

## CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DE INSELBERGS NO ESPÍRITO SANTO: EFEITOS DA ALTITUDE SOBRE A GRANULOMETRIA E QUÍMICA

Alex Justino Zacarias<sup>1</sup>, Hélio Arêas Crespo Neto<sup>1, 2</sup>, Gabriel Ramatis Pugliese Andrade<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, CEP: 28.013-602 - Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, [alexjustino12@gmail.com](mailto:alexjustino12@gmail.com), [gabriel.andrade@uenf.br](mailto:gabriel.andrade@uenf.br).

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense – campus Campos Centro, [hacresponeto@gmail.com](mailto:hacresponeto@gmail.com)

### Resumo

A variação altitudinal é um fator essencial que influencia o clima e, consequentemente, a formação dos solos. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar os atributos químicos e físicos dos solos ao longo de um gradiente altitudinal em ilhas de vegetação de inselbergs no Estado do Espírito Santo, Brasil. Foram selecionados quatro pontos de amostragem distribuídos entre 398 m e 527 m de altitude: Ponto 1 (398 m), Ponto 2 (475 m), Ponto 3 (513 m) e Ponto 4 (mata, 527 m). As análises químicas e físicas do solo foram realizadas conforme os procedimentos da Embrapa. Os resultados demonstram que a posição altitudinal e a cobertura vegetal influenciam diretamente os atributos físicos e químicos do solo. Nas áreas de afloramento rochoso (P1, P2 e P3), os solos foram mais rasos, arenosos e ácidos, enquanto o solo sob mata (P4) apresentou maior profundidade, maior teor de argila, pH mais elevado e menor acidez potencial.

**Palavras-chave:** Gradiente altitudinal. Atributos do solo. Fertilidade. Inselberg. Cobertura vegetal.

**Área do Conhecimento:** Agronomia

### Introdução

Inselbergs são afloramentos rochosos que surgem abruptamente acima das planícies (Porembski, 2007). Expostos à superfície, esses relevos sofrem intempéries e desenvolvem formas características dos granitos (Xavier, 2021), sendo comuns em relevos residuais, como nos campos de inselbergs (Corrêa et al., 2010; Maia e Nascimento, 2018).

Esses ecossistemas funcionam como refúgios de biodiversidade, abrigando vegetação exclusiva adaptada a condições ambientais extremas, como solos rasos, baixa retenção de água, deficiência de nutrientes, exposição ao vento e ao calor (Porembski et al., 1998; Oliveira et al., 2001; Larson et al., 2000; Oliveira e Godoy, 2007). A geomorfologia influencia profundidade e drenagem do solo, resultando em solos ácidos, pobres em nutrientes e com baixa capacidade de troca catiônica (Messias et al., 2011, 2013). Estudos em afloramentos rochosos do Norte Fluminense apontam que grande parte da CTC desses solos está ocupada por cátions potencialmente tóxicos, como  $H^+$  e  $Al^{3+}$  (Gomes, 2023).

Diante da singularidade desses ambientes e da escassez de estudos, especialmente sobre as ilhas de solo (Volkoff et al., 1984; Benites et al., 2001, 2003, 2005, 2007; Simas et al., 2005), torna-se essencial caracterizar seus atributos físicos e químicos. Essa informação pode subsidiar ações de conservação e uso sustentável (Jacomine, 1996; Santos et al., 2012).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar os atributos químicos e físicos dos solos ao longo de um gradiente altitudinal em ilhas de vegetação de inselbergs no Estado do Espírito Santo, Brasil.

