

GEOLOGIA EM PERSPECTIVA

Territórios, Processos e Aplicações



Organizadores

Calvin da Silva Candotti, Fabricia Benda de Oliveira, Eduardo Baudson Duarte, Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira

Calvin da Silva Candotti
Fabricia Benda de Oliveira
Eduardo Baudson Duarte
Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira
(Organizadores)

**GEOLOGIA EM PERSPECTIVA: TERRITÓRIOS, PROCESSOS E
APLICAÇÕES**

VOLUME I

CCENS-UFES - Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n, Caixa Postal: 16, Guararema, Alegre-ES Telefax: (28) 3552- 8687, www.alegre.ufes.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Sul da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

G345 Geologia em perspectiva: territórios, processos e aplicações
[recurso eletrônico] / Organização, Calvin da Silva Candotti ...
[et al.]. - Dados eletrônicos. Alegre, ES : UFES, Centro de
Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, 2026.
140 p.: il.

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-65-02-44326-2

Modo de acesso: <https://geologia.ufes.br/e-book>

1. Petrologia. 2. Meio ambiente. 3. Educação. I. Candotti,
Calvin da Silva, 1989-. II. Título.

CDU: 551(81)

Elaborado por Manuela Barbosa Garcia – CRB-6 ES - 000980/O

Os textos apresentados nesse livro são de inteira responsabilidade dos autores. Os organizadores não se responsabilizam pela revisão ortográfica e gramatical dos trabalhos apresentados.

REITOR – UFES

EUSTÁQUIO VINÍCIUS DE CASTRO

DIRETOR DO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E DA SAÚDE - UFES

TAIS CRISTINA BASTOS SOARES

ORGANIZADORES DESSA OBRA

CALVIN DA SILVA CANDOTTI

FABRICIA BENDA DE OLIVEIRA

EDUARDO BAUDSON DUARTE

CARLOS HENRIQUE RODRIGUES DE OLIVEIRA

APRESENTAÇÃO

A produção deste trabalho é independente e surgiu da ideia e colaboração de professores, alunos e ex-alunos do curso de Geologia do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, da Universidade Federal do Espírito Santo. Estão contidos neste livro 6 trabalhos apresentados na forma de capítulos e que abrangem temas relacionados às Geociências. O material contido nesta obra servirá de auxílio para estudantes, professores e profissionais da área das geociências em seus trabalhos e pesquisas.

LISTA DE ORGANIZADORES

Calvin da Silva Candotti. Geólogo Autônomo, e-mail: c4lvin1989@gmail.com

Fabricia Benda de Oliveira. Professora do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Alegre, ES, e-mail: fabricia.oliveira@ufes.br

Eduardo Baudson Duarte. Professor do Instituto Federal do Espírito Santo/Campus de Nova Venécia, ES, e-mail: eduardo.duarte@ifes.edu.br

Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira. Professor do Instituto Federal do Espírito Santo/Campus de Alegre, ES, e-mail: carlos.oliveira@ifes.edu.br

LISTA DE AUTORES

ALINE DE MENEZES BREGONCI

BRENO DA ROCHA BORGES

CAROLINE CIBELE VIEIRA SOARES

DANIEL ANDRADE MIRANDA

EDGAR BATISTA DE MEDEIROS JÚNIOR

EDUARDO BAUDSON DUARTE

GABE ARRUDA BOLZAN

JULIA CARDOSO FAIOLI

KÉCILA VITÓRIA DA COSTA SILVA

LAÍS DE CARVALHO FARIA LIMA LOPES

MARIA CAROLINA DA CRUZ FERREIRA

MATHEUS FERREIRA MANDARINO

MIRNA APARECIDA NEVES

RENAN DE MIRANDA BARBOSA

TAMIRES VELASCO NEVES

VÍVIAN COSTA DOS SANTOS PESSIN

SUMÁRIO

OCORRÊNCIA DE IGIMBRITOS NO MUNICÍPIO DE SÃO MATEUS, NORTE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Vívian Pessin; Eduardo Duarte..... 7

MORFOLOGIA, GEOQUÍMICA E MINERALOGIA DOS SEDIMENTOS ORNITOGÊNICOS DO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO

Julia Faioli; Eduardo Duarte.....33

EROSÃO COSTEIRA NO ESPÍRITO SANTO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DAS EVIDÊNCIAS, INTERVENÇÕES E ESTRATÉGIAS DE GESTÃO

Laís Lopes; Gabe Bolzan; Breno Borges; Matheus Mandarinó.....49

FRAGILIDADE AMBIENTAL EM ÁREAS DE ATERRO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE NOVA VENÉCIA – ES

Kécila Silva; Eduardo Duarte.....77

APLICAÇÃO DO MÉTODO GEOFÍSICO DE ELETORRESISTIVIDADE PARA PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DE ECOPORANGA, ESPÍRITO SANTO

Maria Carolina Ferreira; Daniel Miranda.....97

GEOEDUCAÇÃO EM PRÁTICA: CONTRIBUIÇÕES DO LABORATÓRIO DE MACROSCOPIA DA UFES PARA A FORMAÇÃO GEOCIENTÍFICA DE ESTUDANTES DA EDUCAÇÃO BÁSICA

Tamires Velasco; Renan Barbosa; Caroline Soares; Edgar Júnior; Mirna Neves; Aline Bregonci..... 125

**OCORRÊNCIA DE IGNIMBRITOS NO MUNICÍPIO DE SÃO MATEUS,
NORTE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

OCCURRENCE OF IGNIMBRITES IN THE MUNICIPALITY OF SÃO MATEUS,
NORTHERN ESPÍRITO SANTO STATE

Vívian Pessin; Eduardo Duarte

Vívian Costa dos Santos Pessin

Bacharela em Geologia

vivian.costa.2010@gmail.com

Eduardo Baudson Duarte

Doutor em Ciências Naturais

Professor no Instituto Federal do Espírito Santo

eduardo.duarte@ifes.edu.br

RESUMO

As rochas ignimbríticas são produtos de erupções explosivas formados pela deposição e consolidação de fluxos piroclásticos. No norte do Espírito Santo, estão relacionadas ao Complexo Vulcânico de Abrolhos, com idade aproximada de 60 Ma. Em São Mateus, afloram principalmente ao longo do Rio São Mateus, associados ao Arco de São Mateus. Este estudo objetiva reconhecer e caracterizar esses ignimbritos, contribuindo para o entendimento do magmatismo explosivo da Bacia do Espírito Santo. A metodologia envolveu revisão bibliográfica, trabalho de campo, descrição e coleta de amostras, análises petrográficas e geoquímicas. As rochas apresentam coloração amarelada a acinzentada, estrutura maciça e textura piroclástica. Microscopicamente, possuem matriz micro a criptocristalina, predominantemente sericitica, com quartzo e feldspato e feições de alteração. Os dados geoquímicos revelam baixos teores de SiO₂ e álcalis devido à lixiviação, contrastando com os ignimbritos riolíticos preservados de Abrolhos. As características petrográficas e geológicas indicam afinidade magmática comum, permitindo interpretar os ignimbritos de São Mateus como a porção continental fortemente alterada do mesmo evento eruptivo registrado em Abrolhos.

Palavras-chave. Complexo Vulcânico de Abrolhos; vulcanismo; fluxo piroclástico; desvitrificação; alteração hidrotermal.

ABSTRACT

Ignimbritic rocks are products of explosive eruptions formed by pyroclastic flows. In northern Espírito Santo, they are related to the Abrolhos Volcanic Complex, dated to approximately 60 Ma. In São Mateus, they crop out mainly along the São Mateus River, associated with the São Mateus Arch. This study aims to characterize these ignimbrites and contribute to the understanding of explosive magmatism in the Espírito Santo Basin. The methodology involved literature review, fieldwork, sampling, and petrographic and geochemical analyses. The rocks show yellowish to grayish colors, massive structure, and pyroclastic texture. Microscopically, they contain a micro- to cryptocrystalline, predominantly sericitic matrix with quartz and feldspar, as well as alteration features. Geochemical data reveal low SiO₂ and alkali contents due to leaching, contrasting with the preserved rhyolitic ignimbrites of Abrolhos. Petrographic and geological characteristics indicate a common magmatic affinity. São Mateus therefore represents the strongly altered continental portion of the same eruptive event.

Keywords. Abrolhos Volcanic Complex; volcanism; pyroclastic flow; devitrification; hydrothermal alteration.

INTRODUÇÃO

O Complexo Vulcânico de Abrolhos representa o maior centro eruptivo cenozoico da margem leste brasileira e é amplamente descrito na literatura por sua composição dominada por basaltos alcalinos e rochas piroclásticas, como tufos e ignimbritos (Mizusaki et al., 2002; Vieira & Ricardo, 2015). Entre esses produtos piroclásticos, destacam-se as rochas ignimbríticas, que correspondem a depósitos formados pela consolidação de fluxos piroclásticos gerados em erupções explosivas. Tais eventos eruptivos geralmente envolvem magmas de composição riolítica, dacítica ou andesítica (Novais et al., 2007; Sommer et al., 2003; Vieira & Ricardo, 2015).

A importância desses ignimbritos torna-se ainda mais evidente ao se considerar sua ocorrência no norte do Estado do Espírito Santo, onde a presença desses depósitos sugere episódios vulcânicos associados ao Complexo Vulcânico de Abrolhos na Margem Continental Leste Brasileira. Esse vulcanismo envolveu as bacias de Campos, Espírito Santo, Mucuri e Cumuruxatiba, sendo o último evento vulcânico da Bacia do Espírito Santo e relacionado à continuidade da Cadeia Vitória-Trindade. Essa cadeia constitui uma zona de fratura conectada a diversas outras zonas oceânicas, que, por sua vez, se estendem até a Cadeia Meso-Atlântica (Vieira & Ricardo, 2015). Nesse contexto, os ignimbritos dessa região estão associados a eventos de vulcanismo fissural e apresentam composição predominantemente riolítica (Novais et al., 2007; Vieira & Ricardo, 2015).

As ocorrências de rochas ignimbríticas no norte capixaba podem ser observadas relacionadas aos arenitos da Formação Rio Doce, pertencentes ao domínio da Bacia do Espírito Santo, bem como com os depósitos do Grupo Barreiras. Esses ignimbritos afloram ao longo do rio São Mateus, onde ocorrem encaixados em uma descontinuidade litosférica conhecida como Arco de São Mateus (ASM) (Vieira & Ricardo, 2015). Assim, o conjunto desses registros geológicos demonstra que a atividade vulcânica explosiva relacionada ao Complexo de Abrolhos teve papel significativo na construção do arcabouço geológico regional.

Nesse contexto, o estudo dos ignimbritos de São Mateus é relevante para compreender a evolução do vulcanismo cenozoico no norte do Espírito Santo. A caracterização macroscópica, petrográfica e geoquímica permite avaliar alterações hidrotermais, intempéricas e tectônicas e distinguir feições primárias das modificações pós-deposicionais. A comparação com os ignimbritos preservados do Complexo Vulcânico de Abrolhos contribui para discutir a

continuidade regional do evento eruptivo. Assim, este trabalho busca reconhecer e caracterizar os ignimbritos de São Mateus e sua relação com os registros vulcânicos de Abrolhos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na porção setentrional da Província Mantiqueira, no contexto do Orógeno Araçuaí. Na região norte do Espírito Santo, a evolução tectônica e magmática está relacionada à reativação de estruturas do embasamento e à formação do Arco de São Mateus, no qual se encontra encaixado o rio São Mateus (Heilbron et al., 2004; Pedrosa-Soares et al., 2007; Vieira & Ricardo, 2015).

Na região estudada, os depósitos piroclásticos estão associados ao Complexo Vulcânico de Abrolhos, uma importante manifestação vulcânica da Bacia do Espírito Santo. Esses depósitos foram posteriormente recobertos por sedimentos da Formação Rio Doce e do Grupo Barreiras, sendo parcialmente expostos pela erosão do rio São Mateus (Duarte, 2020; Motoki et al., 2007; Novais et al., 2007).

A reativação tectônica de estruturas do embasamento no norte do Espírito Santo está relacionada ao soerguimento da Plataforma de São Mateus e à instalação do Arco de São Mateus, estrutura que condiciona a exposição dos depósitos vulcânicos na região (Motoki et al., 2007; Novais et al., 2007).

COMPLEXO VULCÂNICO DE ABROLHOS

O Complexo Vulcânico de Abrolhos corresponde a uma sequência vulcanoclástica aflorante no Arquipélago de Abrolhos e no norte da Bacia do Espírito Santo (Figura 1). No continente, seus depósitos incluem rochas de composição intermediária a ácida, associadas a manifestações vulcânicas explosivas (Duarte, 2020; Novais et al., 2007).

O vulcanismo de Abrolhos representa uma importante fase magmática da Bacia do Espírito Santo, relacionada à evolução tectônica da margem continental. Os depósitos piroclásticos expostos no norte do estado incluem ignimbritos, que registram episódios de vulcanismo explosivo (Duarte, 2020; Maia et al., 2022).

Estudos realizados no norte do Espírito Santo identificaram depósitos vulcânicos de natureza explosiva, com composições variando de riolítica a dacítica. Entre esses depósitos se destacam os ignimbritos, importantes para a compreensão da evolução vulcânica da região (Duarte, 2020; Novais et al., 2007).

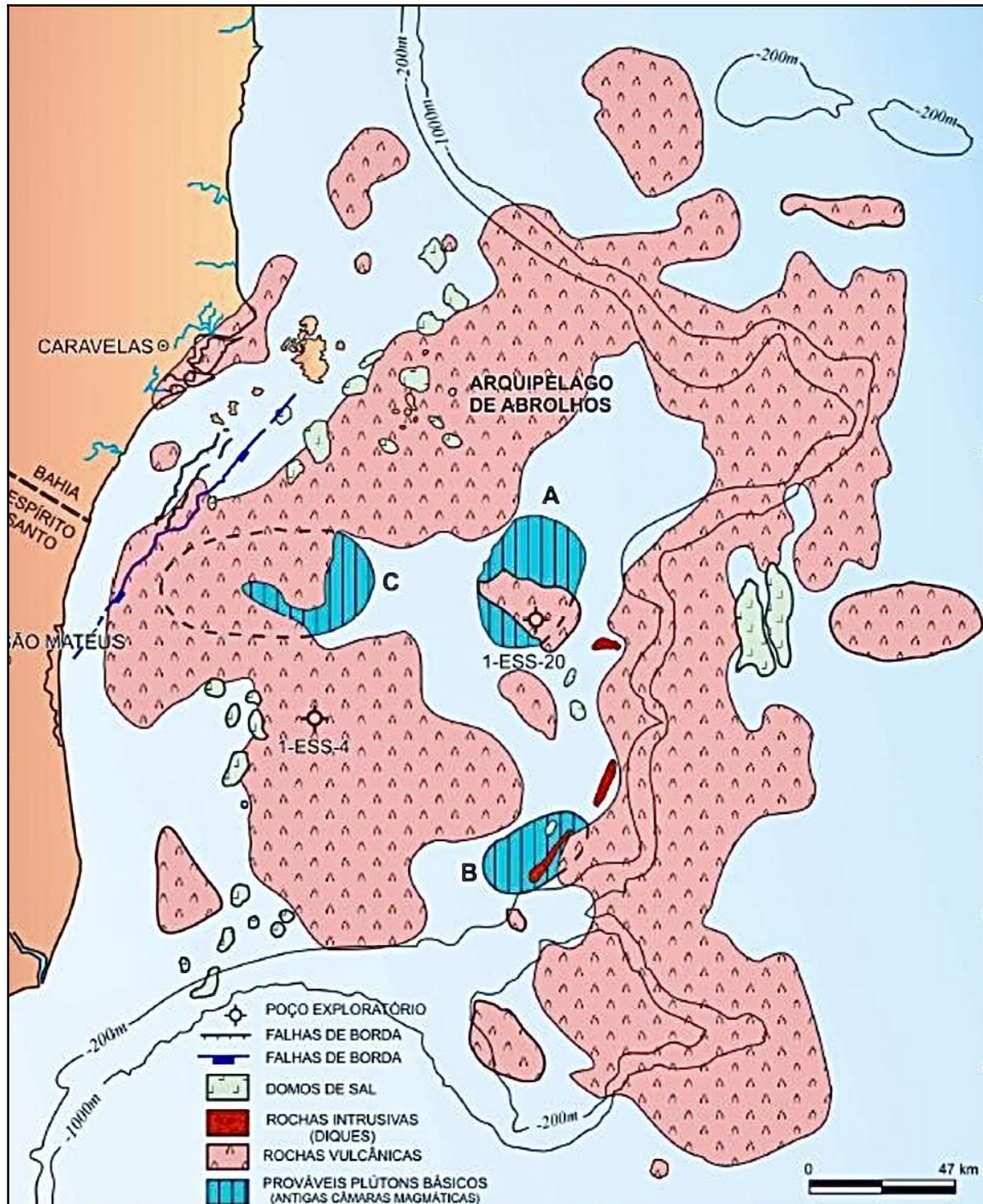


Figura 1. Mapa do Complexo Vulcânico de Abrolhos (Duarte, 2020).

Os ignimbritos associados ao Complexo Vulcânico de Abrolhos podem apresentar textura maciça a eutaxítica, com fragmentos pumíceos deformados, matriz vítrea ou recristalizada, litoclastos, quartzo e feldspatos. Essas características registram as condições de deposição e resfriamento do fluxo piroclástico. Após o resfriamento, os depósitos vulcanoclásticos foram recobertos por sedimentos mais jovens, enquanto a erosão posterior contribuiu para sua exposição atual (Motoki et al., 2007; Novais et al., 2007; Sommer et al., 2013).

Segundo Gomes & Suita (2010), a presença de fragmentos de rochas vulcânicas na base dos calcarenitos da Formação Caravelas sugere ligação com as últimas fases do vulcanismo de Abrolhos, especialmente com a extrusão de rochas de composição intermediária a ácida. Além disso, registros de rochas riolíticas e ignimbritos tanto sobre o embasamento cristalino nas áreas de São Mateus quanto em camadas intercaladas nos arenitos da Formação Rio Doce podem indicar origem comum e associação com os estágios finais do magmatismo terciário de Abrolhos.

DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS E FLUXOS PIROCLÁSTICOS

Os depósitos piroclásticos são formados durante erupções explosivas pela fragmentação do magma e/ou de rochas, com transporte de partículas em uma mistura de gases quentes e material vulcânico. Entre os principais mecanismos de transporte estão a queda, o surge e o fluxo piroclástico (Figura 2). Para a formação de ignimbritos, destaca-se o fluxo piroclástico, caracterizado por uma corrente quente e concentrada de partículas que se desloca lateralmente sob ação da gravidade, podendo preencher depressões do relevo (Cas & Wright, 1987; Sommer et al., 2003).

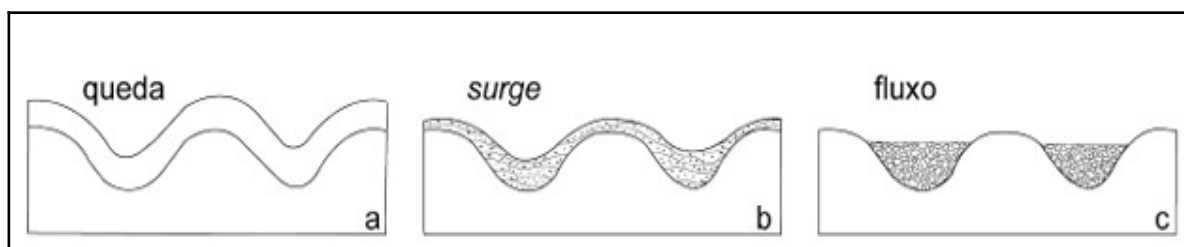


Figura 2. Relações geométricas dos três tipos básicos de depósitos piroclásticos sobre uma mesma topografia - (a) queda, (b) surge e (c) fluxo (Sommer et al., 2003).

IGNIMBRITO

O ignimbrito é uma rocha piroclástica formada pela deposição de materiais provenientes de fluxos piroclásticos quentes. É constituído principalmente por fragmentos de vidro vulcânico, púmice e cristais, podendo apresentar diferentes graus de soldagem. A soldagem não é obrigatória para a definição de ignimbrito, pois existem depósitos não soldados (Cas & Wright, 1987; Sommer et al., 2003).

No norte do Espírito Santo, os ignimbritos apresentam cristaloclastos de quartzo e K-feldspato, argilominerais, matriz vítrea finamente cristalina e textura piroclástica, geralmente com baixo grau de soldagem. Também podem ocorrer caulinita, limonita, vidro vulcânico, púmice e outras feições relacionadas à alteração hidrotermal e ao intemperismo (Novais et al., 2007; Vieira & Ricardo, 2015).

CARACTERÍSTICAS DEPOSICIONAIS E MODIFICAÇÕES PÓS-DEPOSICIONAIS

Os depósitos ignimbríticos são, em geral, mal selecionados e apresentam piroclastos com dimensões variadas, desde cinzas até blocos, inseridos em matriz rica em púmice, fragmentos vítreos e cristaloclastos. A deposição pode produzir corpos maciços ou estratificados, conforme a dinâmica do fluxo e as condições de emplacement (Cas & Wright, 1987; Sommer et al., 2003).

Os principais processos pós-deposicionais são a soldagem, a devitrificação e a cristalização da fase vapor. A soldagem promove a compactação e deformação dos fragmentos quentes; a devitrificação transforma o material vítreo por cristalização, principalmente de quartzo e feldspatos; e a fase vapor pode gerar novos minerais nos espaços e zonas de escape de gases (Scott, 1971; Sommer et al., 2003).

Macroscopicamente, os ignimbritos podem apresentar quartzo, feldspatos, fragmentos vítreos e matriz fina. Na região norte do Espírito Santo, a alteração pode ser evidenciada pela caulinitização de feldspatos e pela presença de minerais secundários, características importantes para a interpretação petrográfica das amostras (Novais et al., 2007; Vieira & Ricardo, 2015).

Microscopicamente, destacam-se a textura piroclástica, a matriz fina vítrea ou recrystalizada, cristaloclastos de quartzo e feldspatos e feições de alteração. Mesmo quando intensamente alteradas, essas características podem preservar evidências da origem

piroclástica e da afinidade originalmente ácida das rochas (Novais et al., 2007; Sommer et al., 2013).

MATERIAIS E MÉTODOS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente a pesquisa foi conduzida por meio de levantamento bibliográfico, revisão de estudos geológicos anteriores sobre os ignimbritos e a geologia regional do norte do Espírito Santo, tendo como fontes pesquisas aquelas elaboradas por órgãos oficiais como a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Petrobrás, e entre outros trabalhos acadêmicos publicados por autores reconhecidos na área. Além disso, foram elaborados mapas que auxiliaram nas etapas posteriores como mapa de localização, curvas de nível, geológico, magnetometria, ternário, canal do potássio e modelo digital de elevação, utilizando o *software* QGIS versão 3.28.15, Datum Sirgas 2000, Zona 24S, com os pontos visitados em campo, baseados em locais de ocorrência da rocha em estudos prévios.

AQUISIÇÃO DE DADOS DE CAMPO

A etapa de campo que ocorreu no dia 16/08/2025, compreendeu o mapeamento dos pontos previamente selecionados, onde segundo a literatura haviam indícios de afloramentos da rocha em estudo. Nesses locais, foram realizadas descrições detalhadas, a coleta de 5 amostras representativas dos ignimbritos (Figura 3) para análises laboratoriais em escalas distintas, além do registro fotográfico e coordenadas geográficas.

PREPARAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS E AMOSTRAS DE CAMPO

Primeiramente, ocorreu a confecção e análise de lâminas 4 delgadas (Tabela 1) em microscópio petrográfico para a identificação de minerais, possíveis estruturas e texturas características da rocha. Os dados obtidos foram integrados para com a correlação geológica, permitindo uma interpretação mais abrangente sobre a origem, evolução e o contexto tectônico dos ignimbritos na área de estudo.



Figura 3. Relação de amostras do ignimbrito coletadas em campo.

GEOQUÍMICA DE AMOSTRAS

Foram realizadas análises de três amostras (Tabela 1) selecionadas a partir do grau de intemperismo e análise petrográfica, por meio da técnica de Fluorescência de Raios-X (FRX), que permite determinar a composição química total das amostras de rochas.

Tabela 1. Relação de amostras e produtos associados.

Amostras	Ponto	Lâmina Delgada	Fluorescência de Raio-x (FRX)
IGN 1	P-IGN1	X	X
IGN 2	P-IGN1	X	X
IGN 3	P-IGN1	X	
IGN 4	P-IGN2		X
IGN 5	P-IGN1		

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA E MICROSCÓPICA DO IGNIMBRITO

O ignimbrito aflorante foi caracterizado quanto ao seu ambiente geológico (Figura 4) dimensões, feições macro e microscópicas e aspectos texturais, permitindo reconhecer suas principais características.

A rocha está exposta em cortes de encosta situados nas proximidades da Fazenda Boa Vista, na zona rural do município de São Mateus, a cerca de 150 m do curso d'água principal, em altitude aproximada de 26 m. O afloramento tem dimensões de aproximadamente 15 m de comprimento por 6 m de altura, formando blocos e paredões com cores que variam entre tons amarelados e acinzentados (Figuras 5A e 5B), com alteração superficial mais intensa nas porções diretamente expostas. Há variações no tamanho dos grãos e pontos de oxidação (Figura 5B), evidenciando alteração e possível gradação normal no corpo rochoso.

O ignimbrito apresenta coloração variando entre tons claros amarelados (Figuras 6A e 6B) e acinzentados (Figuras 6C e 6D), com manchas e revestimentos ferruginosos associados a processos de alteração. A matriz é fina a muito fina, mal selecionada, sustentando fragmentos de cristais visíveis de quartzo. São comuns fragmentos angulosos a subarredondados de quartzo, com dimensões milimétricas a centimétricas (Figura 6B), além de quartzo criptocristalino (calcedônia) frequentemente circundados por óxidos de ferro (Figura 6D).

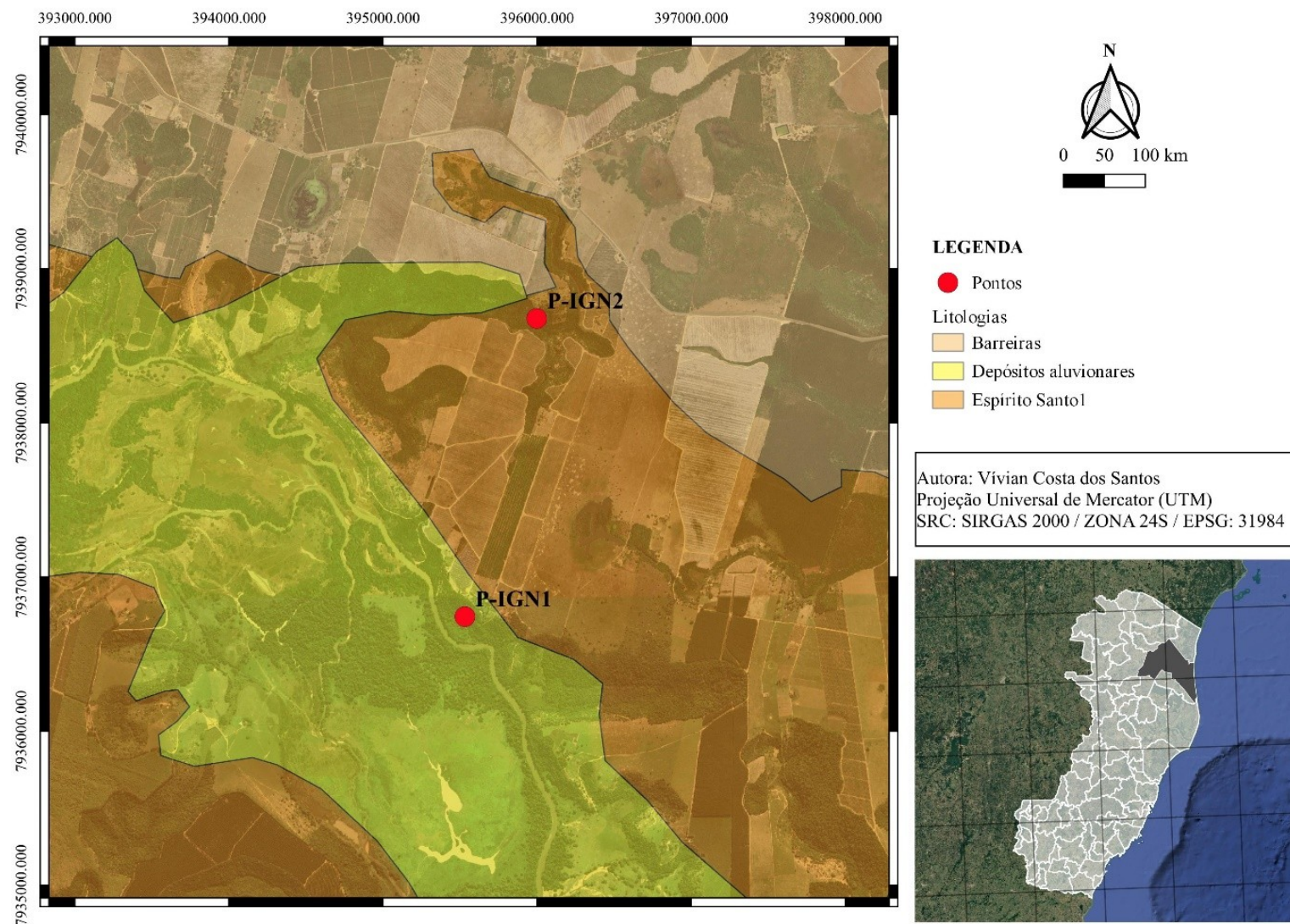


Figura 4. Mapa geológico com imagem de satélite.



Figura 5. A) Afloramento principal próximo a fazenda Boa Vista evidenciando um corte da rocha em estrada; B) Detalhe da mudança de granulação e pontos de oxidação.

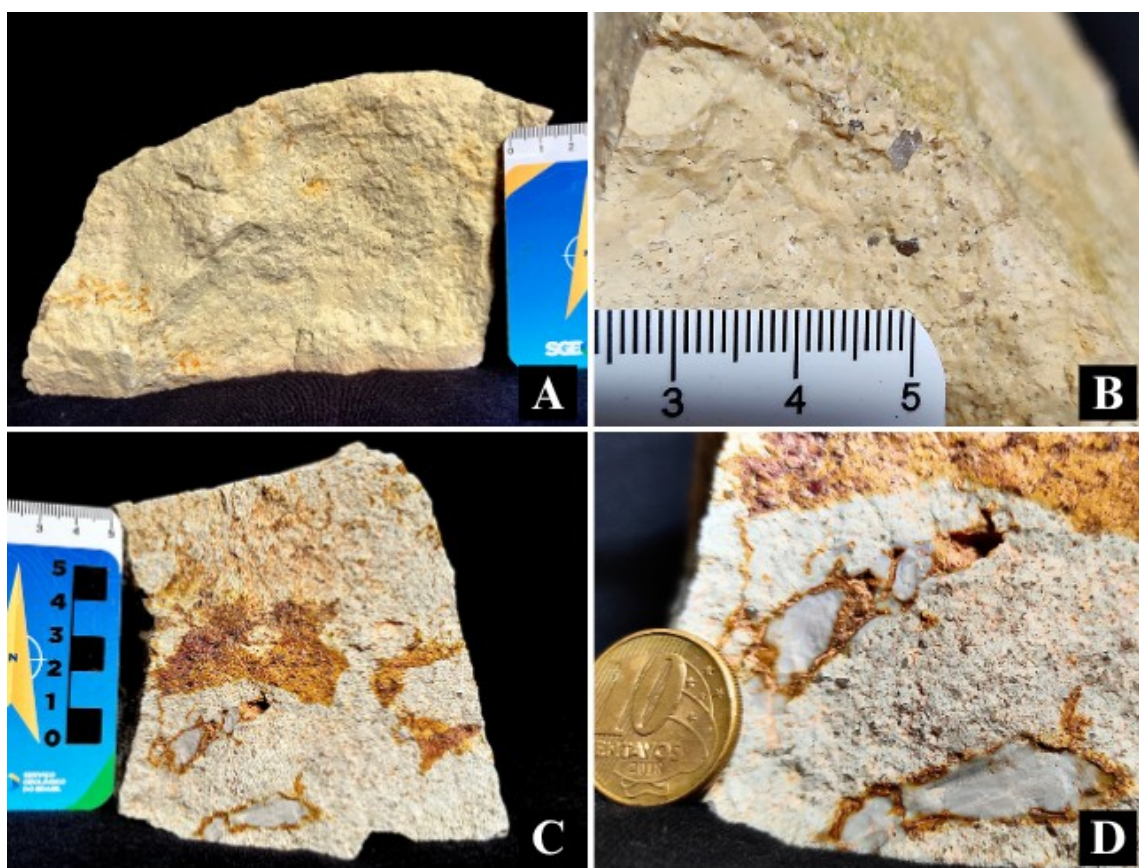


Figura 6. A) Amostra macro IGN 2.1; B) Imagem de detalhe da amostra IGN 2.1 evidenciando os fragmentos de quartzo subarredondados; C) Amostra macro IGN 1; D) Imagem de detalhe da amostra IGN 1 evidenciando o quartzo criptocristalino (calcedônia).

Em superfícies alteradas, a rocha apresenta caráter friável, desagregando-se facilmente devido à intensa formação de argilominerais, principalmente caulinita. A coloração varia de esbranquiçada a acinzentada, passando por tonalidades alaranjadas a avermelhadas em função da forte oxidação de minerais ferrosos (Figura 7A). As amostras exibem brilho terroso e matriz de granulação fina, que sustenta grãos de dimensões centimétricas a milimétricas. Destacam-se cristais angulosos a subarredondados de quartzo, distribuídos de maneira aleatória na matriz (Figuras 7C e 7D), bem como fraturas preenchidas por feldspato fortemente alterado para argilominerais, sobretudo caulinita (Figura 7B). Localmente, observa-se variação textural associada a diferentes intensidades de intemperismo, sugerindo heterogeneidade mineralógica e zonas preferenciais de alteração.

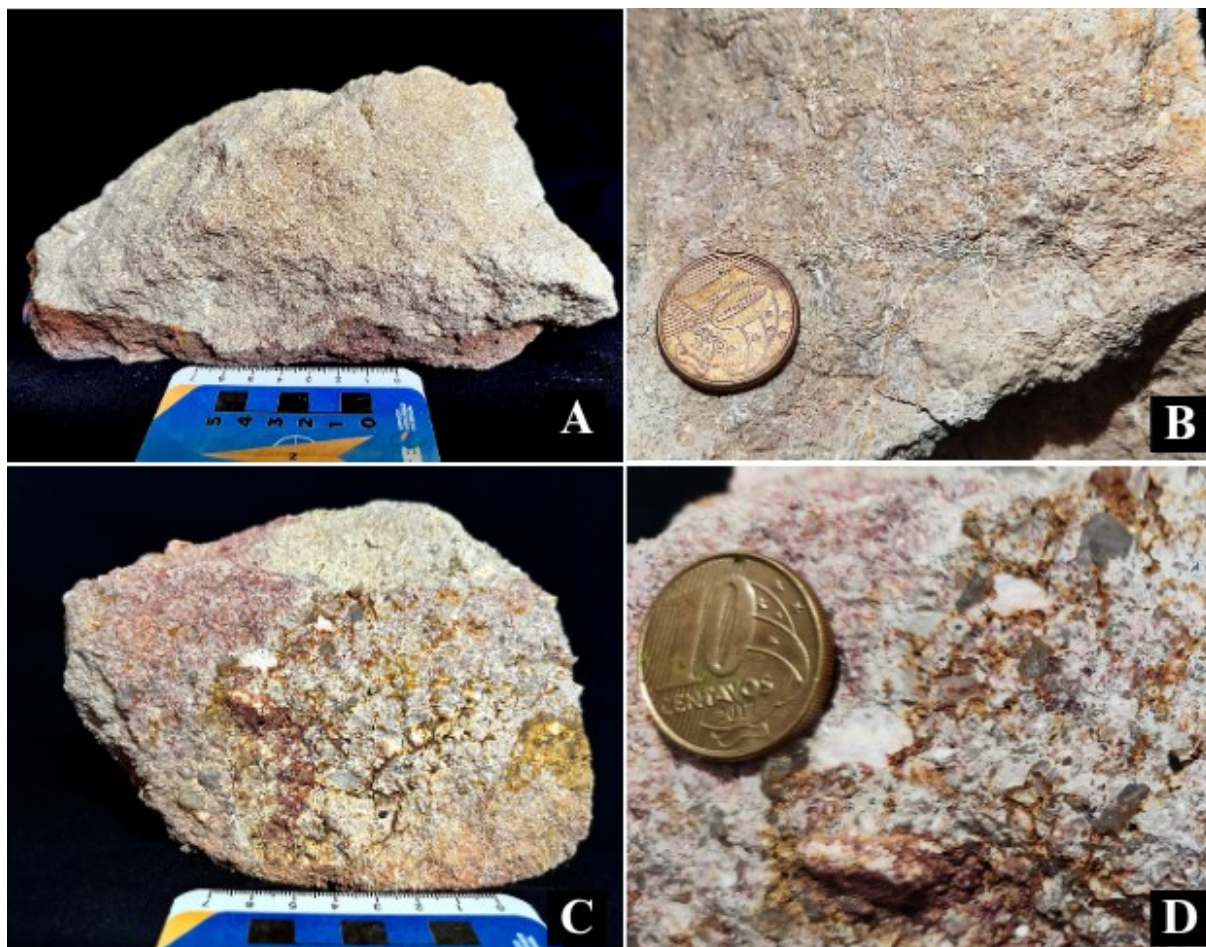


Figura 7. A) Amostra macro IGN 4; B) Imagem de detalhe da amostra IGN 4 evidenciando fraturas preenchidas por feldspato alterado (caulinita); C) Amostra macro IGN 5; D) Imagem de detalhe da amostra IGN 5 evidenciando quartzo anguloso a subarredondado em matriz.

Ao microscópio, a rocha exibe textura piroclástica, caracterizada por matriz amarronzada, em grande parte desvitrificada sob nicóis descruzados, de aspecto micro a criptocristalino, composta predominantemente por sericita.

Os principais minerais identificados são sericita (Ser), quartzo (Qz), feldspato, calcedônia (Ccd) e como acessórios os minerais opacos, epidoto (Ep), biotita (Bt), zircão (Zrn), rutilo (Rt) e muscovita. A sericita ocorre em grande parte na matriz da rocha com granulação muito fina, além disso, é possível observar pontos de concentrações onde o mineral encontra-se em dimensões maiores (Figuras 8A, 8B, 8C e 8D).



Figura 8. A) ND; B) NC- Concentração de sericita com dimensões maiores (Lâmina IGN 2.1/ 5x); C) ND; D) NC- Sericita na matriz com granulação muito fina (Lâmina IGN 1/ 5x).

O quartzo ocorre como grãos incolores, geralmente fragmentados, deformados com lamelas de deformação e extinção ondulante, variando de subédricos a anédricos (Figuras 9A e 9B). Também são frequentes grãos angulosos a subarredondados envolvidos por calcedônia, além de fenocristais com bordas de refusão (Figuras 9C e 9D). Os feldspatos apresentam-se incolores, anédricos, intensamente fraturados e sericitizados, sem maclas preservadas. A calcedônia, por sua vez, ocorre por vezes bordejando vesículas e fraturas e exibe extinção em cruz sob nicóis cruzados (Figuras 9E e 9F).

Os minerais opacos aparecem dispersos na matriz, anédricos a subédricos, como possíveis minerais de ferro. O epidoto ocorre pontualmente em grãos anédricos, amarelados, com leve pleocroísmo esverdeado (Figuras 10A e 10B). A biotita ocorre em grãos euédricos a anédricos, de coloração marrom, com clivagem bem marcada, birrefringência moderada e, em parte, cloritizada e sobre grãos de quartzo (Figuras 10C e 10D). Zircão e rutilo aparecem em pequenas proporções, em grãos pequenos de relevo elevado, com cores de interferência elevadas no zircão e geralmente encontra-se associado a fenocristais de quartzo (Figuras 10E e

10F) e o rutilo apresentando tonalidade marrom muito escura (Figuras 10G e 10H). A muscovita ocorre de forma pontual e euédrica, e clivagem preservada associada a fenocristais de quartzo.

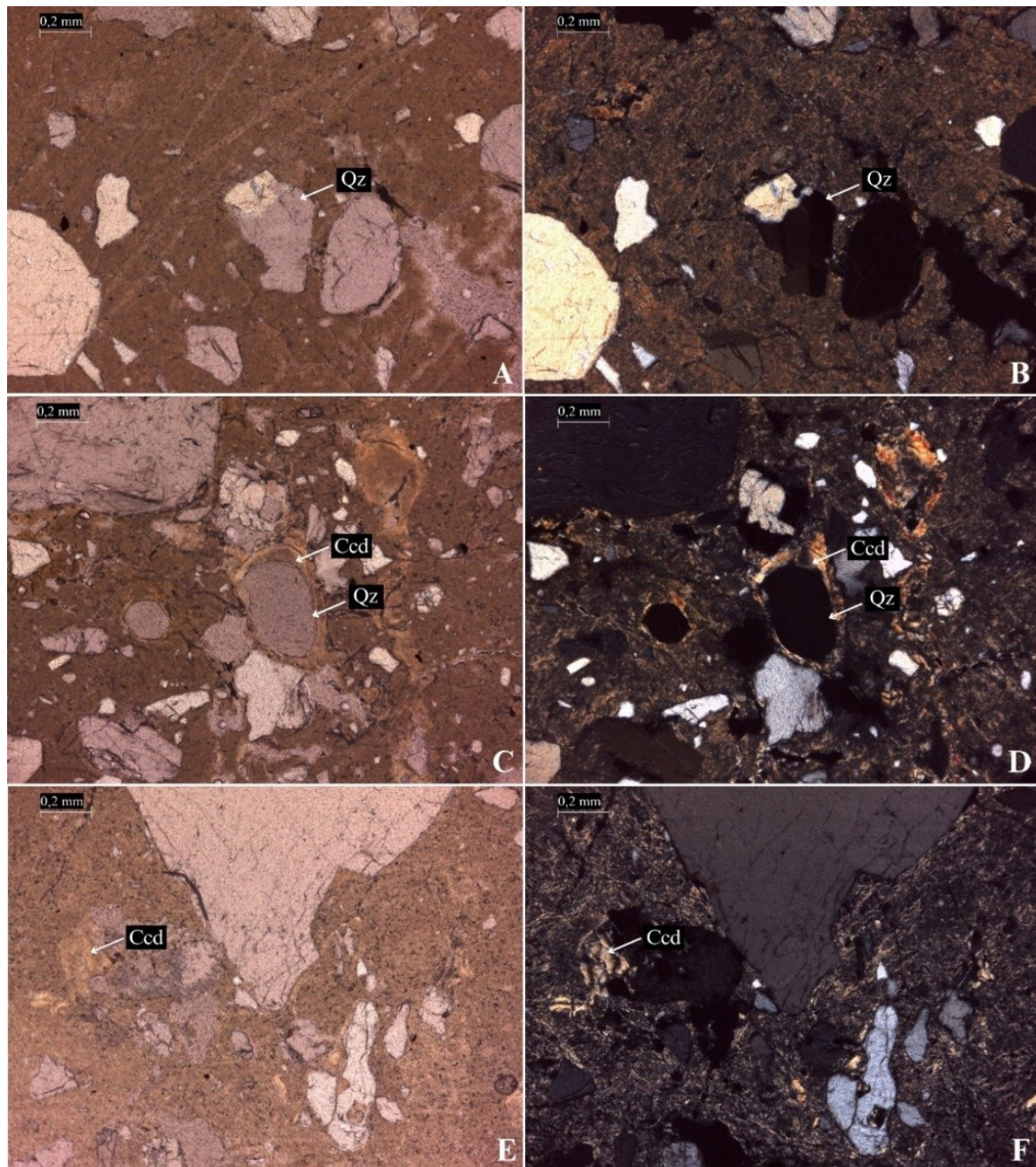


Figura 9. A) ND; B) NC- Grãos de quartzo deformados com lamelas de deformação, extinção ondulante e bordas de refusão (Lâmina IGN 1/ 5x); C) ND; D) NC- Grãos angulosos a subarredondados de quartzo envolvidos por calcedônia (Lâmina IGN 1/ 5x); E) ND; F) NC- Calcedônia com extinção em cruz sob nicóis cruzados (Lâmina IGN 2.1/ 5x).

Entre os aspectos texturais mais relevantes, destacam-se mudanças abruptas na granulação, concentrações localizadas de minerais opacos (Figuras 11A e 11B), além da ocorrência de fraturas frequentemente revestidas por sericita e calcedônia (Figuras 11C e 11D),

e vesículas parcialmente preenchidas por sericita indicando intensa alteração pós-deposicional (Figuras 11E e 11F). Observam-se, ainda, evidências generalizadas de oxidação, reforçando o caráter secundário de parte das transformações minerais (Figuras 11G e 11H).

