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v. 12, n. 3, p. 1-20, 2006.

MIELNICZUK, J. Interações manejo do solo-química. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

MINITAB. MINITAB QUALITY COMPANION. 2005: MINITAB: **Statistical software**. Disponível em: < <http://www.minitab.com> >. Acesso em: 2015.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES PINTO, L. A. S. R. et al. Carbono lábil e glomalina em agregados biogênicos de solos arenosos sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2022.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. R. G.; NEVES, J. C. L. Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 57, p. 545-553, 2010.

REIS, D.; LEITE, L. F. C.; FIDELIS, R. R. Atributos químicos de solos sob pastagem degradada e recuperada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2021.

ROCHA JUNIOR, P. R.; DONAGEMMA, G. K.; BALIEIRO, F. C. Estrutura do solo como indicador de sua qualidade em sistemas de produção no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2022.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 24-32, 2010.

SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de Neossolos Quartzarênicos submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Revista Ciência Agrotécnica**. Lavras-MG, v. 34, n. 3, p. 667-674, 2010.

SANTOS, A. C.; FERREIRA, E. M.; ARAÚJO, L. C. Propriedades químicas e físicas de solos em áreas sob pastagens em cerrado do norte do Tocantins. **Revista Acadêmica Ciência Agrária Ambiental**, Curitiba-PR, v. 7, n. 1, p. 55-63, 2009.

SANTOS, C. et al. Matéria orgânica do solo em sistemas de pastagem e seus efeitos na fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2010.

SANTOS, H. G. et al. Solos arenosos no Brasil: uso, manejo e conservação. **Documentos Embrapa**, 2018.



SANTOS, J. T.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; SILVA, D. S.; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G. Atributos físicos e químicos do solo de Áreas sob Pastejo na Micro Região do Brejo Paraibano. **Ciência Rural**. Santa Maria-RS, v. 40, n. 12, p. 2486-2492, 2010.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas-SP, v. 18, p. 541-547. 1994.

SOARES, D. A. et al. Frações de carbono em solos arenosos tropicais sob sistemas integrados de produção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2023.