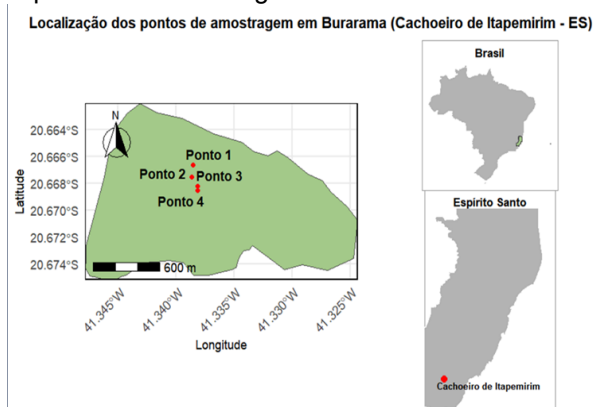
### Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida em um afloramento rochoso no Estado do Espírito Santo, Brasil. Na zona rural do Município de Cachoeiro de Itapemirim, no distrito de Burarama (20°41'06"S, 41°19'46"W) (Figura 1). O clima é classificado como Cwa, segundo a classificação de Köppen-Geiger. Trata-se de terras quentes, com temperaturas médias máximas variando entre 30,7°C e 34°C, e umidade relativa que, entre os meses de fevereiro e junho, caracteriza um clima parcialmente seco. A pluviosidade anual

## A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

é de 1.293 mm. A vegetação pertence aos domínios da Mata Atlântica, mais especificamente às Florestas Estacionais Semidecíduas, que se caracterizam pela perda de 20 a 50% das folhas das árvores (Veloso et al., 1991).

Figura 1- localização dos pontos de amostragem em Burarama – Cachoeiro de Itapemirim - ES



Fonte: Adaptada do Google Earth (2025), elaborado pelos autores com base em dados geográficos do estudo.

Foram selecionados quatro pontos de amostragem ao longo de um gradiente altitudinal, variando de 389 m a 527 m. Eles foram distribuídos da seguinte forma: ponto 1 (398 m), ponto 2 (475 m), ponto 3 (513 m) e ponto 4 (Mata) (527 m), como mostra na Tabela 1. Cada amostragem foi realizada em triplicata.

Tabela 1 - Localização e elevação dos pontos de amostragem

| Pontos | Identificação | Elevação (m) | Profundidade (cm) |
|--------|---------------|--------------|-------------------|
| P1     | Ponto 1       | 398          | 17                |
| P2     | Ponto 2       | 475          | 14                |
| P3     | Ponto 3       | 513          | 16                |
| P4     | MATA          | 527          | 22                |

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

As coletas foram realizadas em novembro de 2024 (Figura 2). Em cada ponto, amostras da camada superficial do solo foram retiradas com pá de jardinagem, acondicionadas em sacos plásticos identificados e transportadas ao Laboratório de Solos (LSOL) do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

Figura 2 - Pontos de coleta das amostras de solo



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

## A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

No laboratório, as amostras foram secas à sombra e à temperatura ambiente. Em seguida, foram peneiradas em malhas de 8 mm, 4 mm e 2 mm, para remoção de resíduos grosseiros e obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), conforme a metodologia de preparo descrita por Embrapa (1997).