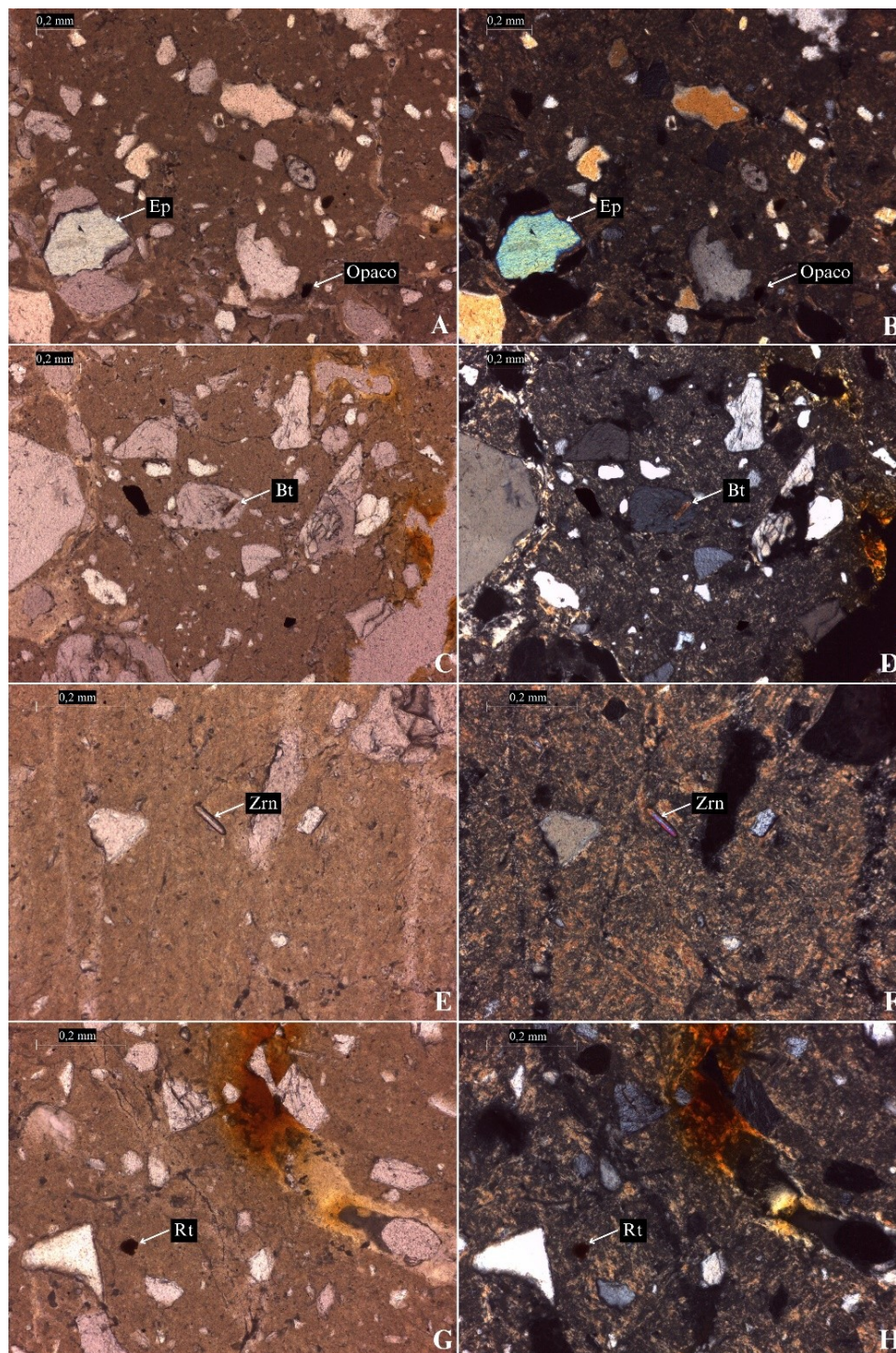


Figura 10. A) ND; B) NC- Minerais opacos dispersos na matriz, possíveis minerais de ferro. Epidoto com leve pleocroísmo esverdeado e birrefringência elevada (Lâmina IGN 1/ 5x); C) ND; D) NC- Biotita de coloração marrom e birrefringência moderada devido a cloritização (Lâmina IGN 1/ 5x); E) ND; F- NC- Zircão euédrico, alongado disperso na matriz (Lâmina IGN 2.1/ 10x); G- ND; H- NC- Rutilo pontual com coloração marrom escura (Lâmina IGN 1/ 5x).

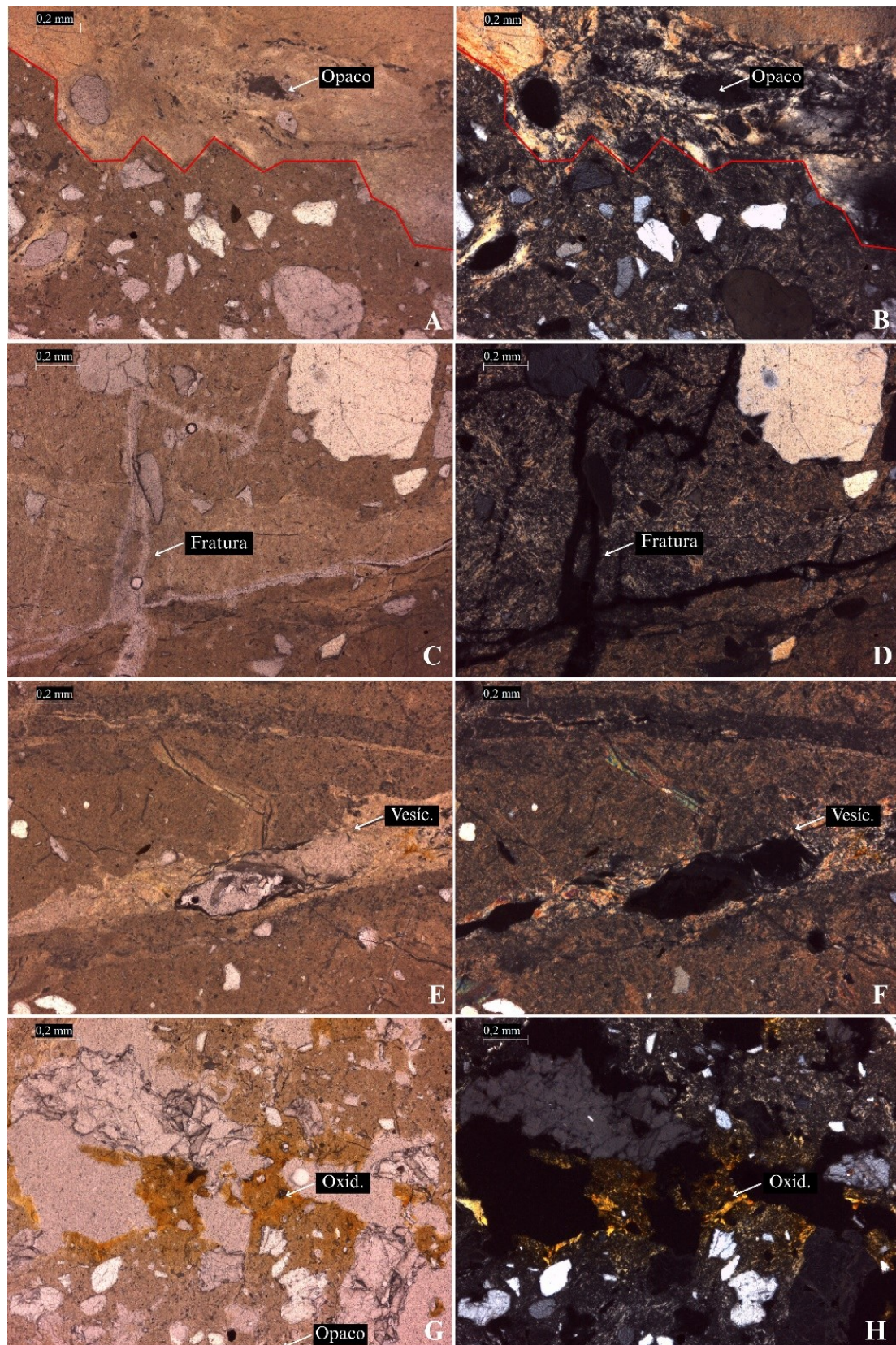


Figura 11. A) ND; B) NC- Tracejado em vermelho marcando a mudança abrupta na granulação e concentrações de minerais opacos (Lâmina IGN 1/ 5x); C) ND; D) NC- Fraturas bordejadas por sericita e calcedônia (Lâmina IGN 3/ 5x); E) ND; F) NC- Vesículas parcialmente preenchida por sericita (Lâmina IGN 2.1/ 5x); G) ND; H) NC- Pontos de oxidação (Lâmina IGN 1/ 5x).

GEOQUÍMICA DO IGNIMBRITO

Foram conduzidas investigações geoquímicas das amostras IGN 1, IGN 2 e IGN 4 (Tabela 2). Todas as amostras apresentam sinais de alteração, condição que pode interferir nos resultados finais.

Tabela 2. Dados geoquímicos das amostras de ignimbrito.

Óxidos		IGN 1	IGN 2	IGN 4
Al₂O₃	%	13,25	13,727	11,593
SiO₂		35,352	32,127	29,526
K₂O		0,163	0,197	0,974
TiO₂		0,76	0,662	0,398
Fe₂O₃		3,806	3,487	1,911
CaO	ppm	441,3	474,1	563
SO₃		182,9	214,4	163,3
V₂O₅		104,6	80,2	27,4
Cr₂O₃		144,2	94	222,5
MnO		35,5	8,7	11,4
P₂O₅		359,8	334,3	462
NiO		19,1	19,6	6,8
CuO		6,4	7,7	0
ZnO		24,6	42,4	31,2
Ga₂O₃		29,9	38	20,7
As₂O₃		1,9	0	0,8
Rb₂O		19,1	23,9	37,1
SrO		16,5	25,7	34,9
Y₂O₃		40,3	26,4	8,9
ZrO₂		670,8	300,1	169,3
Nb₂O₅		30,6	29,7	13,2
SnO₂		57,7	0	0
TeO₂		45,6	43,8	38,4
Yb₂O₃		23,7	16,6	16,8
HfO₂		20,7	13,6	0
Ta₂O₅		4,8	0	0
WO₃		4	0	0
Sb₂O₃		0	17,4	0
BaO		0	86	102,9
Nd₂O₃		0	59	0
IrO₂		0	0	1,4
PbO		0	0	40,4

ThO₂		0	0	7,1
Re		0	0	2,1
Total	%	53,33	50,2	44,399

Os resultados geoquímicos obtidos para as amostras do ignimbrito de São Mateus indicam um padrão composicional caracterizado por baixos teores de sílica (29,5–35,3%) e álcalis, especialmente K₂O (<1%). Fe₂O₃ e TiO₂ mostraram concentrações decrescentes do IGN 1 para IGN 4, com Fe₂O₃ variando de 3,81% a 1,91% e TiO₂ de 0,76% a 0,40%. Os teores de K₂O foram baixos em todas as amostras, destacando-se IGN 4 com 0,97%.

Para os elementos-traço, CaO variou de 441,3 a 563 ppm, SrO de 16,5 a 34,9 ppm e ZrO₂ apresentou uma redução significativa do IGN 1 (670,8 ppm) para IGN 4 (169,3 ppm). Outros elementos, como Nb₂O₅, Y₂O₃, Ga₂O₃, P₂O₅ e V₂O₅, também mostraram variações importantes entre as amostras, indicando heterogeneidade composicional. Alguns elementos, como Ta₂O₅, WO₃, ThO₂, PbO e Re, foram detectados apenas em amostras específicas, enquanto outros, como SnO₂ e Nd₂O₃, apresentaram ocorrência limitada.

A comparação entre os dados elementares dos ignimbritos de São Mateus e aqueles descritos para os ignimbritos da Formação Abrolhos revela diferenças marcantes na concentração dos principais óxidos. Apesar de ambos estarem relacionados ao mesmo evento vulcânico explosivo, os ignimbritos de São Mateus exibem teores de sílica muito inferiores aos valores típicos de riolitos preservados (75–80%). Esse empobrecimento acentuado em SiO₂, contrastando com os valores elevados registrados em Abrolhos, indica que as amostras de São Mateus passaram por intensa alteração pós-deposicional, resultando em lixiviação significativa da matriz vítrea original.

Elementos como Al₂O₃, Fe₂O₃ e TiO₂ apresentam concentrações relativamente mais altas em São Mateus quando comparados aos ignimbritos frescos de Abrolhos. Esse comportamento é coerente com processos de alteração, nos quais a remoção de sílica e álcalis torna a rocha quimicamente mais concentrada em óxidos menos móveis. A perda expressiva de K₂O, Na₂O e CaO nas amostras de São Mateus reforça essa interpretação, refletindo a mobilidade desses componentes durante intemperismo e alteração hidrotermal, ao contrário do que se observa nos ignimbritos de Abrolhos, onde tais elementos permanecem em teores compatíveis com rochas riolíticas pouco alteradas.

Portanto, embora as composições atuais dos ignimbritos de São Mateus e Abrolhos pareçam distintas, essa diferença não indica origens magmáticas distintas. Em vez disso, reflete

principalmente diferentes graus de preservação da assinatura original. Os ignimbritos de Abrolhos mantêm valores típicos de rochas riolíticas frescas, enquanto os ignimbritos de São Mateus registram uma composição profundamente modificada por processos de alteração, que mascararam seus teores primários de sílica e álcalis.

Além destes, também foi realizado uma comparação entre os dados geoquímicos dos ignimbritos do município de São Mateus, associado com o Complexo Vulcânico de Abrolhos e aqueles referentes aos ignimbritos da Formação Acampamento Velho, nos planaltos Taquarembó (Tabela 3) e Ramada (Tabela 4), localizados a sudoeste do Rio Grande do Sul, no extremo sul do Brasil, conforme apresentado por Sommer et al. (2013).

Tabela 3. Geoquímica das amostras representativas do ignimbrito do Planalto Taquarembó (Sommer et al., 2013).

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _t	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
	%						
CC25	75,42	11,01	3,60	0,31	3,96	3,71	0,41
CC188	72,61	12,72	3,91	0,41	3,90	4,31	0,34
CC74	72,55	12,84	3,12	0,20	4,19	4,31	0,46

Tabela 4. Geoquímica das amostras representativas do ignimbrito do Planalto Ramada. (Sommer et al., 2013).

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _t	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
	%						
RM52	75,55	11,44	3,12	0,15	5,06	4,95	0,04
RM111	73,46	11,65	1,84	0,11	4,35	4,29	0,02
RM36	71,50	13,39	1,40	0,11	4,68	4,58	0,03

A comparação entre os ignimbritos de São Mateus e os da formação Acampamento Velho revela diferenças geoquímicas significativas, controladas sobretudo pelo grau de evolução magmática e pelo nível de alteração pós-deposicional.

Os ignimbritos de Taquarembó e Ramada exibem teores elevados de SiO₂ (72–76%), valores coerentes com magmas riolíticos a dácitos, além de concentrações elevadas de álcalis (Na₂O + K₂O), típicas de rochas extrusivas ácidas pouco alteradas. Já as amostras de São Mateus apresentam SiO₂ muito inferior (29–35%), sugerindo forte lixiviação de sílica ou origem a partir de um magma mais intermediário a máfico inicialmente.

A alteração hidrotermal é evidenciada pela forte depleção em álcalis nos ignimbritos de São Mateus (K₂O < 1%), contrastando intensamente com os valores preservados das unidades

de Taquarembó e Ramada (K_2O entre 3,9% e 5,7%). Esse processo também explica o enriquecimento relativo de P_2O_5 em São Mateus, onde a remoção de sílica e álcalis acentua proporcionalmente óxidos mais resistentes como P_2O_5 e TiO_2 , resultando em valores muito superiores aos de Taquarembó e Ramada.

Por outro lado, óxidos menos móveis, como FeO , Al_2O_3 e TiO_2 , exibem faixas parcialmente sobrepostas entre todas as áreas, indicando que esses elementos preservam melhor a assinatura primária do magma, mesmo em sistemas alterados. Esse padrão reforça que as diferenças marcantes observadas em SiO_2 e álcalis refletem primariamente processos pós-deposicionais, e não apenas diferenças magmáticas.

Sendo assim, os ignimbritos aflorantes em São Mateus apresentam um conjunto expressivo de características macroscópicas, microscópicas e geoquímicas que permite interpretá-los como produtos diretos do vulcanismo explosivo associado ao Complexo Vulcânico de Abrolhos, último grande evento vulcânico cenozoico da Bacia do Espírito Santo (Motoki et al., 2007; Novais et al., 2007; Vieira & Ricardo, 2015). A relação entre essas rochas e o complexo é reforçada tanto pelo contexto geológico com afloramentos associados a Formação Rio Doce e à estrutura litosférica do Arco de São Mateus, quanto por suas feições texturais e mineralógicas, compatíveis com depósitos piroclásticos de alta temperatura.

Do ponto de vista petrográfico, os ignimbritos estudados apresentam matriz micro a criptocristalina, originalmente vítrea, amplamente desvitrificada e substituída por sericita, além de fragmentos de quartzo angulosos a subarredondados, alguns com lamelas de deformação, extinção ondulante e bordas de refusão. Feldspatos encontram-se intensamente fraturados e sericitizados, sem maclas preservadas, o que evidencia forte modificação pós-deposicional. Calcedônia aparece preenchendo fraturas, vesículas e circundando fragmentos de quartzo, indicando circulação de fluidos e silicificação tardia. Esses padrões são consistentes com ignimbritos pouco ou não soldados descritos por Sommer et al. (2003), e compatíveis com rochas piroclásticas riolíticas alteradas, como registrado por Vieira & Ricardo, (2015) no norte do Espírito Santo.

Quando comparadas diretamente com os ignimbritos preservados no Arquipélago de Abrolhos, as rochas de São Mateus revelam tanto similaridades estruturais quanto contrastes marcantes quanto ao grau de preservação. Nos ignimbritos das ilhas, observa-se composição riolítica típica, com teores elevados de sílica (70–80%), álcalis preservados (Na_2O e K_2O), matriz parcialmente vítrea e fragmentos pumíceos, além de minerais primários mais bem preservados (Vieira & Ricardo, 2015). Essa assinatura química e textural, típica de depósitos

piroclásticos juvenis, contrasta de forma direta com os ignimbritos de São Mateus, que apresentam teores muito reduzidos de SiO_2 (29–35%) e de K_2O , frequentemente inferiores a 1%, além de enriquecimento relativo de óxidos menos móveis, como Al_2O_3 , TiO_2 e Fe_2O_3 .

Essa discrepância não indica composição primária intermediária ou máfica, mas sim a atuação prolongada de alteração hidrotermal e intempérica, que lixiviou a sílica e os álcalis da rocha, como ocorre com ignimbritos intensamente desvitrificados em diferentes províncias vulcânicas do mundo (Çiflikli, 2020; Sommer et al., 2003). Elementos móveis, como Na, K e Ca, foram quase completamente removidos.

Além disso, a grande quantidade de sericita na matriz, vesículas parcialmente preenchidas, fraturas revestidas por calcedônia e caulínização intensa dos feldspatos reforçam que esses depósitos passaram por processos hidrotermais associados tanto à circulação de fluidos relacionados ao próprio resfriamento do depósito quanto à reativação tectônica tardia no Arco de São Mateus (Novais et al., 2007; Vieira & Ricardo, 2015). A heterogeneidade textural observada com mudanças abruptas na granulação, concentrações de opacos e zonas preferenciais de alteração também pode estar associada ao fluxo desses fluidos ao longo das fraturas.

Por outro lado, apesar do intenso estado de alteração, várias características essenciais foram preservadas: textura piroclástica, presença de cristaloclastos de quartzo com feições de deformação, fragmentos milimétricos dispersos em matriz fina e minerais acessórios como zircão, rutilo e biotita parcialmente cloritizada. Esses elementos mantêm a assinatura de um magma ácido, corroborando a classificação dessas rochas como ignimbritos originalmente riolíticos ou dacíticos, ainda que suas composições atuais sejam um registro fortemente modificado da composição primária.

A comparação com os ignimbritos da Formação Acampamento Velho, no Rio Grande do Sul (Sommer et al., 2013), também reforça esse entendimento, enquanto aqueles registros preservam SiO_2 entre 72% e 76% e álcalis elevados, os ignimbritos de São Mateus mostram valores drasticamente inferiores devido à intensa lixiviação. Elementos como P_2O_5 , TiO_2 e Fe_2O_3 aparecem relativamente enriquecidos, comportamento típico de sistemas piroclásticos altamente alterados, conforme amplamente descrito na literatura de alteração hidrotermal.

Assim, os ignimbritos de São Mateus representam uma porção continental profundamente modificada do mesmo sistema eruptivo que originou os ignimbritos muito mais preservados do Arquipélago de Abrolhos. As diferenças entre eles refletem não uma origem distinta, mas sim trajetórias pós-deposicionais contrastantes, influenciadas pelo ambiente

continental, pela erosão e, sobretudo, por processos hidrotermais e por reativações tectônicas associadas ao Arco de São Mateus.

CONCLUSÃO

A caracterização dos ignimbritos do município de São Mateus demonstra que essas rochas correspondem a depósitos piroclásticos de alta temperatura e vinculados ao Complexo Vulcânico de Abrolhos, apresentando textura piroclástica, fragmentos cristalinos deformados e minerais acessórios típicos de magmas ácidos. A composição mineralógica, as feições petrográficas e o contexto geológico regional sustentam que tais ignimbritos foram originados por fluxos piroclásticos riolíticos a dacíticos associados aos eventos vulcânicos cenozoicos da margem continental leste brasileira.

A intensa alteração hidrotermal e intempérica registrada nessas rochas, evidenciada pela sericitização, caulínização, silicificação, formação de calcedônia e lixiviação de álcalis, modificou profundamente a composição original, mascarando a assinatura riolítica detectada em ignimbritos frescos. Os parâmetros geoquímicos, embora distorcidos por esses processos, preservam elementos menos móveis que confirmam a afinidade com ignimbritos ácidos.

A comparação direta com os ignimbritos preservados do Arquipélago de Abrolhos revela que ambos pertencem ao mesmo evento eruptivo, mas representam porções de preservação contrastante. Abrolhos registra rochas frescas com teores elevados de sílica e álcalis, enquanto São Mateus preserva a estrutura, mas não a química primária. Portanto, os ignimbritos estudados constituem um registro fundamental para compreender a evolução eruptiva, tectônica e pós-deposicional do norte do Espírito Santo e reforçam a importância do Arco de São Mateus como estrutura que condicionou tanto sua exposição quanto sua alteração.

REFERÊNCIAS

- Bachmann, O. C. & Bergantz, G. (2008). The magma reservoirs that feed supereruptions. *Elements*, 4[...], 17-21.
- Cas, R. A. F., & Wright, J. V. (1987). *Volcanic Successions: Modern and Ancient*. Chapman and Hall.
- Çiflikli, M. (2020). Hydrothermal alteration-related kaolinite/dickite occurrences in ignimbrites: an example from Miocene ignimbrite units in Avanos, Central Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(19), 1044.
- Duarte, R. M. (2020). *Modelo Evolutivo da Plataforma de Abrolhos: do Paleógeno Ao Neógeno*. [Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo].
- Fournier, R. & Rowe, J. J. (1966). The deposition of silica in hot springs. *Bulletin Volcanologique*, 29(1), 585-587.

- Gomes, N. S. & Suita. (2010). Ocorrência de vulcanismo bimodal de idade terciária na Bacia de Mucuri. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 18(2), 233–248.
- Heilbron, M., Antonio, C. P. S., Mario, C. C. N. & Luiz, C. S. (2004). *Província Mantiqueira. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca.
- Luchetti, A.C.F., Antonio, J. N. & José, M. (2018). Silicic, high- to extremely high-grade ignimbrites and associated deposits from the Paraná Magmatic Province, southern Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 355[...], p. 270-286.
- Maia, T. M.; Anderson, C. S., Sérgio, V. & Eduardo, R. J. (2022). Abrolhos magmatic province petrogenesis and its link with the Vitória-Trindade ridge, Southeast Brazilian margin, South Atlantic Ocean. *Journal of South American Earth Sciences*, 120, 104075.
- Marsh, B. D. (1989). *Magma Chambers*. Department of Earth and Planetary Sciences, The Johns Hopkins University.
- Mizusaki, A. M. P., Antonio, T. F. & Edison, J. M. (2002). Mesozoic and Cenozoic igneous activity and its tectonic control in northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(2), 183-198.
- Motoki, A., Luis, C. C. N., Susanna, E. S. & José, L. P. N. (2007). Rocha piroclástica félsica originada de erupção subaquática na Bacia Sedimentar do Espírito Santo: uma associação com o modelo tectono-sedimentar. *Geociências*, 26(2), 151-160.
- Novais, L. C. C., Tibor, Z., Peter, S., Akihiza, M., José, R. A. & Claudio, V. T. (2007). Ocorrência de rochas vulcânicas ignimbriticas na porção norte da Bacia do Espírito Santo: evolução do modelo tectono-sedimentar. *B. Geociências da Petrobras*, 16(1), 139-156.
- Pedrosa-Soares, A. C., Carlos, M. N., Fernando, A. & Luiz, C. S. (2007). Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*, 15(1), 21-16.
- Polo, L. A. (2008). *Petrografia e química dos ignimbritos do Cerro Pululus e sua correlação com depósitos da Caldera Vilama, Puna, Andes Centrais, NW da Argentina*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo].
- Portella, A. Y. & Monteiro, H. (2021). *Bacia do Espírito Santo: Sumário Geológico e Setores em Oferta*. ANP.
- Scott, B. (1971). Alkali exchange during devitrification and hydration of glasses in ignimbrite cooling units. *The Journal of Geology*, 79(1), 100-110.
- Silva, S. L. (1989). Altiplano-Puna volcanic complex of the central Andes. *Geology*, 17(12), 1102-1106.
- Sommer, C. A., Evandro, F. L., Lauro, V. S. N. & Joaquim, L. (2003). Depósitos de fluxo piroclástico primários: caracterização e estudo de um caso no vulcanismo ácido neoproterozóico do Escudo Sul-rio-grandense. *Pesquisas em Geociências*, 30[...], 3-26.
- Sommer, C. A., Evandro, F. L., Adriane, M., Lucas, M. M. R. & Ronaldo, P. (2013). Recognition and characterisation of high-grade ignimbrites from the neoproterozoic rhyolitic volcanism in southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 47[...], 152-165.
- Vieira, V. S. & Ricardo, G. M. (2015). *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM/Serviço Geológico do Brasil
- Whitney, Donna L. & Evans, Bernard W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1), 185-187.
- Wilson, C. J. N., Stelten E. M. & Lowenstern B. J. (2018). *Contrasting perspectives on the Lava Creek Tuff eruption, Yellowstone, from new U–Pb and ⁴⁰Ar/³⁹Ar age determinations*. U.S. Geological Survey.