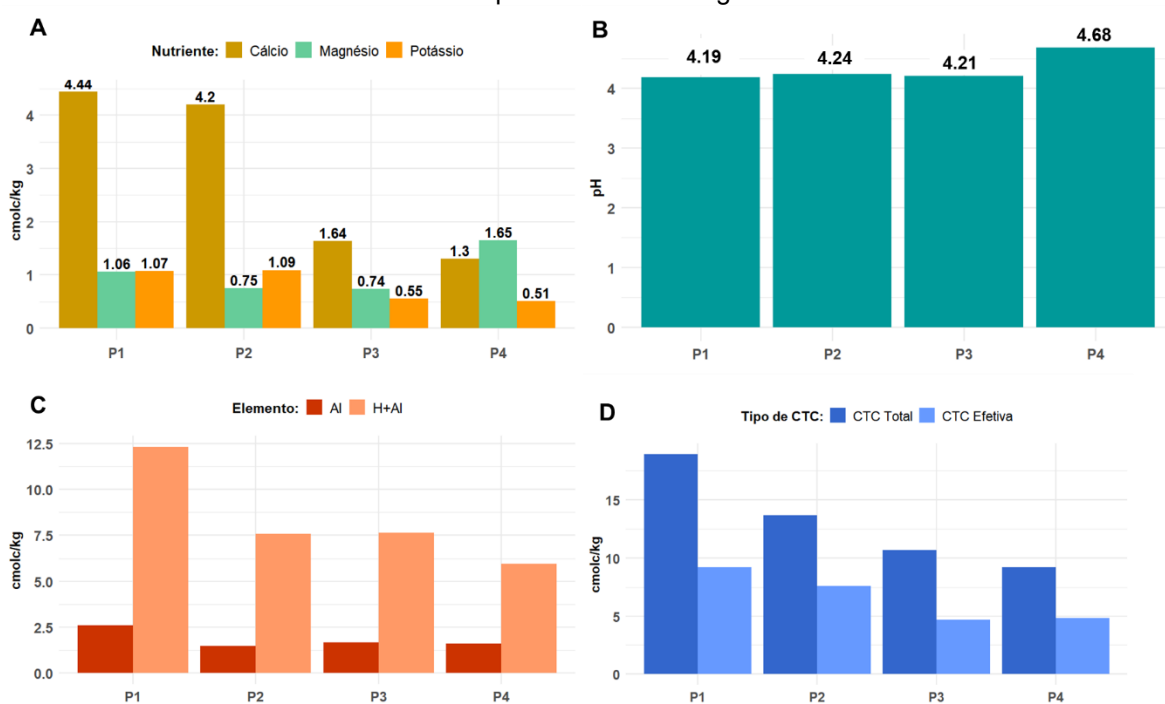
As análises químicas e físicas do solo foram realizadas de acordo com os procedimentos da Embrapa (1997). Foram determinados os seguintes atributos químicos: pH em água (1:2,5), fósforo (P), potássio (K), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), acidez potencial ( $\text{H}^+\text{+Al}$ ), capacidade de troca catiônica total (CTC total) e capacidade de troca catiônica efetiva (CTC efetiva). Quanto aos atributos físicos, foi determinada a granulometria do solo.

Os dados obtidos foram organizados em planilhas eletrônicas e analisados por meio de estatística descritiva e comparação de médias, a fim de caracterizar os atributos físicos e químicos do solo. Todas as análises foram conduzidas no software R, versão 4.3.2 (R Core Team, 2025).

### Resultados

Os resultados obtidos evidenciam diferenças nas características físicas e químicas do solo entre os pontos de amostragem, refletindo a influência do uso do solo e da cobertura vegetal (Figura 3).

Figura 3 – A) Distribuição dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  nos diferentes pontos de amostragem; B) Variação do pH do solo nos diferentes pontos de amostragem; C) Teores de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+\text{+Al}$  nos diferentes pontos de amostragem; D) Capacidade de troca catiônica total ( $\text{CTC}_t$ ) e efetiva ( $\text{CTC}_e$ ) nos diferentes pontos de amostragem



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A distribuição textural do solo variou entre os pontos (Figura 3). Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  foram mais altos em P1 (4,44 cmolc/kg) e P2 (4,20 cmolc/kg), enquanto P3 e P4 apresentaram menores valores (1,64 e 1,30 cmolc/kg).  $\text{Mg}^{2+}$  variou de 0,74 (P3) a 1,65 cmolc/kg (P4), e  $\text{K}^+$  foi mais elevado em P1 (1,07 cmolc/kg) e P2 (1,09 cmolc/kg), sendo menor em P3 (0,55) e P4 (0,51 cmolc/kg) (Figura 3A).

O pH do solo variou de 4,19 a 4,68 (Figura 3B), sendo menor em P1 (4,19) e maior em P4 (4,68). P2 e P3 apresentaram valores intermediários e próximos entre si.

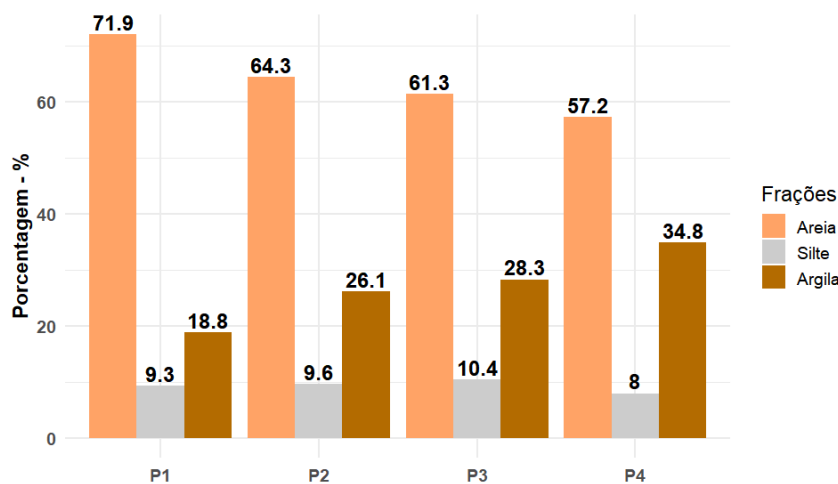
Os teores de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+\text{+Al}$  foram maiores em P1 (2,7 e 12,4 cmolc/kg) e menores em P4 (1,6 e 6,1 cmolc/kg), com P2 e P3 apresentando valores intermediários (Figura 3C).

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) total e efetiva seguiu o mesmo padrão (Figura 3D), com P1 apresentando os maiores valores (18,5 e 9,3 cmolc/kg) e P4 os menores (9,2 e 4,9 cmolc/kg).

## A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

A distribuição textural do solo variou entre os pontos (Figura 4). A areia predominou, de 57,2% (P4) a 71,9% (P1), enquanto o silte apresentou baixa participação (8,0 a 10,4%). A argila foi mais elevada em P4 (34,8%), área de mata, comparada aos demais pontos (18,8 a 28,3%).

Figura 4 – Distribuição percentual das frações granulométricas do solo (areia, silte e argila) nos diferentes pontos de amostragem



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

### Discussão

Os resultados evidenciam diferenças expressivas nos atributos físicos e químicos do solo entre os pontos de amostragem, relacionadas tanto à posição altitudinal quanto ao tipo de cobertura vegetal.

A fração areia predominou em todos os locais, variando de 57,2% (P4) a 71,9% (P1), enquanto o silte apresentou baixa participação (8,0 a 10,4%). A argila foi mais elevada em P4 (34,8%), correspondente à área de mata, em comparação aos demais pontos (18,8 a 28,3%). Esse maior teor de argila pode estar associado à menor suscetibilidade à erosão, ao maior acúmulo de matéria orgânica e à maior estabilidade estrutural, fatores que contribuem para a manutenção da fertilidade e qualidade do solo nessa área.

O pH variou de 4,19 (P1) a 4,68 (P4), indicando acidez em todos os pontos. Os solos das ilhas de vegetação sobre afloramentos rochosos (P1, P2 e P3) apresentaram valores mais baixos, refletindo maior acidez. Já P4, com mata contínua, apresentou o maior pH, sugerindo menor acidez e maior estabilidade química, favorecida pela cobertura vegetal e deposição de serapilheira. Resultados semelhantes foram observados por Conceição et al. (2007) em solos de ilhas vegetacionais sobre quartzito-arenito, devido à baixa profundidade e maior exposição às intempéries.

Os teores de  $Al^{3+}$  e  $H^+ + Al$  seguiram o mesmo padrão, sendo maiores em P1 (2,7 e 12,4 cmolc/kg) e menores em P4 (1,6 e 6,1 cmolc/kg), evidenciando a influência da vegetação nativa na regulação química do solo. Esse contraste sugere que a menor profundidade e maior exposição do solo nas ilhas de vegetação favorecem a lixiviação de bases e a acumulação de alumínio trocável, como também reportado por Barbosa et al. (2014).