MORFOLOGIA, GEOQUÍMICA E MINERALOGIA DOS SEDIMENTOS ORNITOGÊNICOS DO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO

MORPHOLOGY, GEOCHEMISTRY AND MINERALOGY OF ORNITHOGENIC
SEDIMENTS FROM THE SÃO PEDRO AND SÃO PAULO ARCHIPELAGO

Julia Faioli; Eduardo Duarte

Julia Cardoso Faioli

Graduanda em Geologia

Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Nova Venécia

E-mail: julia.faioli@estudante.ifes.edu.br

Eduardo Baudson Duarte

Doutor em Ciências Naturais

Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Nova Venécia

E-mail: eduardo.duarte@ifes.edu.br

RESUMO

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPPSP) apresenta intensa atividade de aves marinhas, cuja deposição de guano promove processos de fosfatização sobre o substrato rochoso. Este trabalho caracterizou oito amostras de sedimentos ornitogênicos quanto aos aspectos macromorfológicos, físico-químicos, geoquímicos e mineralógicos. Foram realizadas análises de pH, potencial de oxirredução, condutividade elétrica, composição química por ICP-OES, tratamento estatístico por PCA e dendrogramas e difração de raios X (DRX). Os resultados evidenciaram diferentes intensidades de fosfatização, com maiores teores de CaO e P₂O₅ associados ao predomínio de apatitas e whitlockita. Também foram identificadas struvita, gipsita e calcita. A amostra P6-S apresentou maior participação de minerais silicáticos, maiores teores de SiO₂ e Fe₂O₃ e menor concentração de P₂O₅. Os dados demonstram que a composição dos sedimentos resulta da interação entre a atividade ornitogênica e as características do substrato.

Palavras-chave. sedimentos ornitogênicos; fosfatização; guano; geoquímica; mineralogia.

ABSTRACT

The São Pedro and São Paulo Archipelago (SPSPA) is strongly influenced by seabird activity, and guano deposition promotes phosphatization of the rocky substrate. This study characterized eight ornithogenic sediment samples based on macromorphological, physicochemical, geochemical, and mineralogical properties. Analyses included pH, redox potential, electrical conductivity, chemical composition by ICP-OES, statistical treatment using PCA and dendrograms, and X-ray diffraction (XRD). The results revealed different degrees of phosphatization, with higher CaO and P₂O₅ contents associated with the predominance of apatites and whitlockite. Struvite, gypsum, and calcite were also identified. Sample P6-S showed a greater contribution of silicate minerals, higher SiO₂ and Fe₂O₃ contents, and lower P₂O₅ concentrations. The results indicate that sediment composition reflects the combined influence of ornithogenic activity and the characteristics of the rocky substrate.

Keywords. ornithogenic sediments; phosphatization; guano; geochemistry; mineralogy.

INTRODUÇÃO

Materiais ornitogênicos são formados sob influência da atividade de aves e caracterizam-se principalmente pelo enriquecimento em fósforo e pela presença de evidências de nidificação. Em ilhas oceânicas, a deposição e decomposição do guano geram soluções capazes de mobilizar elementos e alterar o substrato rochoso, favorecendo a formação de minerais secundários e os processos de fosfatização.

A intensidade da fosfatização depende de fatores como composição do substrato, fraturas, circulação de soluções e condições ambientais, podendo produzir diferentes associações mineralógicas e assinaturas geoquímicas. Assim, esses materiais registram a interação entre processos biológicos, químicos e geológicos e podem fornecer informações importantes sobre a evolução das superfícies submetidas à influência ornitogênica.

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), localizado no Atlântico Equatorial, apresenta condições favoráveis para esse tipo de estudo. Seu embasamento é constituído principalmente por peridotitos milonitizados e serpentinizados, associados à cobertura sedimentar quaternária e submetidos à intensa atividade de aves marinhas (Campos et al., 2009, 2010). A composição predominantemente ultramáfica do substrato torna o arquipélago particularmente interessante para avaliar como a natureza da rocha influencia a mobilização de elementos e a formação de minerais fosfatados.

Embora estudos anteriores tenham identificado crostas fosfáticas e alterações relacionadas à decomposição do guano, ainda existem lacunas quanto à caracterização dos sedimentos ornitogênicos e à sua interação com o substrato (Duarte, 2024; Oliveira et al., 2010). Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo caracterizar esses sedimentos quanto aos aspectos macromorfológicos, físico-químicos, geoquímicos e mineralógicos, buscando compreender a interação entre guano e substrato rochoso.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A deposição e decomposição do guano por aves marinhas podem gerar soluções enriquecidas em fósforo, capazes de interagir com o substrato rochoso, mobilizar elementos e favorecer a formação de minerais secundários. Esse processo de fosfatização é controlado pelas condições ambientais, pela circulação das soluções e pelas características do substrato (Aharon & Veeh, 1984; Flicoteaux & Lucas, 1984; Ptáček, 2016; Schaefer et al., 2010).

A composição mineralógica da rocha influencia diretamente os produtos formados. Elementos como Ca, Fe, Mg e Al podem ser disponibilizados durante a alteração e participar da formação de fosfatos secundários. Entre os minerais associados à fosfatização destacam-se hidroxiapatita, fluorapatita e cloroapatita, além de outras fases dependentes da composição química do meio e do substrato (Hughes & Rakovan, 2015; Toledo et al., 2004).

Nos arquipélagos oceânicos brasileiros, a influência ornitogênica já foi reconhecida em Abrolhos, Fernando de Noronha e São Pedro e São Paulo, onde o guano promove enriquecimento em fósforo e formação de materiais fosfatizados (Oliveira et al., 2014; Schaefer et al., 2010). O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), situado no Atlântico Equatorial e intensamente utilizado por aves marinhas, apresenta condições favoráveis para o estudo desses processos, como ilustrado na Figura 1.

O embasamento do ASPSP é constituído principalmente por peridotitos milonitizados e serpentinizados, associados a ocorrências mais restritas de rochas alcalinas e cobertura sedimentar quaternária (Angulo et al., 2013; Campos et al., 2009, 2010). A cobertura sedimentar inclui materiais clásticos e biogênicos, enquanto os peridotitos apresentam minerais ricos em ferro e magnésio, como olivina e piroxênios.

A deformação das rochas favorece a circulação de soluções e amplia a interação entre o guano e o substrato. Assim, tanto a composição litológica quanto as estruturas presentes podem influenciar a intensidade da fosfatização e a associação mineral resultante (Campos et al., 2009, 2010; Smith et al., 2012).

Estudos realizados no arquipélago já identificaram associações entre minerais do substrato e diferentes fosfatos secundários, além de carbonatos e sulfatos. Essas associações demonstram que os produtos da fosfatização variam conforme as características do substrato e as condições de interação com as soluções derivadas da decomposição do guano (Duarte, 2024).

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido a partir de oito amostras de sedimentos coletadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), localizado no Atlântico Equatorial, em setores das ilhas Belmonte, Sudeste, Nordeste e Cabral (Figura 1). O acesso à área ocorreu durante expedição realizada com apoio da Marinha do Brasil e do PROARQUIPÉLAGO. As amostras foram selecionadas em locais sujeitos à interação entre o guano depositado pelas

aves e o substrato rochoso, buscando identificar diferenças na composição dos materiais e na intensidade dos processos de fosfatização.

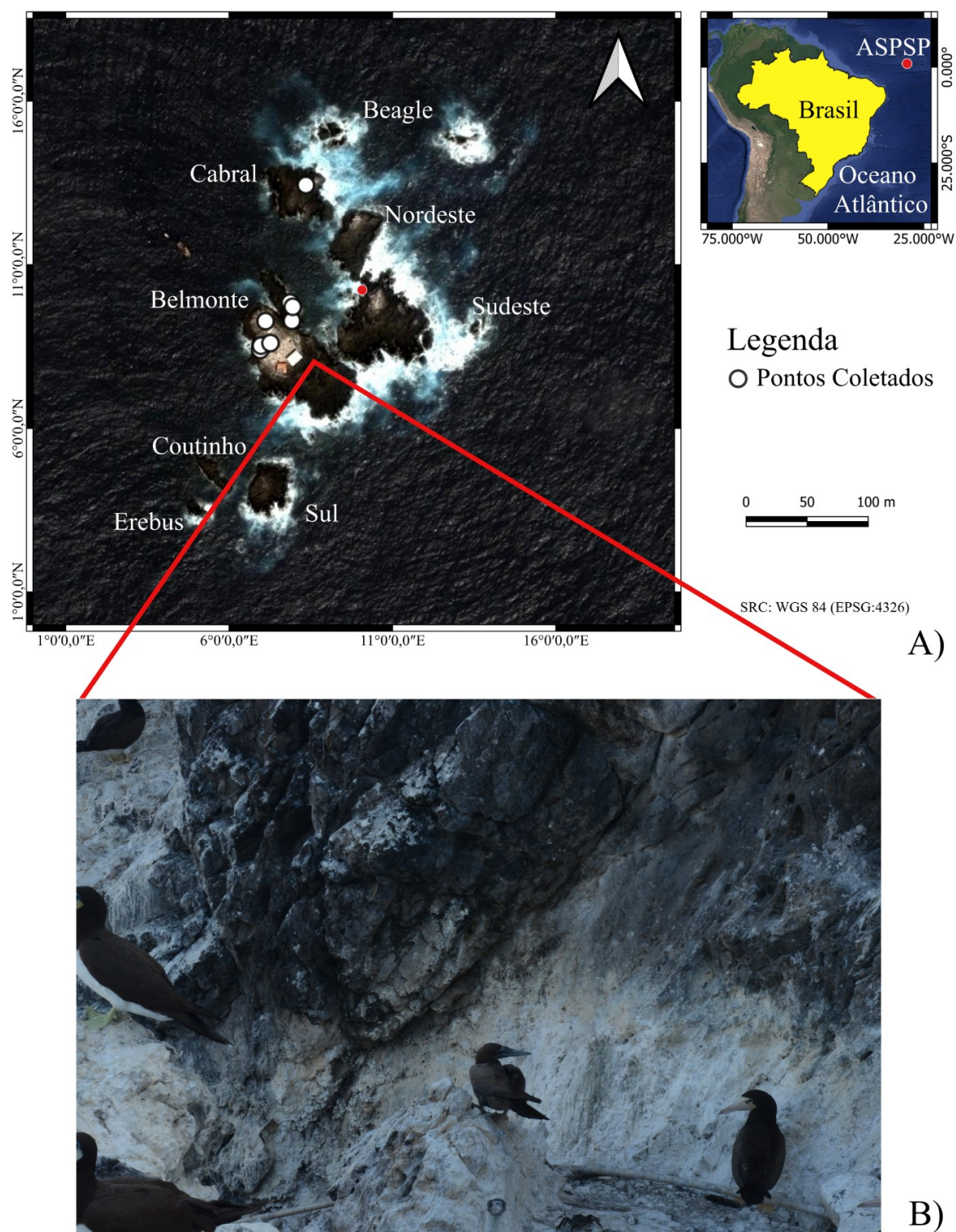


Figura 1. A) localização no Oceano Atlântico Equatorial; B) presença de aves marinhas sobre o substrato rochoso do arquipélago.

Inicialmente, as amostras foram caracterizadas quanto aos aspectos sedimentológicos e macroscópicos, considerando composição, coloração, presença de fragmentos biogênicos e outros materiais associados à deposição de guano. Essa etapa permitiu reconhecer as principais características dos sedimentos e subsidiar a interpretação das análises posteriores.

Em seguida, foram realizadas análises físico-químicas e geoquímicas, com determinação de pH, potencial de oxirredução (Eh), condutividade elétrica e perda ao fogo (LOI). A LOI foi utilizada como indicador da presença de matéria orgânica, água estrutural e outros componentes voláteis. A composição química foi determinada por ICP-OES para obtenção dos teores de elementos maiores.

Os dados geoquímicos foram submetidos à análise estatística multivariada, utilizando dendrogramas e Análise de Componentes Principais (PCA), com o objetivo de identificar associações entre os elementos analisados e semelhanças entre as amostras.

A caracterização mineralógica foi realizada por difração de raios X (DRX), permitindo a identificação das principais fases minerais presentes nos sedimentos. Os difratogramas foram comparados com padrões de referência para identificação de minerais primários e secundários associados aos processos de fosfatização, sendo também estabelecida a proporção relativa das fases minerais identificadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização macroscópica evidenciou diferenças de coloração, textura e composição entre as amostras, além da presença de materiais de origem biogênica e fragmentos minerais. Foram reconhecidos fragmentos de ossos, penas, carapaças, cascas de ovos e outros restos associados à atividade ornitogênica, junto com componentes provenientes do substrato. Esses constituintes, exemplificados na Figura 2, demonstram a contribuição conjunta da atividade das aves e do material geológico para a formação dos sedimentos (Duarte, 2024; Oliveira et al., 2010).

As diferenças entre as amostras indicam que a contribuição do guano e do substrato ocorre de maneira heterogênea, refletindo diferentes intensidades de fosfatização.

Os resultados geoquímicos e físico-químicos são apresentados na Tabela 1. As principais variações ocorreram nos teores de SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 e P_2O_5 , permitindo distinguir materiais mais influenciados pela fosfatização daqueles com maior contribuição litológica

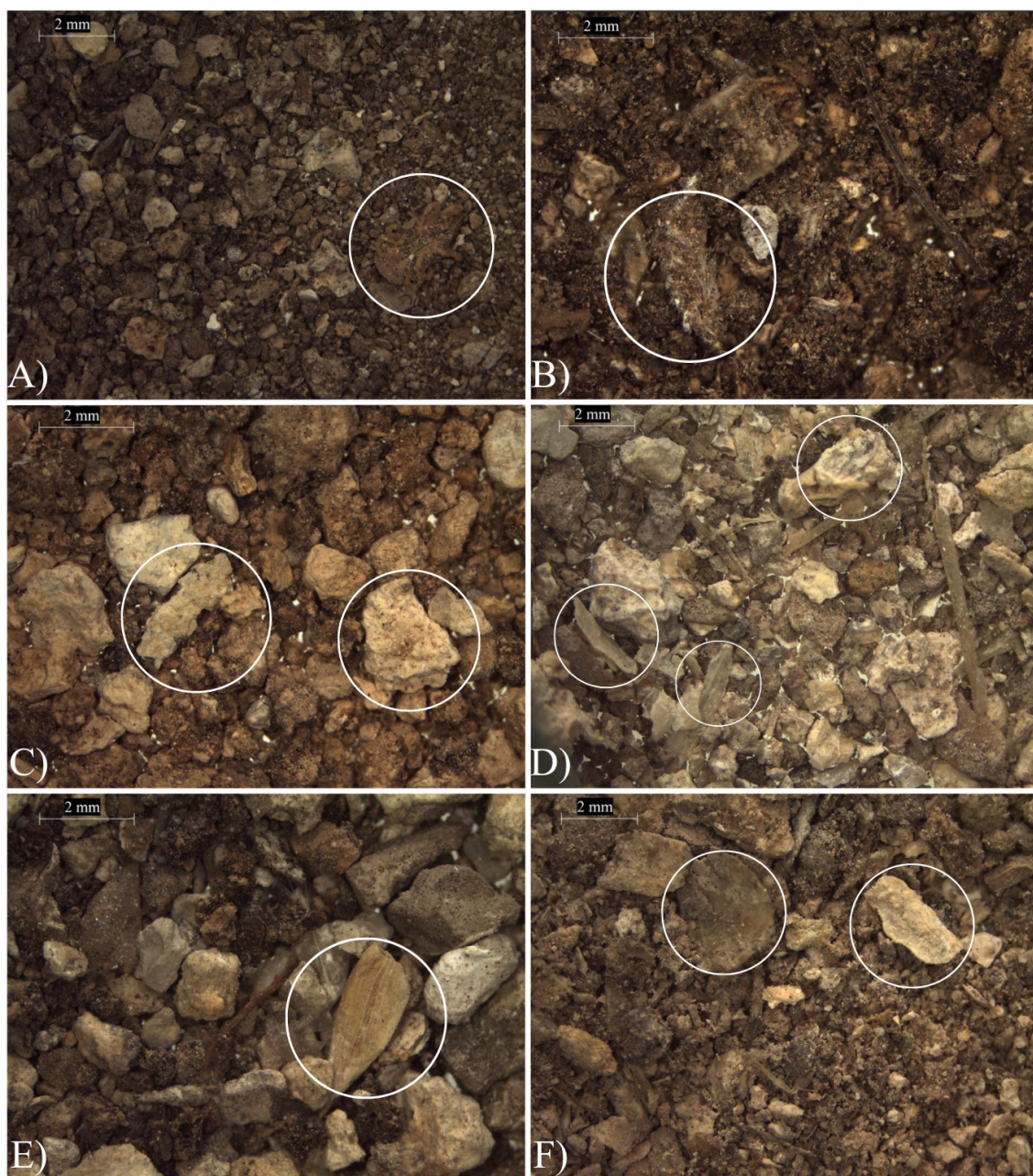


Figura 2. Aspectos macroscópicos e características dos sedimentos do Arquipélago de São Pedro e São Paulo observados em lupa: A) Carapaça de inseto bem preservada; B) Pena; C) Fragmentos fosfatizados e possível alga vermelha; D) Possíveis fragmentos ósseos de peixe e fosfatizados; E) Possível fragmento de concha carbonática; F) Fragmento de casca de ovo e fragmento fosfatizado.

P1-S, P2-S, P3-S e P12-S apresentaram maiores teores de CaO e P_2O_5 , com destaque para P3-S, que atingiu 37,48% de CaO e 36,73% de P_2O_5 . Essa associação é compatível com a formação de minerais fosfatados de cálcio resultante da interação entre o fósforo derivado do guano e o substrato (Duarte, 2024; Flicoteaux & Lucas, 1984). Em contraste, P6-S apresentou os maiores teores de SiO_2 (35,35%) e Fe_2O_3 (17,09%), além de menor enriquecimento relativo em P_2O_5 , indicando maior influência do substrato.

Tabela 1. Composição dos elementos maiores e parâmetros físico-químicos dos sedimentos analisados no Arquipélago de São Pedro e São Paulo.

Am.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	LOI	pH	Eh	CE
	%												mV	μS/cm
P1-S	4,84	0,15	33,73	1,88	0,65	0,02	2,58	0	0,95	31,94	23,27	6,4	175,4	6,94
P2-S	10,99	0,96	28,2	2,44	0,64	0,04	3,58	0,03	4,08	28,79	20,24	7,1	146,8	5,37
P3-S	1,99	0,1	37,48	0,93	0,61	0,01	1,39	0	0,69	36,73	20,08	7	147	5,36
P5-S	6,55	0,2	20,27	3,93	0,99	0,02	5,65	0	0,97	20,89	40,54	7,4	138,1	8,58
P6-S	35,35	2,1	11,04	1,05	1,07	0,08	0,79	0,15	17,09	14,2	17,08	6,2	176,1	3,01
P11-S	1,8	0,27	16,19	3,03	1,58	0,02	4,69	0	1,43	16,35	54,65	7,3	130,4	11,41
P12-S	7,82	0,66	26,39	1,84	0,85	0,05	3,43	0,04	3,28	27,69	27,95	7,5	127,4	6,9
P13-S	0	0,1	11,71	3,93	2,66	0,01	2,97	0	0,69	14,05	65,48	6,5	116,1	28,2

P5-S, P11-S e P13-S apresentaram valores elevados de perda ao fogo (LOI), atingindo 65,48% em P13-S, sugerindo maior participação de matéria orgânica, componentes voláteis e fases hidratadas. P13-S também apresentou a maior condutividade elétrica, indicando maior influência de sais dissolvidos.

A análise de agrupamento, apresentada na Figura 3, mostrou maior similaridade entre P1-S e P3-S, P2-S e P12-S, além de P5-S e P11-S, enquanto P6-S permaneceu mais isolada. Entre as variáveis, CaO e P₂O₅ apresentaram forte associação, enquanto SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ estiveram relacionados principalmente à contribuição litológica.

A separação observada nos dendrogramas demonstra que a composição dos sedimentos é controlada por diferentes processos. As amostras enriquecidas em CaO e P₂O₅ apresentam maior relação com a formação de minerais fosfatados, enquanto P6-S reflete maior influência do substrato. Já as amostras com valores elevados de LOI representam uma condição distinta, associada à participação de matéria orgânica e fases hidratadas.

A Análise de Componentes Principais (PCA), apresentada na Figura 4, reforça essa interpretação. P1-S, P2-S, P3-S e P12-S apresentam maior proximidade e associação com CaO e P₂O₅. P6-S se destaca pela relação com SiO₂ e Fe₂O₃, enquanto P5-S, P11-S e P13-S mostram maior influência da LOI.

A concordância entre PCA e dendrogramas evidencia três tendências principais: amostras com maior influência da fosfatização, caracterizadas pelo enriquecimento em CaO e P₂O₅; amostras com maior participação de matéria orgânica e fases hidratadas, relacionadas a valores elevados de LOI; e P6-S, cuja composição reflete maior controle litológico. Dessa forma, os resultados estatísticos corroboram a heterogeneidade geoquímica dos sedimentos e a influência conjunta do aporte ornitogênico e do substrato.

A caracterização mineralógica por difração de raios-X permitiu relacionar essas diferenças geoquímicas às fases minerais presentes nos sedimentos. Os difratogramas apresentados na Figura 5 evidenciam o predomínio de minerais secundários associados à fosfatização, principalmente hidroxiapatita, fluorapatita, cloroapatita e whitlockita. A abundância dessas fases é compatível com os elevados teores de P₂O₅ e CaO registrados em parte das amostras.

P1-S e P3-S apresentam predomínio de minerais fosfatados, especialmente apatitas e whitlockita, em concordância com seus elevados teores de CaO e P₂O₅. Em P3-S, a presença adicional de gipsita evidencia que, além da precipitação de fosfatos, ocorreram processos relacionados à formação de sulfatos. P2-S apresenta hidroxiapatita, whitlockita e forsterita,

demonstrando que a fosfatização não eliminou completamente as características mineralógicas do substrato. P12-S apresenta comportamento semelhante, com predomínio de fluorapatita associada a outras fases fosfatadas.