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) total e efetiva refletiu essas diferenças. P1 apresentou os maiores valores (18,5 e 9,3 cmolc/kg), possivelmente devido à elevada acidez e presença de alumínio trocável, enquanto P4 apresentou menores valores (9,2 e 4,9 cmolc/kg), mas com melhor equilíbrio, condizente com menor acidez e maior ciclagem de nutrientes promovida pela vegetação florestal (Freitas et al., 2022).

Quanto aos nutrientes básicos, o cálcio foi mais elevado em P1 (4,44 cmolc/kg) e P2 (4,20 cmolc/kg), decrescendo até P4 (1,30 cmolc/kg). Essa distribuição sugere que, nas ilhas sobre afloramentos, a disponibilidade de Ca e K pode estar associada ao acúmulo localizado de matéria orgânica e menor intensidade de ciclagem biogeoquímica em comparação à mata (Freitas et al., 2022).

## A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

De forma geral, os solos das ilhas de vegetação sobre afloramentos rochosos apresentaram maior acidez, maiores teores de alumínio trocável e disponibilidade diferenciada de nutrientes, relacionadas à limitação física da profundidade, maior exposição às intempéries e baixa retenção de bases. Já o solo da mata destacou-se pelo maior pH, menor acidez potencial e maior teor de magnésio, refletindo o papel da cobertura florestal contínua na conservação da fertilidade e estabilidade química. Esses padrões corroboram estudos de Conceição et al. (2007) e Barbosa et al. (2014).

A relação entre os atributos químicos e físicos do solo com a posição altitudinal e a profundidade também merece destaque. Observou-se que os pontos localizados em maiores altitudes (P3 – 513 m e P4 – 527 m) apresentaram solos mais profundos (16 e 22 cm, respectivamente) e maior teor de argila, em comparação com os pontos de menor altitude (P1 – 398 m e P2 – 475 m), que apresentaram solos mais rasos (17 e 14 cm) e mais arenosos. Esse padrão indica que, à medida que a altitude aumenta e a cobertura vegetal se torna mais densa (caso da mata em P4), há maior acúmulo de material fino, maior estabilidade estrutural e condições mais favoráveis para a retenção de umidade e nutrientes. Já nas ilhas de vegetação sobre afloramentos rochosos (P1, P2 e P3), a menor profundidade, aliada à maior exposição às intempéries, favorece a lixiviação de bases e a acidificação do solo, comprometendo sua fertilidade. Assim, a interação entre altitude, profundidade e cobertura vegetal é determinante para explicar as diferenças observadas nos atributos físicos e químicos do solo.

### Conclusão

Os resultados demonstram que a posição altitudinal e a cobertura vegetal influenciam diretamente os atributos físicos e químicos do solo. Nas áreas de afloramento rochoso (P1, P2 e P3), os solos foram mais rasos, arenosos e ácidos, enquanto o solo da mata (P4) apresentou maior profundidade, maior teor de argila, pH mais elevado e menor acidez potencial. Além disso, cálcio e potássio predominaram nos pontos de menor altitude, enquanto o magnésio se destacou no solo sob mata. Esses padrões reforçam a importância da cobertura florestal contínua para a conservação da fertilidade e estabilidade química dos solos em ambientes de afloramentos rochosos.

### Referências

- BARBOSA, R. I.; CAMPOS, C.; PINHEIRO, M. R.; FEARNside, P. M. Relações solo-vegetação em “ilhas” florestais e savanas adjacentes, no nordeste de Roraima. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 3, p. 583-597, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/ZHkHn6G4bp6gS7SrhFk873f/>
- BENITES, V. M. Caracterização de solos e de substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2001.
- BENITES, V. M. et al. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma*, 127: 104-113. 2005.
- BENITES, V. M. et al. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira de Botânica*, 30: 569-577. 2007.
- BENITES, V. M. et al. Solos e vegetação nos Complexos Rupestres de Altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Revista Floresta e Ambiente*, 10: 76-85. 2003.
- CORRÊA, A. C. DE B.; TAVARES, B. DE A. C.; MONTEIRO, K. DE A.; CAVALCANTI, L. C. DE S.; LIRA, D. R. DE. Megageomorfologia e morfoestrutura do planalto da Borborema. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, 31 (1/2), 35-52. 2010.
- FREITAS, C. A.; SOUZA, R. C.; PEREIRA, M. G.; CALDEIRA, M. V. W.; COUTO, D. R.; KUNZ, S. H.; MOREAU, J. S.; DIAS, H. M.; MOMOLLI, D. R. Contribution of *Pseudobombax aff. petropolitana* to Nutrient Cycling in Woody Vegetation from a Neotropical Inselberg. *Floresta e Ambiente*, v. 29, n. 4, e20220034, 2022. DOI: 10.1590/2179-8087-floram-2022-0034