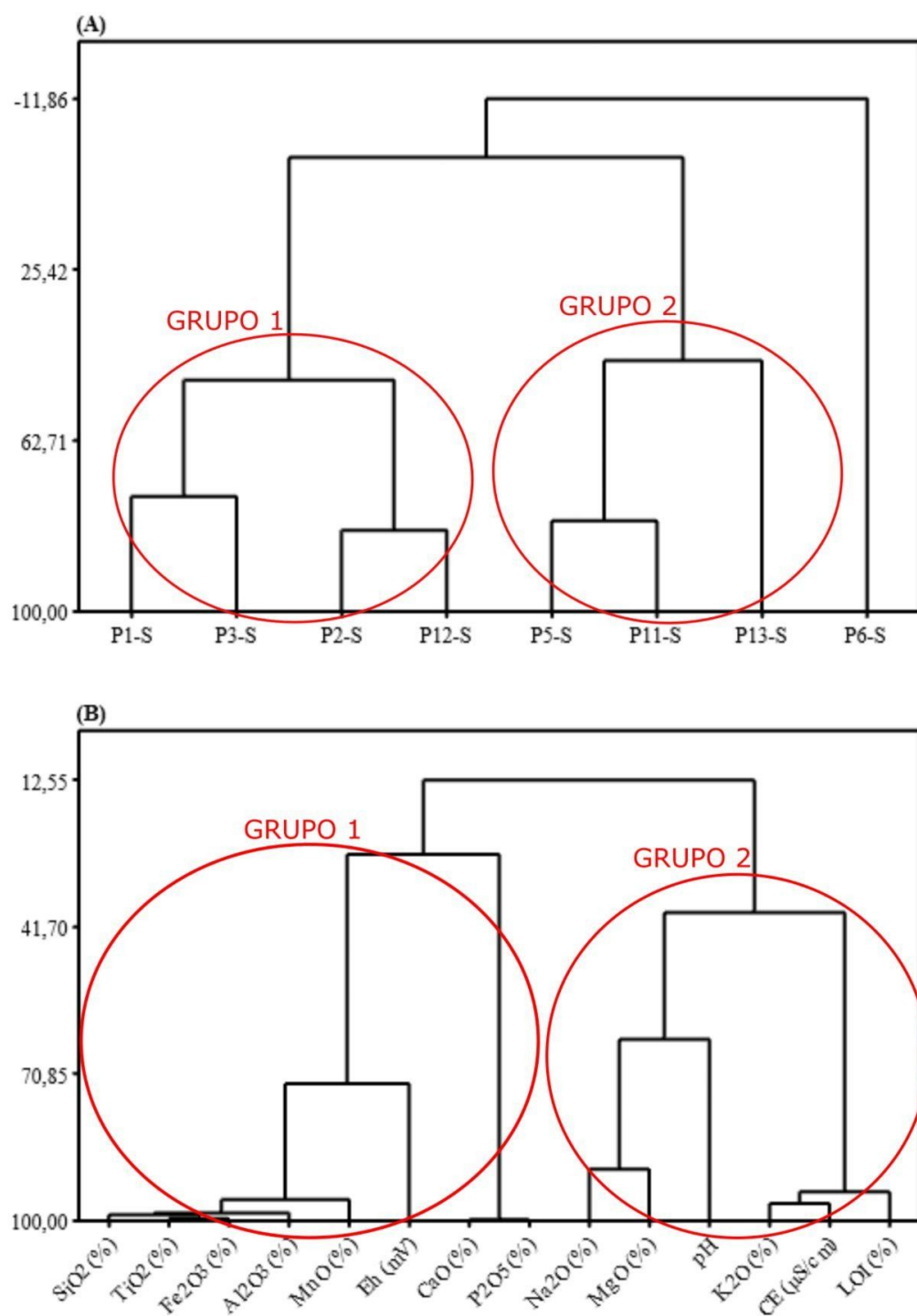


Figura 3. Dendrogramas de agrupamento dos dados geoquímicos dos sedimentos do Arquipélago de São Pedro e São Paulo: (A) agrupamento das amostras; (B) agrupamento das variáveis analisadas.

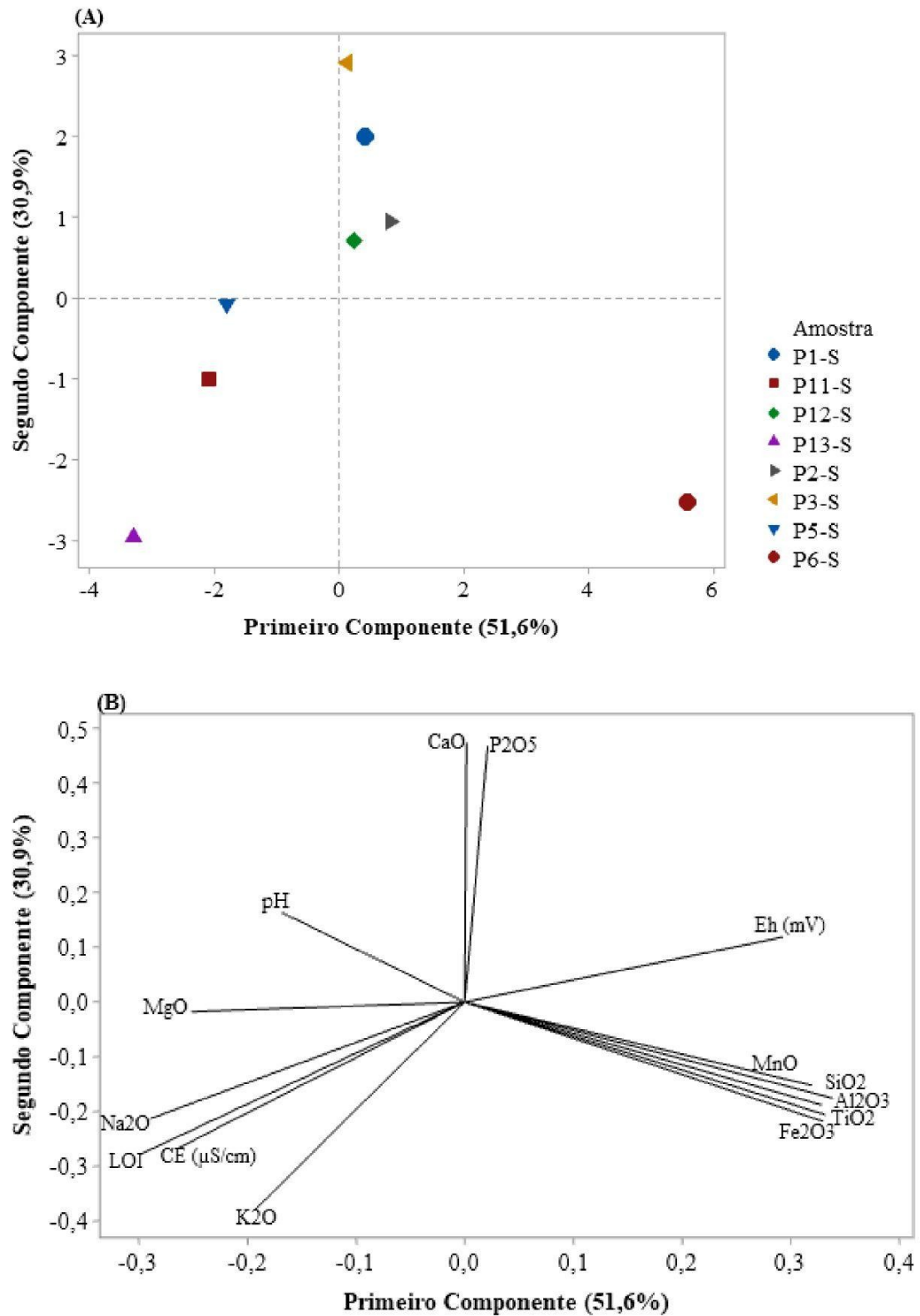


Figura 4. Análise de componentes principais (PCA) dos sedimentos do Arquipélago de São Pedro e São Paulo: (A) distribuição das amostras; (B) dispersão e afinidade das variáveis analisadas.

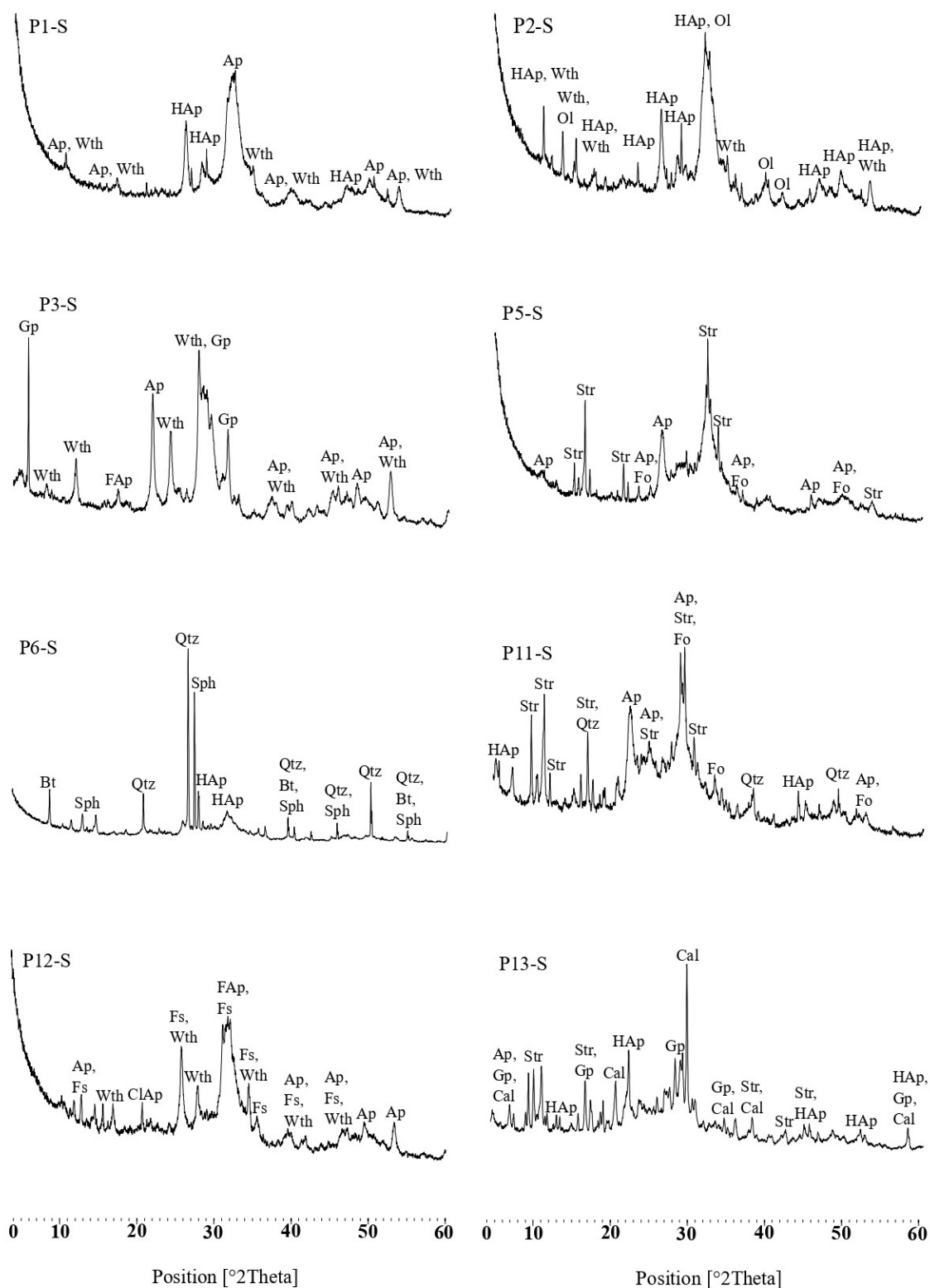


Figura 5. Difratoqramas de raios X (DRX) das amostras de sedimentos analisadas do Arquipélago de São Pedro e São Paulo.

P5-S, P11-S e P13-S diferenciam-se pela ocorrência de struvita. A presença desse mineral, associada aos elevados valores de LOI, sobretudo em P11-S e P13-S, é compatível com maior participação de fases hidratadas e material orgânico relacionado ao guano. Em P13-S, a associação entre struvita, gipsita e calcita indica que a evolução mineralógica não esteve limitada à formação de fosfatos, envolvendo também precipitação de sulfatos e carbonatos.

P6-S apresentou a associação mineralógica mais distinta, com predomínio de quartzo acompanhado de hidroxiapatita, cloroapatita, biotita e esfeniscidita. O predomínio de quartzo é coerente com o elevado teor de SiO₂ e reforça a maior preservação das características litológicas nessa amostra. Assim, os resultados mineralógicos confirmam a influência da composição original do substrato sobre a intensidade e os produtos da fosfatização.

A proporção relativa das fases identificadas por DRX é apresentada na Tabela 2, permitindo visualizar a predominância de minerais fosfatados na maioria das amostras e a diferenciação de P6-S pela maior participação de quartzo.

Tabela 2. Proporção relativa dos minerais identificados nas amostras de sedimentos do Arquipélago de São Pedro e São Paulo por difração de raios-X (DRX).

AMOSTRAS	MINERAIS (proporção relativa)
P1-S	ClAp > Wth > HAp
P2-S	HAp > Fo > Wth > Qtz
P3-S	HAp > FAp > ClAp > Wth > Gp
P5-S	Str > FAp > HAp > ClAp > Fo
P6-S	Qtz > HAp > ClAp > Bt > Sph
P11-S	FAp > Str > HAp > Fo > Qtz
P12-S	FAp > Fs > Wth > ClAp
P13-S	Str > HAp > Gp > Cal

Na maior parte das amostras predominam apatitas e whitlockita, enquanto a ocorrência de struvita caracteriza especialmente P5-S, P11-S e P13-S. A presença de gipsita e calcita em algumas amostras demonstra ainda a participação de processos de precipitação de sulfatos e carbonatos. Em contraste, o quartzo dominante em P6-S evidencia maior contribuição do substrato original.

De forma integrada, os resultados macroscópicos, geoquímicos, estatísticos e mineralógicos demonstram diferentes intensidades de fosfatização nos sedimentos do ASPSP. O enriquecimento em CaO e P₂O₅ está associado ao predomínio de minerais fosfatados,

enquanto maiores teores de SiO_2 e Fe_2O_3 e a predominância de quartzo em P6-S indicam maior controle litológico. Valores elevados de LOI e a ocorrência de struvita caracterizam amostras com maior influência de material ornitogênico e fases hidratadas. Assim, a composição dos sedimentos resulta da interação entre o aporte de guano, as características do substrato e os processos de alteração atuantes no arquipélago.

CONCLUSÕES

A caracterização sedimentológica demonstrou a presença de componentes biogênicos, como fragmentos ósseos, penas, carapaças e cascas de ovos, associados a fragmentos minerais do substrato. Esses materiais evidenciam a contribuição direta da atividade ornitogênica para a formação dos sedimentos e mostram que sua composição resulta da interação entre o aporte biológico e o material geológico.

Os dados geoquímicos revelaram diferenças principalmente nos teores de CaO , P_2O_5 , SiO_2 e Fe_2O_3 . As maiores concentrações de CaO e P_2O_5 estiveram associadas ao predomínio de minerais fosfatados, indicando maior intensidade dos processos de fosfatização. Em contraste, P6-S apresentou maiores teores de SiO_2 e Fe_2O_3 e maior participação de minerais silicáticos, refletindo maior influência do substrato.

As análises estatísticas, por meio dos dendrogramas e da PCA, reforçaram essas diferenças e permitiram distinguir amostras mais relacionadas à fosfatização, outras com maior participação de matéria orgânica e fases hidratadas e P6-S, caracterizada por maior controle litológico.

A caracterização mineralógica confirmou o predomínio de apatitas e whitlockita na maior parte das amostras. A ocorrência de struvita, gipsita e calcita demonstra que a evolução mineralógica dos sedimentos não esteve restrita à formação de fosfatos, envolvendo também fases hidratadas, sulfatos e carbonatos. P6-S apresentou comportamento distinto, com predominância de quartzo e maior preservação das características litológicas do substrato. De forma geral, os sedimentos do ASPSP registram diferentes intensidades de fosfatização, determinadas pela interação entre o material ornitogênico, a composição do substrato rochoso e as soluções provenientes da decomposição do guano. Os resultados demonstram, portanto, que tanto a atividade das aves quanto as características litológicas exercem controle sobre a composição geoquímica e mineralógica dos sedimentos.

REFERÊNCIAS

- Aharon, P., & Veeh, H. H. (1984). Isotope studies of insular phosphates explain atoll phosphatization. *Nature*, 309, 614–617.
- Angulo, R. J., Souza, M. C. de, Campos, T. F. C., Bezerra, F. H. R., Fernandes, L. A., Giannini, P. C. F., Pitombo, F. B., & Veiga, F. A. (2013). Evidence for Late Quaternary episodic uplift of the São Pedro and São Paulo Archipelago, Equatorial Atlantic. *Quaternary International*, 317, 102–111.
- Campos, T. F. da C., Virgens Neto, J., Srivastava, N. K., Petta, R. A., Hartmann, L. A., Moraes, J. F. S. de, Mendes, L., & Silveira, S. R. M. (2009). Arquipélago de São Pedro e São Paulo: Soerguimento tectônico de rochas infracrustais no Oceano Atlântico. In M. Winge, C. Schobbenhaus, C. R. G. Souza, A. C. S. Fernandes, M. Berbert-Born, E. T. Queiroz, & D. A. Campos (Eds.), *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil* (Vol. 2, pp. 253–266). CPRM.
- Campos, T. F. da C., Bezerra, F. H. R., Srivastava, N. K., Vieira, M. M., & Vita-Finzi, C. (2010). Holocene tectonic uplift of the St Peter and St Paul Rocks (Equatorial Atlantic), consistent with emplacement by extrusion. *Marine Geology*, 271, 177–186.
- Duarte, E. B. (2024). *Fosfatização no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), Atlântico Equatorial* [Tese de doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto].
- Flicoteaux, R., & Lucas, J. (1984). Weathering of phosphate minerals. In J. O. Nriagu & P. B. Moore (Eds.), *Phosphate minerals* (pp. 292–317). Springer.
- Hughes, J. M., & Rakovan, J. F. (2015). Structurally robust, chemically diverse: Apatite and apatite supergroup minerals. *Elements*, 11(3), 165–170.
- Oliveira, F. S., Abrahão, W. A. P., Schaefer, C. E. G. R., & Simas, F. N. B. (2010). Implicações geomorfológicas e paleogeográficas das crostas fosfáticas do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Atlântico Norte. *REM: Revista Escola de Minas*, 63(2), 239–246.
- Oliveira, F. S., Schaefer, C. E. G. R., Abrahão, W. A. P., Clemente, E. P., & Simas, F. N. B. (2014). Soil-geomorphology interactions and paleoclimatic implications of an ornithogenic soil toposequence on Rata Island, Fernando de Noronha Archipelago, South Atlantic. *Journal of South American Earth Sciences*, 52, 119–128.
- Ptáček, P. (2016). *Apatites and their synthetic analogues: Synthesis, structure, properties and applications*. IntechOpen.
- Schaefer, C. E. G. R., Simas, F. N. B., Albuquerque, M. A., Souza, E., & Delpupo, K. K. (2010). Fosfatização de solos e evolução da paisagem no arquipélago de Abrolhos, BA. *REM: Revista Escola de Minas*, 63(4), 727–734.
- Smith, B. J., McAlister, J. J., Sichel, S. E., Angel, J., & Baptista-Neto, J. A. (2012). Ornithogenic weathering of an ultramafic plutonic rock: St. Peter and St. Paul Archipelago, Central Atlantic. *Environmental Earth Sciences*, 66, 183–197.
- Toledo, M. C. M., Lenharo, S. L. R., Ferrari, V. C., Fontan, F., De Parseval, P., & Leroy, G. (2004). The compositional evolution of apatite in the weathering profile of the Catalão alkaline-carbonatic complex, Goiás, Brazil. *The Canadian Mineralogist*, 42, 1139–1158.

**EROSÃO COSTEIRA NO ESPÍRITO SANTO: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA DAS EVIDÊNCIAS, INTERVENÇÕES E
ESTRATÉGIAS DE GESTÃO**

COASTAL EROSION IN ESPÍRITO SANTO: A LITERATURE REVIEW OF EVIDENCE,
INTERVENTIONS, AND MANAGEMENT STRATEGIES

Laís Lopes; Gabe Bolzan; Breno Borges; Matheus Mandarinio

Laís de Carvalho Faria Lima Lopes

Mestre em Engenharia Geotécnica

Doutoranda na Universidade Federal de Ouro Preto

lais.lopes1@aluno.ufop.edu.br

Gabe Arruda Bolzan

Bacharel em Geologia

Mestranda na Universidade Federal de Ouro Preto

gabe.arruda10@gmail.com

Breno da Rocha Borges

Bacharel em Geologia

Mestrando na Universidade Federal de Ouro Preto

borgesbreno432@gmail.com

Matheus Ferreira Mandarinio

Bacharel em Engenharia de Minas

Engenheiro na Vale S.A.

matheus_mandarino@hotmail.com

RESUMO

Este capítulo apresenta uma revisão crítica de 25 estudos científicos, técnicos e institucionais sobre a erosão costeira no Espírito Santo, publicados entre 1999 e 2026. A análise sistematiza a distribuição dos processos erosivos, as abordagens empregadas e as principais intervenções realizadas, examinando sua efetividade e as ações governamentais de planejamento, proteção e gestão da orla. Os resultados revelam uma produção concentrada em áreas críticas, soluções predominantemente locais e reativas e limitações na integração institucional e no monitoramento. Também se observa reduzida aplicação de medidas preventivas e baseadas na natureza. Diante do agravamento potencial dos riscos costeiros pelas mudanças climáticas, a revisão destaca prioridades imediatas para pesquisas e políticas públicas voltadas à gestão integrada, à adaptação e à resiliência do litoral capixaba.

Palavras-chave. erosão costeira; Espírito Santo; intervenções costeiras; gerenciamento costeiro.

ABSTRACT

This chapter presents a critical review of 25 scientific, technical, and institutional studies on coastal erosion in Espírito Santo published between 1999 and 2026. The analysis systematizes the spatial distribution of erosive processes, the approaches employed, and the main interventions undertaken, examining their effectiveness and governmental actions related to coastal planning, protection, and management. The findings reveal that research is concentrated in critical areas, while the solutions adopted are predominantly local and reactive, with limitations in institutional integration and monitoring. Preventive and nature-based measures also remain scarcely implemented. Given the potential intensification of coastal risks due to climate change, the review identifies immediate priorities for research and public policies aimed at integrated management, adaptation, and enhanced resilience along the Espírito Santo coast.

Keywords. coastal erosion; Espirito Santo; coastal interventions; coastal management.

INTRODUÇÃO

As zonas costeiras constituem ambientes dinâmicos em que interagem processos continentais, marinhos e atmosféricos. Além de abrigarem praias, dunas, restingas, manguezais e estuários, essas áreas concentram cidades, comunidades tradicionais, atividades turísticas, empreendimentos portuários e infraestruturas estratégicas. Os ecossistemas costeiros também promovem a conservação da biodiversidade, a retenção de sedimentos e a dissipação da energia das ondas, protegendo naturalmente a linha de costa (Barbier et al., 2011; Muehe, 2018).

No Brasil, a expansão urbana sobre áreas naturalmente sujeitas à mobilidade costeira aumenta a exposição da população e das infraestruturas à erosão e à inundação. A ocupação próxima à linha de costa, a remoção de dunas e restingas e a implantação de estruturas sobre o pós-praia reduzem o espaço disponível para o ajuste natural dos sistemas praias. A erosão costeira resulta, portanto, da interação entre fatores naturais e antrópicos, como regime de ondas, correntes litorâneas, balanço sedimentar, dinâmica das desembocaduras fluviais, disponibilidade de sedimentos, urbanização e intervenções que modificam seu transporte (Muehe, 2018).

O litoral do ES apresenta diversidade geológica e geomorfológica, incluindo planícies costeiras, falésias e tabuleiros da Formação Barreiras, afloramentos cristalinos, praias, enseadas e desembocaduras fluviais. Essas características condicionam diferenças na exposição às ondas, na disponibilidade sedimentar e na resposta das praias aos eventos de maior energia (Albino et al., 2001; 2016). Consequentemente, o comportamento da linha de costa não é homogêneo, coexistindo trechos em erosão, estabilidade e progradação.

Os processos erosivos são registrados em diferentes setores do litoral capixaba, com destaque para praias situadas nos municípios de Conceição da Barra, Linhares, Vitória, Vila Velha, Guarapari, Anchieta, Piúma e Marataízes. Os estudos concentram-se principalmente em áreas urbanizadas, desembocaduras fluviais e trechos submetidos a obras costeiras (Albino, 2006; 2018). Como resposta ao avanço da erosão, foram implantadas medidas construtivas e alimentação artificial de praias, contudo, parte dessas ações possui caráter localizado ou emergencial, e poucas intervenções contam com avaliações sistemáticas de sua efetividade em longo prazo.

A vulnerabilidade do litoral tende a ser ampliada pelas mudanças climáticas. A elevação do nível médio do mar e a ocorrência de níveis costeiros extremos intensificam a inundação, o galgamento e o recuo da linha de costa, sobretudo em praias de baixo gradiente e áreas

densamente ocupadas (IPCC, 2021; 2022). Nesse contexto, o fortalecimento da resiliência costeira exige a integração entre monitoramento contínuo, planejamento territorial, conservação dos ecossistemas, recuperação sedimentar e avaliação periódica das obras de proteção.

Contudo, as informações sobre a erosão costeira no Espírito Santo permanecem dispersas em artigos, capítulos, teses, dissertações, relatórios técnicos e documentos institucionais, frequentemente direcionados a localidades ou intervenções específicas. A sistematização dessa produção é necessária para identificar a distribuição dos processos erosivos, comparar as medidas adotadas, avaliar sua efetividade e reconhecer lacunas relevantes para o planejamento costeiro.

Diante desse contexto, o presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica crítica dos estudos científicos, técnicos e institucionais sobre a erosão costeira no ES, identificando as áreas afetadas, os fatores condicionantes, as intervenções adotadas, sua efetividade, e as ações institucionais relacionadas ao enfrentamento do problema. Para isso, foram consultadas bases científicas, repositórios acadêmicos e páginas de órgãos públicos, utilizando termos relacionados à erosão e à gestão costeira. Após a exclusão de duplicatas e de trabalhos sem relação direta com o litoral capixaba, foram selecionados 25 documentos publicados entre 1999 e 2026, posteriormente organizados e analisados segundo sua distribuição espacial e temporal, seus métodos e suas principais contribuições.

PANORAMA DOS ESTUDOS SOBRE EROSÃO COSTEIRA NO ES

A Tabela 1 apresenta informações de alguns estudos sobre erosão costeira no ES. A produção científica no tema consolidou-se a partir do final da década de 1990, inicialmente com estudos sobre sedimentação, morfodinâmica e vulnerabilidade das praias, seguidos por levantamentos estaduais e pesquisas locais (Albino, 1999; Albino, et al., 2001; 2006; 2018).

As referências abordam (Tabela 1), sobretudo, a mobilidade da linha de costa, a morfodinâmica praial, a vulnerabilidade à erosão, o clima de ondas, a erosão de falésias, a ocupação urbana e as alterações na dinâmica sedimentar em locais. Embora trabalhos complementares sobre uso do solo e geologia costeira contribuam para compreender os condicionantes desses processos (Girardi & Cometti, 2006; Rossetti, 2024), a distribuição espacial das pesquisas permanece desigual, com predomínio de estudos de caso em áreas urbanizadas, turísticas ou sujeitas a mudanças expressivas da linha de costa e poucos estudos locais em extensos segmentos do litoral.

Tabela 1. Estudos sobre erosão costeira no ES.

Referências	Ano de publicação	Título do trabalho	Tema principal	Área do estudo	Principais contribuições
Albino, 1999	1999	Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES	Sedimentação e morfodinâmica praial	Serra, Fundão, Aracruz e Linhares	Integra dados topográficos, sedimentológicos, mineralógicos, hidrodinâmicos e da plataforma continental para explicar a diversidade morfodinâmica entre Bicanga e Povoação. Estabelece relações entre fontes sedimentares, desembocaduras fluviais, composição dos sedimentos, exposição às ondas e comportamento dos perfis praias.
Albino, Paiva e Machado, 2001	2001	Geomorfologia, tipologia, vulnerabilidade erosiva e ocupação urbana das praias do litoral do ES, Brasil	Tipologia e vulnerabilidade erosiva das praias	Litoral do ES	Sistematiza a geomorfologia, a tipologia e a vulnerabilidade erosiva com base em dados de 70 praias capixabas. Relaciona a tendência ao recuo à pouca disponibilidade sedimentar, às ondas de tempestade e à ocupação da faixa praial, fornecendo subsídios para intervenções e planejamento costeiro compatíveis com cada tipo de praia.
Passos, 2004	2004	Variação morfotextural da Praia de Camburi, Vitória – ES, após engordamento artificial	Resposta morfológica e sedimentar ao engordamento	Vitória, Praia de Camburi	A monografia monitora perfis e sedimentos após o engordamento artificial e caracteriza a adaptação morfotextural da praia ao material introduzido. O trabalho fornece parâmetros para avaliar a redistribuição dos sedimentos e o comportamento espacial da intervenção ao longo do arco praial.
Marcondes, 2005	2005	Vulnerabilidade erosiva da Praia do Nenel, Ilha Bela, Vitória-ES	Vulnerabilidade erosiva e elevação do nível do mar	Vitória, Ilha do Boi	O estudo caracteriza a Praia do Nenel como abrigada e refletiva, porém vulnerável a eventos erosivos de curta duração e ao recuo associado à elevação do nível do mar. Estima riscos de perda significativa do estoque sedimentar e de danos a terrenos costeiros, reforçando a necessidade de planejamento do uso e ocupação.
Pedruzzi, 2005	2005	Perfil praial de equilíbrio da Praia de Camburi, Vitória – ES	Perfil de equilíbrio e avaliação de engordamento	Vitória, Praia de Camburi	O estudo aplica o modelo de Perfil Praial de Equilíbrio a quatro perfis e identifica tendências progradantes, estabilidade após o engordamento e compatibilidade entre a morfologia observada e a granulometria. Demonstra a utilidade do método para monitorar a eficiência da alimentação artificial.
Prata, 2005	2005	Variação textural dos sedimentos da Praia de Camburi, Vitória – ES, após o engordamento artificial	Evolução granulométrica após engordamento	Vitória, Praia de Camburi	O estudo demonstra rápida adaptação textural após o engordamento, com remoção preferencial das frações fina, grossa e lama e permanência de areia média. Apesar da perda de 26,91% do volume em quatro anos, identifica estabilidade granulométrica e volumétrica nos anos finais e considera a intervenção bem-sucedida.
Albino et al., 2006	2006	Erosão e estado morfodinâmico da	Morfodinâmica e erosão praial	Marataízes	O estudo demonstra que os trechos com dunas frontais preservadas mantêm trocas sedimentares entre duna, praia e bancos submersos e apresentam maior equilíbrio.

		Praia Central de Marataízes, sul do ES			Em contraste, a retirada das dunas e a ocupação da orla intensificaram a erosão, evidenciando a importância das dunas como reserva sedimentar e proteção costeira.
Girardi e Cometti, 2006	2006	Dinâmica do uso e ocupação do solo no litoral sul do estado do ES, Brasil	Uso, ocupação e organização do espaço costeiro	Litoral sul do ES	O artigo reconstrói historicamente a ocupação de onze municípios e faz integração entre dinâmica demográfica, urbanização, infraestrutura e indicadores socioeconômicos. Identifica a exploração de petróleo como força capaz de reorganizar o território costeiro e oferece subsídios para compreender a interação entre pressões humanas e vulnerabilidades ambientais.
Espinoza e Herzog, 2014	2014	Estudo da efetividade de obras de contenção de erosão costeira em Conceição da Barra – ES	Efetividade de obras de proteção costeira	Conceição da Barra	O estudo comprova erosão acentuada na Praia da Bugia, balanço sedimentar negativo ao norte e positivo próximo à desembocadura do rio São Mateus. Conclui que as estruturas cumprem apenas parcialmente sua finalidade e recomenda revisar a concepção e a execução do projeto de contenção.
Ribeiro, 2014	2014	Vulnerabilidade costeira em praias do norte do ES e sul da Bahia	Índice de Vulnerabilidade Costeira	Conceição da Barra e Linhares, no ES, e litoral sul da Bahia	A dissertação aplica um índice com treze indicadores ambientais e identifica morfologia e exposição às ondas como fatores dominantes nos locais com maiores danos, enquanto deriva potencial e tempestades se destacam nos demais focos erosivos. Classifica Pontal do Ipiranga com baixa vulnerabilidade e as outras praias analisadas com vulnerabilidade moderada.
Victor, 2015	2015	Estudo da efetividade das obras de contenção à erosão costeira na Praia Central de Marataízes – ES	Efetividade de obras de contenção e balanço sedimentar	Marataízes	A monografia integra análise multitemporal, perfis praias, balanço sedimentar e dados meteorológicos para avaliar a intervenção. Identifica dois dos quatro setores como morfologicamente estáveis e dois com predomínio erosivo, evidenciando desempenho espacialmente desigual das obras e a necessidade de monitoramento continuado.
Albino, Jiménez e Oliveira, 2016	2016	Planform and Mobility in the Meaípe-Maimbá Embayed Beach on the South-East Coast of Brazil	Mobilidade costeira e efeito de terminal portuário	Anchieta, praias de Meaípe e Maimbá	O estudo identifica a reorganização da enseada após a implantação do porto, que interrompeu o transporte longitudinal de sedimentos e originou três setores morfodinâmicos distintos. Também avalia os limites do modelo parabólico de planta praial e demonstra que sua interpretação exige dados de evolução da linha de costa, perfis, correntes, sedimentologia e morfologia submarina.
Eguchi, 2017	2017	Dinâmica e o estágio evolutivo do sistema praia-falésia em Maimbá-ES	Interação praia-falésia e erosão costeira	Anchieta, praia de Maimbá	O estudo quantifica o recuo das falésias, caracteriza a energia das ondas e avalia a capacidade da praia de reduzir o alcance do espraçamento sobre a base das escarpas. A pesquisa esclarece como a variabilidade morfodinâmica da praia condiciona a frequência de ataque das ondas e a evolução do sistema praia-falésia.
Albino et al., 2018	2018	Panorama da erosão costeira no Brasil: ES	Mobilidade da linha de costa e	Litoral do ES	O estudo quantifica a mobilidade da costa entre 1970 e 2013 e demonstra que 48,5% do litoral estava estável, 35,2% em progradação e 16,3% em erosão.

			erosão costeira		Identifica a proteção exercida por afloramentos e terraços de abrasão, a progradação próxima às desembocaduras e a associação de diversos focos erosivos a desequilíbrios sedimentares provocados pela ocupação humana.
Pinheiro, Milani e Cerqueira, 2018	2018	Influência de obras de proteção costeira no controle de erosão na Praia Central de Marataízes (ES)	Desempenho de obras de proteção costeira	Marataízes	O trabalho avalia quebra-mares, espigão e alimentação artificial por comparação de imagens e indica acréscimo sedimentar na área protegida até 2017. Ressalta, contudo, que o desempenho depende do dimensionamento correto das estruturas e de monitoramento contínuo, pois intervenções inadequadas podem transferir ou intensificar a erosão.
Filgueiras, 2020	2020	Diferenças entre as escalas regional e local na aplicação da abordagem multicritério da vulnerabilidade costeira: estudo de caso no litoral sul do ES	Vulnerabilidade costeira em diferentes escalas	Marataízes e Presidente Kennedy	A dissertação demonstra que a classificação da vulnerabilidade se altera conforme a escala e a resolução dos dados utilizados. Integra geomorfologia, altimetria, mobilidade da linha de costa, exposição às ondas e variáveis locais, evidenciando a necessidade de levantamentos detalhados para decisões de gestão em setores urbanizados.
Filgueiras e Albino, 2020	2020	Vulnerabilidade costeira a partir da abordagem multicritério: estudo de caso no litoral sul do ES	Índice multicritério de vulnerabilidade costeira	Marataízes e Presidente Kennedy	O trabalho mostra que 49% dos 44 km analisados apresentam vulnerabilidade de moderada a muito alta, com destaque para falésias e extensas planícies costeiras. Valida o uso integrado de sensoramento remoto e SIG, identifica geomorfologia e altimetria como variáveis dominantes e aponta limitações do indicador de pós-praia em trechos urbanizados.
Firmino e Bulhões, 2020	2020	Aspectos das ondas oceânicas em áreas de erosão costeira: litoral do ES, Brasil	Clima de ondas e erosão costeira	Litoral do ES	O estudo distingue as maiores ondulações oceânicas, associadas a sistemas ciclônicos de sudoeste, das condições que efetivamente transferem maior energia à linha de costa, relacionadas a ventos severos de nordeste. Demonstra que pequenas mudanças direcionais expõem setores distintos e que projetos de proteção exigem modelagem específica junto à costa.
Brandão, 2021	2021	Resistência do material litológico na determinação da morfologia e dos processos erosivos nas falésias costeiras em Maimbá-ES	Erosão subaérea e resistência de falésias	Anchieta, praia de Maimbá	A dissertação relaciona a resistência das fácies litológicas, os movimentos gravitacionais de massa e o uso da terra à morfologia e à suscetibilidade erosiva das falésias. Produz mapas, perfis litológicos e morfológicos e resultados de ensaios que ajudam a explicar a distribuição dos processos erosivos e a orientar o manejo dessas feições.
Vervloet e Prata, 2023	2023	Alterações geomórficas da linha	Impactos portuários no	Anchieta, enseada de	O estudo quantifica o aprisionamento de aproximadamente 335.972,68 m³ de sedimentos ao norte do molhe em 42 anos e associa esse bloqueio à progradação

		de costa após implantação de terminal portuário no litoral sul do ES, Brasil	balanço sedimentar	Meaípe-Maimbá	ao sul e à erosão em Meaípe. Demonstra que o terminal alterou o balanço e a distribuição sedimentar da enseada, fornecendo evidências para gestão e responsabilização ambiental.
Magnani, 2024	2024	Erosão costeira na Praia Central de Marataízes – ES	Variação da linha de costa após obras de proteção	Marataízes	O estudo integra a variação da linha de costa entre 2012 e 2023 à caracterização granulométrica dos sedimentos, dividindo a praia em cinco setores. Produz um diagnóstico espacial do comportamento morfodinâmico após a implantação de quebra-mares, espigão e alimentação artificial, fornecendo base para o monitoramento da intervenção.
Rossetti, 2024	2024	Geologia dos arenitos de praia do estado do ES	Cartografia e petrografia de arenitos de praia	Municípios costeiros do ES	A pesquisa realiza o primeiro levantamento geológico sistemático dos arenitos de praia capixabas, mapeando 12 afloramentos em escala 1:5.000. Caracteriza granulometria, estruturas sedimentares, bioclastos, cimentação e fraturamento, fornecendo uma base cartográfica e petrográfica para interpretar a evolução costeira e o controle geológico da linha de costa.
Rocha, 2025	2025	Dinâmica costeira e erosão marinha: desafios e soluções na gestão ambiental costeira do município de Piúma/ES	Gestão ambiental costeira e erosão marinha	Piúma	A revisão relaciona pressão antrópica, mudanças climáticas, deficiência do ordenamento territorial e intervenções de engenharia inadequadas ao agravamento da erosão. Defende uma política integrada de gestão costeira e ambiental para orientar a ocupação da orla e reduzir perdas ambientais, sociais e econômicas.
Rocha, 2026	2026	Processo de antropização e erosão costeira da orla de Piúma, ES, Brasil	Antropização e evolução histórica da erosão	Piúma	O estudo apresenta uma análise geo-histórica das décadas de 1950 a 2020 e evidencia a substituição de dunas e restingas por ocupação urbana e estruturas rígidas. Relaciona essas transformações à alteração da linha de costa, aos impactos sobre os ecossistemas e à vulnerabilidade da economia turística, defendendo gestão costeira integrada.

CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO LITORAL CAPIXABA

O litoral do ES apresenta trechos em erosão, estabilidade e progradação distribuídos de maneira descontínua ao longo da costa. Com base nas distribuições e interações das distintas unidades geológicas (Embasamento Cristalino, Formação Barreiras e os depósitos das planícies costeiras), o litoral capixaba pode ser dividido em três setores: Nordeste, entre a divisa com a Bahia e a baía de Vitória; Central, entre a baía de Vitória e a desembocadura do Rio Itapemirim; e Sudeste, entre a desembocadura do Rio Itapemirim e a divisa com o estado do Rio de Janeiro (Martin et al., 1996). A Figura 1 exibe a distribuição dos trechos costeiros afetados pela erosão no ES e as localidades contempladas nesta revisão.

Em escala estadual, a comparação entre as linhas de costa de 1970 e 2013 indicou que aproximadamente 48,5% do litoral se encontravam em estabilidade, 35,2% em progradação e 16,3% em erosão (Albino et al., 2018). Os trechos estáveis estão frequentemente associados à presença de afloramentos rochosos e terraços de abrasão, que favorecem a dissipação da energia das ondas. A progradação ocorre principalmente nas proximidades de desembocaduras fluviais, nas quais o aporte de sedimentos terrígenos contribui para o avanço da linha de costa. Por outro lado, os setores erosivos estão relacionados à combinação entre disponibilidade sedimentar, exposição às ondas, configuração geomorfológica, dinâmica das desembocaduras e ocupação da faixa costeira (Albino et al., 2001; 2018).

O regime de ondas também apresenta variações importantes ao longo do litoral. As maiores ondulações registradas em águas oceânicas estão geralmente associadas à aproximação de sistemas ciclônicos de sudoeste. Entretanto, junto à linha de costa, condições severas de ventos de nordeste podem produzir maior transferência de energia para determinados segmentos. Pequenas variações na direção das ondas modificam os trechos expostos, demonstrando que a influência desse condicionante depende da orientação e da configuração de cada segmento costeiro (Firmino & Bulhões, 2020).

SETOR NORDESTE

No setor Nordeste, as evidências mais expressivas de erosão concentram-se em Conceição da Barra e Linhares, especialmente nas proximidades das desembocaduras fluviais e em trechos urbanizados. Em Conceição da Barra, destacam-se as praias de Guaxindiba e da Bugia e os setores próximos à desembocadura do rio São Mateus. A retração da linha de costa

provocou perdas de terrenos, residências, estabelecimentos comerciais, vias e outras estruturas implantadas próximas à praia (Albino et al., 2006).

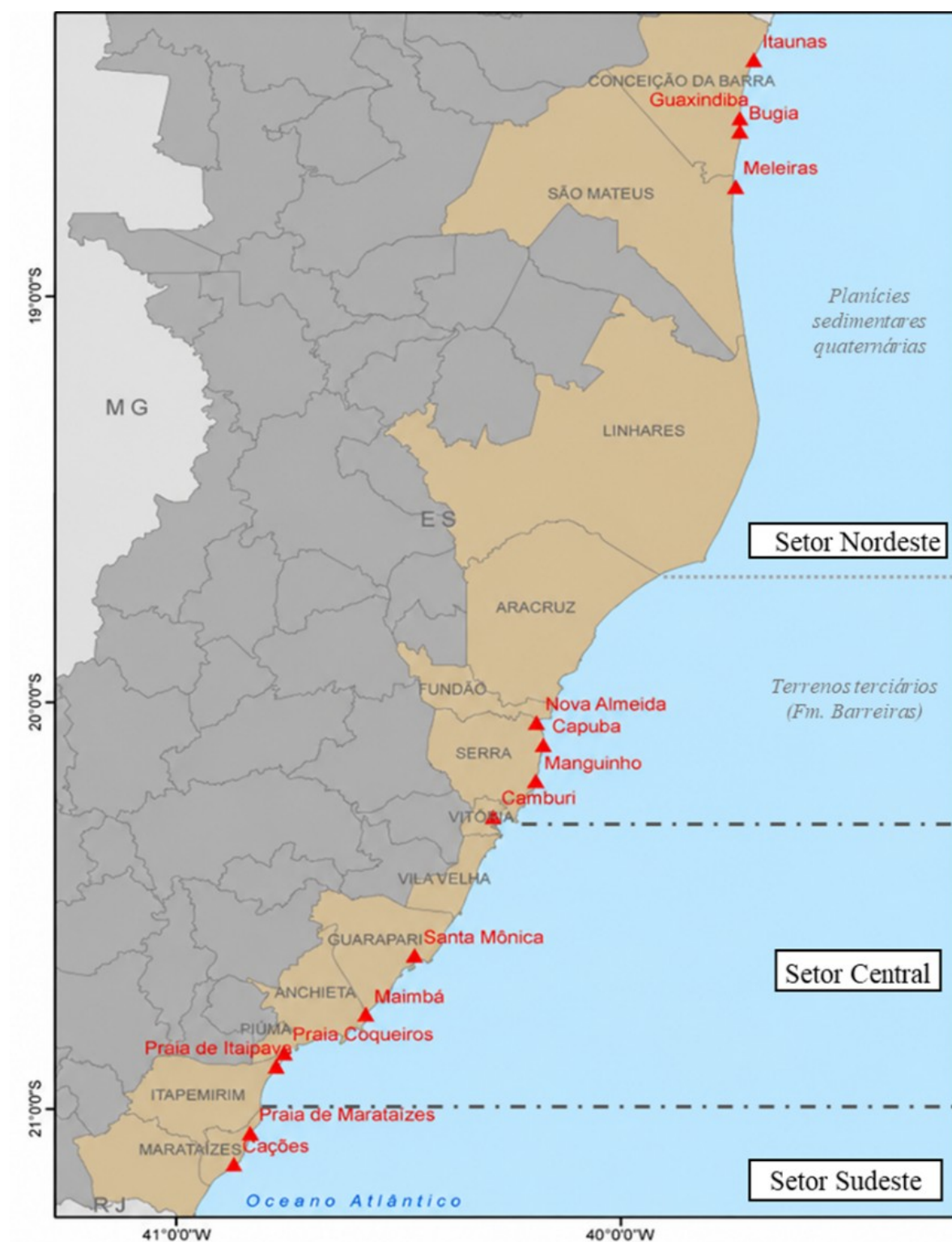


Figura 1. Setorização do litoral do ES e localização das áreas contempladas pelos estudos sobre erosão costeira. (Firmino e Bulhoes, 2020).

Análises da linha de costa entre 1985 e 2013 demonstraram erosão acentuada na Praia da Bugia e alterações na configuração da desembocadura do rio São Mateus. Os levantamentos morfológicos e sedimentológicos também identificaram retrabalhamento dos sedimentos em direção à antepraia, variabilidade dos perfis praias e diferenças no balanço sedimentar ao longo da área urbana de Conceição da Barra (Espinoza & Herzog, 2014; Herzog, 2014).