## A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

GOMES, R. A. C. Atributos do solo em ilhas de vegetação sobre afloramentos graníticos no Morro do Itaoca, Campos dos Goytacazes (RJ). Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ. 107 p. 2023.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatingas – Características e usos agrícolas. In: ALVARES, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTE, S. M. P. F. (eds.) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG, SBSC/UFV/DPS, p. 95-111. 1996.

LARSON, D. W.; MATTHES, U.; KELLY, P. E. Cliff Ecology: Patterns and Process in Cliff Ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge. 340 p. 2000.

MAIA, R. P.; BASTOS, F. DE H.; NASCIMENTO, M. A. L.; LIMA, D. L.; CORDEIRO, A. M. N. Paisagens graníticas do Nordeste Brasileiro. Fortaleza: Edições UFC. 2018.

MESSIAS, M. C. T. B. Fatores ambientais condicionantes da diversidade florística em campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Dep. Geol. PhD, 139 p. 2011.

MESSIAS, M. C. T. B.; LEITE, M.G.P.; MEIRA NETO, J.A.A.; KOZOVITS, A.R.; TAVARES, R. Soil-Vegetation Relationship in Quartzitic and Ferruginous Brazilian Rocky Outcrops. Folia Geobotanica, 48: 509–521. 2013.

OLIVEIRA, R. B.; GODOY, S. A. P. Composição florística dos afloramentos rochosos do Morro do Forno, São Paulo. Biota Neotropica, 7(2), 37-48. 2007. <DOI: 10.1590/S1676-06032007000200004>

OLIVEIRA, R. F.; LIMA-VERDE, L. W.; ARAÚJO, F. S. Vegetação e flora de um inselbergue no município de Quixadá, CE, semi-árido do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 52., 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa/PB: SBB. p. 197. 2001.

ONCEIÇÃO, A. A.; GIULIETTI, A. M.; MEIRELLES, S. T. Ilhas de vegetação em afloramentos de quartzito-arenito no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. Acta Botanica Brasilica, v. 21, n. 2, p. 313-327, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/nttBYwQxCsLY9kc8Y9RSwzH/>

POREMBSKI, S. Tropical inselbergs: habitat types, adaptative strategies and diversity patterns. Revista Brasileira de Botânica, 30: 579-589. 2007.

POREMBSKI, S.; MARTINELLI, G.; OHLEMÜLER, R.; BARTHLOTT, W. Diversity and ecology of saxicolous vegetation mats on inselbergs in the Brazilian Atlantic rainforest. Diversity and Distributions, 4(3), 107-119. 1998. <DOI: 10.1046/j.1365-2699.1998.00013.x>

SANTOS, J. C. B. DOS; SOUZA JÚNIOR, V. S. DE; CORRÊA, M. M.; RIBEIRO, M. R.; ALMEIDA, M. DA C. DE; BORGES, L. E. P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 36, p. 683-695. 2012.

VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; MELFI, A. J. Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campos de altitude dos Estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 8: 277-283. 1984.

XAVIER, R. A. Processos geomorfológicos e evolução da paisagem no Semiárido. Revista Brasileira de Geociências Nordeste, Caicó, v. 7, n. 1, p. 59-69. 2021.

### Agradecimentos

Agradeço à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa que viabilizou a realização desta pesquisa.