Em Linhares, os estudos concentram-se em Pontal do Ipiranga e nos setores influenciados pela desembocadura do rio Doce. A avaliação comparativa de praias do norte do ES e do sul da Bahia classificou Pontal do Ipiranga com baixa vulnerabilidade relativa, enquanto as demais praias analisadas apresentaram vulnerabilidade moderada. A morfologia e a exposição às ondas foram identificadas como fatores predominantes nos locais com maiores danos, enquanto a deriva sedimentar potencial e os regimes de tempestade se destacaram em outros focos erosivos (Ribeiro, 2014).

Também são registrados episódios erosivos nas proximidades das desembocaduras dos rios Piraquê-Açu e Reis Magos e em praias urbanizadas dos municípios de Aracruz, Fundão e Serra. Entre os locais mencionados nos levantamentos estaduais estão Nova Almeida e a Praia de Capuba, onde o estreitamento ou a retirada da faixa arenosa favoreceu a exposição de estruturas urbanas e tubulações (Albino et al., 2001; 2018).

SETOR CENTRAL

No setor Central, os estudos abrangem praias urbanizadas da Região Metropolitana da Grande Vitória e áreas costeiras de Guarapari, Anchieta e Piúma. Em Vitória, a Praia de Camburi apresenta registros históricos de erosão e alterações morfológicas e sedimentares. Os estudos realizados no início dos anos 2000 identificaram redistribuição granulométrica, mudanças nos perfis praias e estabilização progressiva de parte do estoque sedimentar após as transformações ocorridas na praia (Passos, 2004; Pedruzzi, 2005; Prata, 2005).

Também em Vitória, a Praia do Nenel, na Ilha do Boi, foi caracterizada como uma praia abrigada e refletiva, com vulnerabilidade relativamente baixa quando comparada às praias expostas. Apesar disso, o local apresenta suscetibilidade a eventos erosivos de curta duração que são associados à passagem de frentes frias e a processos de médio e longo prazo que estão relacionados à elevação do nível do mar e à ocupação de terrenos próximos à praia (Marcondes, 2005).

Em Vila Velha e Guarapari, os levantamentos regionais registram trechos com estreitamento da faixa de praia, exposição de estruturas costeiras e vulnerabilidade associada à ocupação urbana. Entre as áreas citadas estão as praias da Baleia, Ponta da Fruta e Praia do Sol, além de trechos próximos à Rodovia do Sol. Nesses locais, a configuração da costa, a disponibilidade de sedimentos e a ocupação próxima ao limite da praia condicionam a resposta aos eventos de maior energia (Aalbino et al, 2001; 2018).

Em Anchieta, as pesquisas concentram-se no embaiamento Meaípe–Maimbá. Os estudos identificaram alterações significativas na distribuição dos sedimentos e na posição da linha de costa, com comportamentos distintos ao longo da enseada. A interrupção parcial do transporte longitudinal favoreceu a acumulação de sedimentos em determinados trechos e a redução da faixa de praia em outros, especialmente em Meaípe (Albino, 2016; Vervloet & Prata, 2023).

Na Praia de Maimbá, a erosão também está relacionada à evolução do sistema praia-falésia. A variabilidade morfológica da praia condiciona a frequência com que o espraçamento alcança a base das escarpas. Além da ação das ondas, a resistência das fácies litológicas, os movimentos gravitacionais de massa, o escoamento superficial e o uso da terra influenciam a morfologia e a suscetibilidade erosiva das falésias (Brandão, 2021; Eguchi, 2017).

Na porção sul do setor Central, Piúma apresenta registros históricos de retração e estreitamento da faixa de praia. A análise geo-histórica referente ao período entre as décadas de 1950 e 2020 relacionou a intensificação dos problemas erosivos à expansão da ocupação urbana e à substituição de dunas e restingas por edificações, vias e estruturas rígidas. Essas transformações reduziram o espaço disponível para os ajustes naturais da linha de costa e ampliaram os impactos ambientais e socioeconômicos associados à erosão (Rocha, 2025, 2026).

SETOR SUDESTE

No setor Sudeste, os estudos concentram-se principalmente em Marataízes e, em menor quantidade, em Presidente Kennedy. A região apresenta planícies costeiras, praias arenosas, desembocaduras fluviais e trechos limitados por falésias da Formação Barreiras, compondo um litoral com respostas erosivas espacialmente variáveis (Albino et al, 2018).

Em Marataízes, as principais evidências são registradas na Praia Central e em trechos próximos à desembocadura do rio Itapemirim. A erosão está associada à vulnerabilidade

geomorfológica da costa, à redução das dunas frontais, à ocupação da faixa costeira e às alterações no balanço sedimentar. Nos setores onde as dunas permaneceram parcialmente preservadas, foram observadas trocas sedimentares entre a praia, os bancos submersos e o sistema eólico. Em contrapartida, os trechos urbanizados e desprovidos dessas reservas apresentaram maior suscetibilidade ao estreitamento da faixa de areia (Albino et al., 2006).

Os levantamentos realizados na Praia Central identificaram diferenças entre os setores da praia, com trechos em estabilidade ou acresção e outros com predomínio de processos erosivos. As análises multitemporais, os perfis praias e a caracterização sedimentológica demonstram que a evolução da linha de costa não ocorre uniformemente ao longo da orla, sendo condicionada pela dinâmica sedimentar, pela desembocadura do rio Itapemirim e pela configuração local da praia (Magnani, 2024; Pinheiro et al, 2018; Victor, 2015).

A análise multicritério realizada no litoral de Maratáizes e Presidente Kennedy demonstrou que aproximadamente 49% dos 44 km avaliados apresentavam vulnerabilidade de moderada a muito alta. As maiores classes foram associadas principalmente às falésias, às planícies costeiras de baixa altitude e aos segmentos com maior exposição às ondas. A geomorfologia e a altimetria foram identificadas como variáveis particularmente relevantes para a classificação da vulnerabilidade costeira regional (Filgueiras, 2020; Filgueiras & Albino, 2020).

SOLUÇÕES DE PROTEÇÃO COSTEIRA ADOTADAS NO ESTADO

A produção bibliográfica reunida na compreende 12 referências relacionadas às soluções de proteção costeira no ES (Tabela 2). Os estudos concentram-se em Conceição da Barra, Vitória e no embaçamento Meaípe–Maimbá; e Maratáizes, no setor Sudeste. Essa distribuição mostra que o conhecimento disponível está associado principalmente a áreas urbanizadas ou submetidas a alterações intensas da dinâmica sedimentar, enquanto grande parte do litoral permanece sem avaliações específicas sobre medidas de proteção.

Entre as estruturas utilizadas estão espigões, promontórios ou quebra-mares em ferradura, enrocamentos e molhes, geralmente associados à alimentação artificial, ao engordamento praias ou ao aterro hidráulico (Espinoza & Herzog, 2014; Magnani, 2024; Passos, 2004; Pedruzzi, 2005; Pinheiro et al, 2018; Prata, 2005; Victor, 2015). As estruturas rígidas buscam dissipar a energia das ondas, estabilizar determinados segmentos e reter sedimentos, enquanto as intervenções sedimentares procuram recompor o estoque de areia e

ampliar a largura da praia. Os estudos mostram que essas soluções produzem respostas espacialmente diferenciadas. A alimentação artificial pode ampliar a faixa arenosa e favorecer a estabilização dos perfis, mas seu desempenho depende do volume e da compatibilidade granulométrica do material, da exposição às ondas e da continuidade do monitoramento. As estruturas rígidas podem promover retenção sedimentar e proteção localizada, porém também interferem no transporte longitudinal, contribuindo para a redução do aporte ou para a intensificação da erosão em trechos adjacentes. Além disso, obras portuárias, mesmo quando não implantadas especificamente para controlar a erosão, podem modificar a propagação das ondas e o balanço sedimentar, demandando posteriormente medidas corretivas, como observado no embaçamento Meaípe–Maimbá (Vervloet & Prata, 2023).

Os resultados mais favoráveis das medidas adotadas no estado foram registrados nos segmentos com maior disponibilidade sedimentar e proximidade de fontes de aporte. Em contrapartida, trechos submetidos a déficit sedimentar, elevada exposição às ondas ou distantes das fontes de sedimentos permaneceram erosivos mesmo após as intervenções. Também foram observados reajustes dos aterros, perda de parte do material depositado e deterioração ou deslocamento de elementos das estruturas rígidas (Espinoza; Herzog, 2014; Magnani, 2024; Passos, 2004; Pedruzzi, 2005; Pinheiro et al., 2018; Prata, 2005; Victor, 2015).

AÇÕES GOVERNAMENTAIS E INSTITUCIONAIS

As informações sobre as ações governamentais e institucionais relacionadas à erosão costeira no ES foram obtidas a partir do levantamento de legislações estaduais e municipais, documentos de planejamento territorial, relatórios técnicos e planos de contingência. O enfrentamento da vulnerabilidade costeira exige uma atuação conjunta, que se divide operacionalmente entre as diretrizes de macro-escala, coordenadas pelo Estado, e a gestão direta do uso do solo urbano, a cargo dos Municípios.

No âmbito estadual, as medidas agrupam-se no ordenamento territorial, licenciamento ambiental, conservação de ecossistemas e execução de intervenções estruturais de grande porte. No campo do planejamento, destaca-se o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (Lei Estadual nº 5.816/1998), que estabelece as bases para a gestão integrada da costa capixaba. Sua execução é materializada por instrumentos como o zoneamento ecológico-econômico costeiro, os sistemas de informação e os relatórios de qualidade ambiental geridos pelo IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Espírito Santo, 1998; IEMA, 2026).

Tabela 2. Soluções para erosão costeira aplicadas no ES.

Referência	Tipo de solução analisada	Localidade da aplicação	Principais conclusões	Repercussões teóricas
Espinoza & Herzog (2014); Herzog (2014)	Obras Rígidas (5 Promontórios em ferradura) e Intervenções Sedimentares (Aterro hidráulico / Engordamento de praia).	Praia Central e Praia da Bugia, Conceição da Barra	As obras rígidas associadas ao aterro cumprem apenas parcialmente o objetivo. Registrou-se balanço sedimentar negativo ao norte (Guaxindiba) e positivo ao sul (foz do rio São Mateus). Foram registrados buracos na estrutura interna e deslocamento dos blocos de rocha. A erosão ao norte é agravada pela foz artificial do rio Itaúnas.	Sistemas de engenharia rígida (hard) e macia (soft) exigem monitoramento pós-obra e contínua calibração. Intervenções antrópicas em desembocaduras fluviais distantes (como o rio Itaúnas) alteram significativamente a deriva litorânea e reduzem o aporte sedimentar para as células praiais adjacentes.
Magnani (2024)	Obras Rígidas (4 Quebra-mares em ferradura e 1 Espigão norte) e Intervenções Sedimentares (Alimentação artificial/Engordamento).	Praia Central de Marataízes	O monitoramento multitemporal (2016-2023) indica que as obras rígidas com alimentação artificial funcionam como esperado nos setores norte e central (C, D e E), apresentando deposição a barlar e preservação textural sob baixa a moderada energia. Contudo, os setores sul (A e B) sofrem erosão crônica severa e recuo da linha de costa, especialmente durante o inverno sob tempestades intensas de SSE e SW.	A eficiência de estruturas rígidas e engordamento é espacialmente desigual. Zonas localizadas à sotamar de barreiras físicas tornam-se altamente vulneráveis a ondas extremas de tempestade. O tamanho do grão adicionado na alimentação artificial induz a alteração do estágio morfodinâmico da praia (para refletivo).
Passos (2004)	Obras Rígidas (3 Espigões transversais) e Intervenções Sedimentares (Engordamento artificial/Aterro de areias médias-grossas).	Praia de Camburi, Vitória	O engordamento com areias médias-grossas (970 mil m ³) obteve sucesso na contenção da erosão, gerando uma praia mais íngreme, reflexiva e estável que reduziu o assoreamento do canal do porto de Tubarão. Os 2º e 3º espigões transversais mostraram-se ineficientes, pois bloqueiam a deriva litorânea de NE e causam erosão localizada a sotamar, não contribuindo para a proteção geral.	O engordamento artificial é eficiente ao introduzir volume novo e elevar a declividade da praia para refletiva. Espigões transversais são ineficazes e desnecessários em praias onde há predominância de trocas sedimentares transversais (praia-antepraia) em relação ao transporte longitudinal residual.
Pedruzzi (2005)	Obras Rígidas (3 Espigões transversais) e Intervenções	Praia de Camburi,	O diagnóstico de estabilidade pós-engordamento na Praia de Camburi foi validado por meio do Perfil	O método de Perfil Praia de Equilíbrio (PPE) estabelece uma correlação direta entre o diâmetro

	Sedimentares (Engordamento artificial/Aterro).	Vitória	Praial de Equilíbrio (PPE) de Dean. A sobreposição entre os perfis modelados e os dados naturais de campo demonstrou tendências progradantes e estabilização volumétrica bem-sucedida em todos os setores.	do sedimento adicionado e a declividade natural da praia, servindo como uma ferramenta matemática rigorosa e preditiva para o planejamento de futuros engordamentos e controle da erosão.
Pinheiro, Milani e Cerqueira (2018)	Obras Rígidas (4 Espigões em ferradura e 2 Enrocamentos terminais) e Intervenções Sedimentares (Aterro hidráulico / Engordamento).	Praia Central de Marataízes	O sistema combinado de espigões em ferradura e enrocamentos de grande porte preenchidos com aterro hidráulico (2010) gerou um acréscimo significativo na faixa arenosa (engorde efetivo) e protegeu a orla urbana. O turismo e a infraestrutura foram recuperados com sucesso devido à retenção de areia nas estruturas.	Obras rígidas podem reter sedimentos, mas, se inadequadamente dimensionadas, também podem deslocar ou intensificar a erosão; a avaliação deve acompanhar a evolução da linha de costa após a implantação.
Prata (2005)	Obras Rígidas (3 Espigões transversais) e Intervenções Sedimentares (Engordamento artificial/Estabilidade textural).	Praia de Camburi, Vitória	A obra de engordamento garantiu a estabilidade textural e volumétrica da praia nos últimos três anos de monitoramento, mantendo uma distribuição simétrica de areias médias, mesmo com perda de 26,91% do volume inicial da engorda em quatro anos. Os espigões transversais foram ineficientes devido à predominância do transporte transversal.	A longevidade e estabilidade do engordamento de praia dependem da seleção granulométrica. Grãos carbonáticos bioclásticos mistos sofrem rápida fragmentação e abrasão mecânica induzida pelas ondas, reduzindo o diâmetro médio e acelerando a perda volumétrica do aterro em direção à antepraia.
Prefeitura de Conceição da Barra (2025)	Obras Rígidas (5 Promontórios em enrocamento com pedras detonadas) e Intervenções Sedimentares (Aterro hidráulico / Engordamento).	Praia Central e Guaxindiba, Conceição da Barra	A implantação de promontórios e aterro hidráulico em 2010 protegeu o setor central, mas a linha de praia entre as estruturas continua perdendo sedimentos sob balanço sedimentar negativo. O bairro Guaxindiba (norte) enfrenta erosão contínua, destrutiva e severa de ruas, muros e casas, sem proteção efetiva das obras antigas.	Estruturas rígidas de pedra criam proteção localizada, mas não solucionam o balanço sedimentar negativo de longo prazo. A gestão de crises costeiras exige o constante monitoramento, planos de contingência, parcerias com centros de pesquisa e aplicação de normas de zoneamento e ordenamento urbano restritivo.
Vervloet e Prata (2023)	Obras Rígidas (Terminal Portuário de Ubu / Molhe hidráulico e Enrocamento	Enseada Meaípe-Maimbá,	A construção do Porto de Ubu quebrou o equilíbrio dinâmico da enseada. O molhe hidráulico do terminal causou a difração de ondas, criando uma	Estruturas portuárias rígidas causam impactos geomórficos severos de longa escala ao interromper as correntes de deriva litorânea e criar

	de proteção) e Intervenções Sedimentares	Guarapari/A nchieta (terminal implantado em 1977;	'zona de sombra' que aprisionou 335.972,68 m ³ de sedimentos à sotamar (sul, Maimbá - progradação). Esse bloqueio acelerou a erosão crônica severa na Praia de Meaípe (norte), destruindo a orla e a rodovia ES-060.	zonas famintas de sedimento. O passivo socioambiental de portos privados é sistematicamente transferido ao erário público através de dispendiosas obras corretivas de engorda.
Victor (2015)	Obras Rígidas (4 Quebra-mares em ferradura, 1 Espigão Nordeste) e Intervenções Sedimentares (Aterro hidráulico / Engordamento).	Praia Central de Marataízes	O monitoramento indica que as obras rígidas associadas ao aterro são eficazes apenas nos setores 01 e 02 (estáveis), impulsionadas pelo espigão nordeste que retém as areias que derivam para sul da foz do rio Itapemirim. Nos setores 03 e 04 (sudoeste), as ferraduras são ineficientes e passivas diante da dinâmica erosiva natural, devido ao distanciamento do aporte fluvial e do espigão.	O sucesso de quebra-mares em ferradura e engordamento é altamente dependente da conectividade sedimentar e da proximidade de fontes de aporte abundantes (como fozes fluviais). Obras isoladas do suprimento sedimentar ou fora do raio de retenção de estruturas direcionadoras perdem eficácia de controle.
PASSOS (2004)	Alimentação artificial associada a espigões	Praia de Camburi, Vitória	O monitoramento após a intervenção registrou praia mais larga, ajustes morfológicos distintos ao longo da orla e tendência posterior de recuperação/progradação dos perfis, embora com redistribuição espacial do material.	A avaliação de obras combinadas requer séries temporais de perfis e sedimentos; ganhos locais de largura não devem ser generalizados sem examinar a resposta dos diferentes segmentos e possíveis efeitos adjacentes.

Para a mitigação de áreas críticas, o Estado atua com obras de proteção, recuperação e urbanização de orlas, conduzidas pelo Departamento de Edificações e de Rodovias (DER-ES), frequentemente associadas à recuperação da infraestrutura pública e à reorganização do uso dos espaços costeiros (DER-ES, 2021, 2026; Espírito Santo, 2024; 2025; Vitória, 2020). As principais normativas, órgãos responsáveis e estratégias da esfera estadual estão sintetizadas na Tabela 3.

As ações de gestão relacionadas ao planejamento urbano e ordenamento municipal estão detalhadas na Tabela 4. O controle do avanço imobiliário sobre as faixas de proteção natural é operacionalizado por meio dos Planos Diretores Municipais e suas respectivas Leis de Zoneamento. Essa estrutura local é complementada pelo Projeto Orla, que promove a articulação entre União, Estado, prefeituras e sociedade civil. Entretanto, a implementação efetiva desses instrumentos ainda apresenta ritmos heterogêneos entre as cidades costeiras (Monteiro et al., 2023). Cabe também às prefeituras a resposta emergencial durante eventos oceanográficos extremos, além da condução de programas locais de recuperação ecológica (IEMA, 2020; PMG, 2025).

As principais ações identificadas ao longo da costa capixaba, e a situação atual de cada medida são sintetizados e detalhados na Tabela 5.

ANÁLISE CRÍTICA DA GESTÃO DA EROSÃO COSTEIRA NO ESTADO

A produção científica, técnica e institucional analisada demonstra que a erosão costeira no Espírito Santo ocorre de forma descontínua e com diferentes intensidades. Os estudos concentram-se principalmente em Conceição da Barra, Pontal do Ipiranga, Vitória, Meaípe–Maimbá, Piúma e Marataízes, enquanto outros segmentos permanecem pouco investigados. Os processos identificados resultam da interação entre regime de ondas, eventos de alta energia, correntes litorâneas, mobilidade das desembocaduras, disponibilidade de sedimentos e características geomorfológicas. Esses fatores são agravados pela ocupação próxima à linha de costa, supressão de dunas e restingas, urbanização do pós-praia e implantação de estruturas que modificam o transporte sedimentar. Em alguns locais, alterações nas desembocaduras e obras portuárias também contribuíram para reorganizar o balanço sedimentar e produzir respostas distintas entre trechos adjacentes (Albino et al., 2006; 2016; Vervloet & Prata, 2023).

Tabela 3. Ações e instrumentos institucionais estaduais do ES, relacionados à zona costeira.

Categoria da Ação	Instrumento Técnico/Legal	Órgão Executor	Foco na Erosão e Ocupação Costeira	Fonte/Base Legal
Planejamento Estadual	Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC)	IEMA	Define diretrizes para ocupação e conservação, considerando a mobilidade natural dos sistemas praias e os riscos de erosão.	Lei Estadual nº 5.816/1998; Acervo COGEST/IEMA.
Zoneamento	Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro (ZEEC-ES)	IEMA / SEAMA	Mapeia a vulnerabilidade da costa. Determina as áreas de alta energia e balanço sedimentar negativo onde a urbanização deve ser evitada.	Decreto Federal nº 5.300/2004 (art. 7º); Macrodiagnóstico da Zona Costeira.
Normatização da Orla	Diretrizes para Urbanização da Orla Marítima	IEMA	Estabelece recuos obrigatórios para urbanização e calçadões, evitando interferência direta nas zonas de dissipação de ondas.	Instrução Normativa IEMA nº 03/2010.
Preservação	Proteção de Áreas de Preservação Permanente (APP)	IEMA	Classifica restingas fixadoras de dunas e manguezais como APPs. A manutenção estabiliza sedimentos e atua como barreira natural.	Lei Federal nº 12.651/2012 (Lei de Proteção da Vegetação Nativa).
Recuperação	Termo de Referência para PRADs	IEMA	Padroniza metodologias para recuperar faixas costeiras degradadas, incluindo o reestabelecimento da vegetação de restinga.	Instrução Normativa IEMA nº 17/2006.
Intervenção Estrutural	Obras de Contenção e Alimentação Artificial	DER-ES	Ações diretas de engenharia costeira em áreas críticas (ex: Praia de Meaípe, Piúma, Conceição da Barra).	Projetos executivos do DER-ES e estudos de efetividade (Albino et al., 2018).

Tabela 4. Ações e instrumentos institucionais municipais do ES, relacionados à zona costeira.

Categoria da Ação	Instrumento Técnico/Executivo	Órgão Executor	Foco na Erosão e Ocupação Costeira	Base Legal
Gestão Integrada	Plano de Gestão Integrada (PGI) – Projeto Orla	Comitês Gestores / SMA	Diagnostica pontos de erosão crônica e ocupações irregulares em microescala. Propõe intervenções locais e recuos.	Decreto Federal nº 5.300/2004; Manuais do Projeto Orla (SPU/MMA).
Uso do Solo	Plano Diretor Municipal (PDM) e Zoneamento	Sec. de Planejamento e Desenv. Urbano	Define o macrozoneamento urbano e recuos construtivos, impedindo o avanço imobiliário sobre as dunas e pós-praia.	Lei Federal nº 10.257/2001 (Estatuto da Cidade); Leis Municipais de Zoneamento.
Uso do Solo	Plano Diretor Municipal (PDM) e Zoneamento	Sec. de Planejamento e Desenv. Urbano	Fiscaliza construções na faixa de areia, coíbe supressão de restinga e exige estudos de impacto para novos empreendimentos.	Resolução CONSEMA nº 01/2022 (Delegação de competências locais).
Fiscalização	Licenciamento Ambiental Municipal	Secretarias Municipais de Meio Ambiente	Fiscaliza construções na faixa de areia, coíbe supressão de restinga e exige estudos de impacto para novos empreendimentos.	Resolução CONSEMA nº 01/2022 (Delegação de competências locais).
Resposta a Desastres	Monitoramento e Contingência de Risco	COMPDEC (Defesa Civil Municipal)	Atuação emergencial frente ao avanço do mar e ressacas. Interdita e isola áreas com risco iminente de colapso estrutural.	Lei Federal nº 12.608/2012 (Política Nacional de Proteção e Defesa Civil).
Recuperação	Plano Municipal de Conservação (PMMA)	Secretarias Municipais de Meio Ambiente	Viabiliza projetos de revegetação e cercamento de restingas (Soluções Baseadas na Natureza) para estabilizar sedimentos locais.	Lei Federal nº 11.428/2006 (Lei da Mata Atlântica).

Tabela 5. Síntese das principais ações estruturais e institucionais de contenção à erosão costeira e urbanização no ES.

Ação Identificada (Intervenção)¹	Órgão Responsável	Localidade	Objetivos	Ano (Proposição/ Implantação)	Situação / Efetividade da Medida
--	--------------------------	-------------------	------------------	--------------------------------------	---

Alimentação Artificial (Engordamento)	Prefeitura de Vitória	Vitória (Praia de Camburi)	Recuperar a faixa de areia, conter a erosão crônica e permitir a revitalização da orla.	1999 – 2004 (Expansões recentes até 2020)	Concluída e Estável. Estudos apontam adaptação morfotextural atingida e manutenção do perfil praial.
Construção de Guias-Correntes e Molhes	DER-ES / Prefeitura de Conceição da Barra	Conceição da Barra (Foz do Rio Cricaré e Praia da Bugia)	Estabilizar a desembocadura e conter o avanço severo do mar sobre a malha urbana histórica.	2005 – 2013	Parcialmente Efetiva. Obras contiveram parte do avanço, mas geraram desequilíbrio no setor norte
Instalação de Espigões e Quebra-Mares	DER-ES / Prefeitura de Marataízes	Marataízes (Praia Central)	Dissipar a energia das ondas e conter o solapamento e destruição da rodovia costeira e da infraestrutura central.	2010 – 2017	Efetividade Desigual. Estabilizou setores centrais, mas a eficácia espacial varia, exigindo monitoramento e manutenção contínuos.
Macroprojeto de Alimentação Artificial e Enrocamento	Governo do Estado	Guarapari (Praias de Meaípe e Maimbá)	Restaurar a faixa de areia completamente erodida e proteger a Rodovia do Sol (ES-060) do colapso estrutural.	2021 – 2024	Concluída. Em fase inicial de monitoramento pós-obra para verificar o comportamento hidrodinâmico.
Reurbanização e Construção de Muros de Arrimo	DER-ES / Prefeitura de Piúma	Piúma (Praia Central / Orla)	Mitigar os impactos da antropização histórica e proteger a infraestrutura local após a supressão das restingas.	2020 – 2026	Em Implantação / Manutenção. Requer readaptação constante devido à alta vulnerabilidade e substituição natural por estruturas rígidas.
Plano de Recuperação da Orla (Projeto Orla)	SPU (Federal) + Prefeituras	Múltiplos municípios	Diagnosticar ocupações irregulares em área da União, promover recuos construtivos e proteger APPs costeiras.	Diversos (Atualizações 2024/2025)	Em Andamento. Efetividade depende da fiscalização para evitar novas construções em áreas de alta energia.

1 As informações consolidadas apoiam-se no histórico de obras documentado por pesquisadores locais evidenciados na Tabela 1, e em relatórios de execução de obras públicas do DER-ES

As soluções adotadas incluem alimentação artificial, enrocamentos, muros de contenção, espigões, quebra-mares, guias-correntes e estabilização de desembocaduras. Sua efetividade varia de acordo com a exposição às ondas, a disponibilidade e a granulometria dos sedimentos, a configuração geomorfológica e a posição das estruturas em relação à deriva litorânea. De modo geral, essas intervenções foram mais eficientes na proteção imediata de infraestruturas e na ampliação localizada da faixa de praia do que no restabelecimento do equilíbrio sedimentar em escala regional. Na Praia de Camburi, a alimentação artificial apresentou resultados favoráveis quando associada ao acompanhamento morfológico e granulométrico, embora o reajuste do perfil e a perda de parte do material indiquem a necessidade de monitoramento e eventuais reposições (Albino & Oliveira, 2000; Passos, 2004; Prata, 2005). Em Conceição da Barra e Marataízes, as avaliações registraram eficiência desigual entre os setores, permanência de trechos erosivos e necessidade de manutenção das estruturas (Espinoza, 2017; Magnani, 2024; Pinheiro et al., 2018; Victor, 2015).

Esses resultados permitem questionar se as alternativas implantadas foram, em todos os casos, as mais adequadas. Estruturas rígidas podem ser necessárias em áreas urbanizadas submetidas a risco imediato, mas sua utilização tende a privilegiar a proteção de vias e edificações sem necessariamente recuperar a dinâmica natural da praia. A retenção de sedimentos em determinado segmento também pode reduzir o aporte aos trechos adjacentes e transferir o processo erosivo. Portanto, o sucesso de uma intervenção não deve ser avaliado apenas pela estabilidade da infraestrutura protegida, mas também pela conservação da faixa arenosa, pelos efeitos sobre a célula sedimentar, pela manutenção dos serviços ecossistêmicos e pelos custos futuros. A escolha entre estruturas rígidas, alimentação artificial ou soluções combinadas deve ser fundamentada em estudos comparativos que considerem impactos ambientais, vida útil, manutenção e diferentes cenários hidrodinâmicos.

O Estado dispõe de instrumentos legais, técnicos e administrativos para o enfrentamento da erosão costeira, distribuídos entre diferentes órgãos e níveis de governo (Espírito Santo, 1998; IEMA, 2026; Monteiro et al., 2023). Entretanto, a existência dessa estrutura não assegura uma atuação integrada, preventiva e contínua, aspecto que evidencia limitações importantes na gestão do problema. A principal fragilidade observada não é a ausência de iniciativas, mas a descontinuidade entre diagnóstico, planejamento, licenciamento, execução e avaliação. As ações permanecem concentradas em áreas urbanizadas e frequentemente são implantadas depois da ocorrência de danos. Além disso, as competências estão distribuídas entre diferentes órgãos e níveis de governo, enquanto os processos sedimentares ultrapassam os limites

municipais. Essa fragmentação pode produzir decisões isoladas, sobreposição de responsabilidades e intervenções que desconsideram seus efeitos regionais. A escassez de séries padronizadas de monitoramento e de avaliações anteriores e posteriores às obras também dificulta verificar se os recursos públicos foram empregados nas alternativas mais eficientes.

As mudanças climáticas ampliam esse desafio. A elevação do nível médio do mar e a possível intensificação dos níveis costeiros extremos podem aumentar a ocorrência de inundação, galgamento e recuo da linha de costa, principalmente em praias de baixo gradiente, desembocaduras e áreas densamente ocupadas. Esses efeitos não constituem a causa exclusiva da erosão existente, mas podem agravar desequilíbrios associados ao déficit sedimentar e à urbanização da orla (IPCC, 2021; 2022). Nesse contexto, obras dimensionadas apenas com base nas condições históricas podem apresentar menor vida útil ou se tornarem insuficientes diante de condições futuras mais adversas.

O Governo do Espírito Santo tem incorporado a questão climática ao planejamento por meio do Programa Capixaba de Mudanças Climáticas, do Plano de Descarbonização e Neutralização das Emissões de Gases de Efeito Estufa e da atualização do Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro. Também são identificadas ações de recuperação de orlas, proteção de infraestruturas, conservação de ecossistemas e fortalecimento da gestão de riscos (SEAMA, 2023; IEMA, 2025). Entretanto, parte expressiva da política climática estadual permanece direcionada à mitigação das emissões, enquanto as medidas específicas de adaptação da linha de costa estão dispersas entre diferentes setores administrativos. Não foi identificado, no conjunto documental analisado, um programa estadual contínuo que reúna projeções de elevação do nível do mar, definição de áreas prioritárias, monitoramento padronizado da linha de costa e avaliação periódica das intervenções.

Também são limitadas as informações sobre soluções sustentáveis e baseadas na natureza e que sejam aplicadas à erosão costeira no estado. A conservação e a recuperação de dunas, restingas, manguezais e faixas naturais de amortecimento aparecem principalmente como recomendações, sendo escassos os registros de projetos-piloto implantados e monitorados. Também são pouco estudadas as soluções híbridas que combinam alimentação artificial, recuperação ecológica e estruturas de menor impacto. Essa lacuna evidencia uma gestão ainda centrada em respostas estruturais e emergenciais, com pouca integração entre engenharia, conservação e ordenamento territorial. Embora as obras convencionais produzam resultados imediatos e visíveis, as soluções baseadas na natureza exigem planejamento de longo

prazo, disponibilidade de espaço e articulação institucional, mas podem preservar a capacidade natural de adaptação dos ambientes costeiros.

A gestão estadual precisa, portanto, avançar da proteção pontual de infraestruturas para uma abordagem preventiva, adaptativa e orientada pelo funcionamento das células sedimentares. As prioridades para pesquisas incluem ampliar o diagnóstico dos trechos pouco estudados, manter séries contínuas da evolução da linha de costa, avaliar as obras antes e depois de sua implantação e desenvolver projetos-piloto de recuperação de dunas, restingas e manguezais. Também são necessárias comparações entre os custos, a durabilidade e os impactos de estruturas rígidas, alimentação artificial, soluções híbridas e medidas baseadas na natureza, incorporando cenários climáticos às avaliações.

REFERÊNCIAS

Albino, J. (1999). *Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES* [Tese de doutorado, Universidade de São Paulo].

Albino, J., Coelho, A. L. N., Girardi, G., & Nascimento, K. A. (2018). Espírito Santo. In D. Muehe (Org.), *Panorama da erosão costeira no Brasil* (pp. 433–477). Ministério do Meio Ambiente.

Albino, J., Contti Neto, N., & Oliveira, T. C. A. (2016). The beaches of Espírito Santo. In A. D. Short & A. H. F. Klein (Eds.), *Brazilian beach systems* (pp. 333–361). Springer.

Albino, J., Girardi, G., & Nascimento, K. A. (2006). Espírito Santo. In D. Muehe (Org.), *Erosão e progradação do litoral brasileiro* (pp. 227–264). Ministério do Meio Ambiente.

Albino, J., Jiménez, J. A., & Oliveira, T. C. A. (2016). Planform and mobility in the Meaípe–Maimbá embayed beach on the southeast coast of Brazil. *Geomorphology*, 253, 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.09.024>

Albino, J., & Oliveira, R. M. S. (2000). Monitoramento topográfico e granulométrico das areias da Praia de Camburi, Vitória, ES, antes, durante e após o engordamento artificial. In Anais do Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas (pp. 355–356). Univali.

Albino, J., Paiva, D. S., & Machado, G. V. M. (2001). Geomorfologia, tipologia, vulnerabilidade erosiva e ocupação urbana das praias do litoral do Espírito Santo, Brasil. *Geografares*, 2, 63–70. <https://doi.org/10.7147/GEO2.1141>

Albino, J., Pasolini, A., Moura, M. G., Sardenberg, E. R., & Coelho, B. A. (2006). Erosão e estado morfodinâmico da Praia Central de Marataízes, sul do Espírito Santo. In Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia.

Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>

Brandão, P. H. N. (2021). *Resistência do material litológico na determinação da morfologia e dos processos erosivos nas falésias costeiras em Maimbá-ES* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo].

Brasil. (2001, 10 de julho). Lei nº 10.257: Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm

_____. (2004, 7 de dezembro). *Decreto nº 5.300: Regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro*. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5300.htm

_____. (2006, 22 de dezembro). *Lei nº 11.428: Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica e dá outras providências*. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm

_____. (2012a, 10 de abril). *Lei nº 12.608: Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e dá outras providências*. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm

_____. (2012b, 25 de maio). *Lei nº 12.651: Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências*. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm

Conselho Estadual de Meio Ambiente. (2007, 15 de fevereiro). *Resolução CONSEMA nº 1: Dispõe sobre os critérios para o exercício da competência do licenciamento ambiental municipal e dá outras providências*. <https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/resolucao-consema-n-001-de-15-de-fevereiro-de-2007.pdf>

Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo. (2021, 26 de outubro). *Governador assina ordem de serviço para obras em Meaípe*. <https://der.es.gov.br/Noticia/governador-assina-ordem-de-servico-para-obras-em-meaípe>

Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo. (2026). *Plano de Contratações Anual: Exercício 2026 – infraestrutura* <https://der.es.gov.br/media/Documentos/PCA/pca-2026/versao-4.pdf>

Eguchi, B. M. M. (2017). *Dinâmica e estágio evolutivo do sistema praia-falésia em Maimbá-ES* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo].

Espinoza, J. A. A., & Herzog, I. B. (2017). *Estudo da efetividade de obras de contenção de erosão costeira em Conceição da Barra-ES*. Revista Guará, 1(6), 71–80.

Espírito Santo. (1998, 22 de dezembro). *Lei nº 5.816: Institui o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro do Espírito Santo*. Assembleia Legislativa do Estado do Espírito Santo. <https://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/lei58161998.html>

_____. (2024, 14 de dezembro). *Governo do Estado conclui primeira etapa da revitalização da orla de Piúma e anuncia novos investimentos*. <https://www.es.gov.br/Noticia/governo-do-estado-conclui-primeira-etapa-da-revitalizacao-da-orla-de-piuma-e-anuncia-novos-investimentos>

_____. (2025, 27 de setembro). *Governo inaugura sistema de travessia por balsa e anuncia novos investimentos em Conceição da Barra*. <https://sedu.es.gov.br/Noticia/governo-inaugura-sistema-de-travessia-por-balsa-e-anuncia-novos-investimentos-em-conceicao-da-barra>

Filgueiras, G. D. L. (2020). *Diferenças entre as escalas regional e local na aplicação da abordagem multicritério da vulnerabilidade costeira: Estudo de caso no litoral sul do Espírito Santo* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo].

Filgueiras, G. D. L., & Albino, J. (2020). *Vulnerabilidade costeira a partir da abordagem multicritério: Estudo de caso no litoral sul do Espírito Santo*. Revista do Departamento de Geografia, 40, 78–93. <https://doi.org/10.11606/rdg.v40i0.165831>

Firmino, L. A. C., & Bulhões, E. M. R. (2020). *Aspectos das ondas oceânicas em áreas de erosão costeira: Litoral do Espírito Santo, Brasil*. Finisterra, 55(113), 23–44. <https://doi.org/10.18055/Finis13499>

Girardi, G., & Cometti, R. S. (2006). *Dinâmica do uso e ocupação do solo no litoral sul do estado do Espírito Santo, Brasil*. Desenvolvimento e Meio Ambiente, 13, 51–73. <https://doi.org/10.5380/dma.v13i0.3114>

Herzog, I. B. (2014). *Estudo da efetividade de obras de contenção de erosão costeira em Conceição da Barra–ES* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Espírito Santo].

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2006, 6 de dezembro). *Instrução Normativa nº 17: Institui termo de referência para a elaboração de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas*. <https://iema.es.gov.br/media/Downloads/GRN/Core/IN%20n%2017-2006.pdf>

_____. (2010). *Instrução Normativa nº 3: Institui as diretrizes básicas para elaboração de projetos de urbanização na orla marítima*. <https://iema.es.gov.br/gestao-territorial-costeira-instrumentos>

_____. (2020, 14 de abril). *Vegetação de restinga dos parques estaduais de Itaúnas e Paulo César Vinha é preservada para estabilidade dos ecossistemas*. <https://iema.es.gov.br/Not%C3%ADcia/vegetacao-de-restinga-dos-parques-estaduais-de-itaunas-e-paulo-cesar-vinha-e-preserveda-para-estabilidade-dos-ecossistemas>

_____. (2026). *Gerenciamento costeiro: Instrumentos*. Recuperado em 27 de agosto de 2026. <https://iema.es.gov.br/gestao-territorial-costeira-instrumentos2>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

_____. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

Magnani, I. O. (2024). *Erosão costeira na Praia Central de Marataízes–ES* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Espírito Santo].

Marcondes, A. C. J. (2005). *Vulnerabilidade erosiva da Praia do Nenel, Ilha Bela (Ilha do Boi)*, Vitória–ES [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Espírito Santo].

Martin, L., Suguio, K., Flexor, J.-M., & Archanjo, J. D. (1996). *Coastal Quaternary formations of the southern part of the State of Espírito Santo (Brazil)*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68(3), 389–404.

Monteiro, L. L., Bitencourt, C., Bonadiman, N. N., França, C. J., & Lira, P. S. (2023). *Projeto Orla no Espírito Santo: Um instrumento da gestão pública no ordenamento da zona costeira capixaba*. In B. Pêgo, L. Nagamine, C. Krüger, & R. Moura (Orgs.), *Fronteiras do Brasil: O litoral em sua dimensão fronteiriça* (Vol. 8, pp. 515–541). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. <https://doi.org/10.38116/978-65-5635-067-7/capitulo18>

Muehe, D. (Org.). (2018). *Panorama da erosão costeira no Brasil*. Ministério do Meio Ambiente.

Passos, R. C. S. (2004). *Variação morfotextural da Praia de Camburi, Vitória–ES, após engordamento artificial* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Espírito Santo].

Pedruzzi, C. V. (2005). *Perfil praias de equilíbrio da Praia de Camburi, Vitória–ES* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Espírito Santo].

Pinheiro, A. A. L., Milani, I. C. B., & Cerqueira, A. C. (2018). *Influência de obras de proteção costeira no controle de erosão na Praia Central de Marataízes (ES)*. In *Anais do XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*. ABRHidro.

Prata, P. M. (2005). *Variação textural dos sedimentos da Praia de Camburi, Vitória–ES, após o engordamento artificial* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Espírito Santo].

Prefeitura Municipal de Guarapari - PMG. (2025). *Plano de contingência municipal: Edição 2025*. <https://defesacivil.es.gov.br/Media/DefesaCivil/Plano%20de%20Conting%C3%Aancia%20atualizado/2026/GUARAPARI%20-%20PLANO%20DE%20CONTING%C3%8ANCIA%20-%202025.pdf>

Ribeiro, J. S. (2014). *Vulnerabilidade costeira em praias do norte do Espírito Santo e sul da Bahia* [Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.21.2014.tde-24032015-160955>

Rocha, J. G. (2025). *Dinâmica costeira e erosão marinha: Desafios e soluções na gestão ambiental costeira do município de Piúma/ES*. Lumen et Virtus, 16 (54).

_____. (2026). *Processo de antropização e erosão costeira da orla de Piúma, Espírito Santo, Brasil*. Revista Tópicos, 4(34), 1–33. <https://doi.org/10.70773/revistatopicos/780432201>

Rossetti, S. M. (2024). *Geologia dos arenitos de praia do estado do Espírito Santo*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Espírito Santo.

Vervloet, R. J. H. M., & Prata, P. M. (2023). *Alterações geomórficas da linha de costa após implantação de terminal portuário no litoral sul do Espírito Santo, Brasil*. Geografares, 3 (36), 32–58.

Victor, R. (2015). *Estudo da dinâmica costeira e da efetividade das obras de contenção de erosão costeira em Marataízes–ES* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Espírito Santo].

Vitória, Prefeitura Municipal. (2020, 20 de maio). *Curva da Jurema ganha nova faixa de areia e obras prosseguem em Camburi*. <https://www.vitoria.es.gov.br/noticias/curva-da-jurema-ganha-nova-faixa-de-areia-e-obras-prosseguem-em-camburi-40786>

**FRAGILIDADE AMBIENTAL EM ÁREAS DE ATERRO: ESTUDO DE
CASO NO MUNICÍPIO DE NOVA VENÉCIA - ES**

ENVIRONMENTAL FRAGILITY IN LANDFILL AREAS: A CASE STUDY IN THE
MUNICIPALITY OF NOVA VENÉCIA, ESPÍRITO SANTO, BRAZIL

Kécila Silva; Eduardo Duarte

Kécila Vitória da Costa Silva
Graduada em Geologia
Assistente Ambiental na Ambipar
kecilasilva@hotmail.com)

Eduardo Baudson Duarte
Doutor em Ciências Naturais
Professor no Instituto Federal do Espírito Santo
eduardo.duarte@ifes.edu.br

RESUMO

Resíduos sólidos urbanos constitui um dos principais desafios socioambientais enfrentados pelos municípios brasileiros, especialmente em áreas onde a gestão de resíduos é realizada de forma inadequada. Nesse contexto, é essencial diagnosticar as condições ambientais das áreas utilizadas, visando a prevenção e mitigação de danos. Foi feita uma pesquisa no aterro controlado municipal e no bairro residencial Padre Gianni, área anteriormente utilizada como aterro sanitário. Foram realizadas as coletas de solos em diferentes profundidades para a caracterização textural e mineralógica, além de análises laboratoriais de potencial hidrogeniônico (pH), potencial redox (Eh) e condutividade elétrica. Em campo foi feita a caracterização dos aspectos gerais das áreas estudadas e fotointerpretação de mapas temáticos, no qual permitiram compreender o contexto ambiental e social local das áreas de estudos. Predominam solos argilosos, associados a uma elevada presença de resíduos sólidos, incluindo fragmentos de pequeno porte identificados por meio da lupa binocular. O pH é ligeiramente básico, entre 6,6 – 7,5, superiores aos valores normais de pH entre 4,0 e 5,5 dos solos da região. O Eh possui em média 187 mV e a condutividade elétrica máxima de 131,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando degradação ambiental nas áreas de estudos. A ocupação urbana sobre o antigo aterro, e a proximidade de corpos hídricos levanta preocupações quanto à saúde pública, infraestrutura e segurança ambiental. Há necessidade de monitoramento contínuo das áreas analisadas, sugerindo a aplicação de métodos geofísicos para investigação mais precisa da contaminação subterrânea, além de demais ensaios químicos a fim de mensurar degradação ambiental.

Palavras-chave. aterro controlado; geologia ambiental; degradação ambiental; resíduos sólidos.

ABSTRACT

Municipal solid waste is a major socio-environmental challenge facing Brazilian municipalities, particularly where waste management practices are inadequate. In this context, assessing the environmental conditions of the sites in question is essential for preventing and mitigating damage. A study was conducted at the municipal controlled landfill and the Padre Gianni residential neighborhood—an area previously used as a sanitary landfill. Soil samples were collected at various depths for textural and mineralogical characterization, alongside laboratory analyses of pH, redox potential (Eh), and electrical conductivity. Fieldwork involved characterizing the general features of the study areas and interpreting thematic maps, providing insight into the local environmental and social context. Clayey soils predominate, associated with a high presence of solid waste, including small fragments identified via binocular microscopy. pH levels are slightly basic (6.6–7.5), exceeding the typical range (4.0–5.5) for soils in the region. The average redox potential (Eh) is 187 mV, and the maximum electrical conductivity is 131.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicating environmental degradation in the study areas. Urban development over the former landfill and the proximity to water bodies raise concerns regarding public health, infrastructure, and environmental safety. Continuous monitoring of the analyzed areas is required; the use of geophysical methods is suggested for a more precise investigation of subsurface contamination, alongside additional chemical analyses to quantify environmental degradation.

Keywords. controlled landfill; environmental geology; environmental degradation; solid waste.

INTRODUÇÃO

A Crônica “O Lixo” de Luís Fernando Veríssimo (Veríssimo, 2002) aborda a temática dos resíduos e da cultura de consumo de forma humorística e crítica, ressaltando que o lixo que geramos é resultado do nosso consumo. Para Rodrigues (2020), todo, e qualquer resíduo, é resultado de uma ação humana: o consumo. Dessa forma, todos somos consumidores, bem como responsáveis pela geração de resíduos no mundo.

A geração de resíduos proveniente da ação humana faz parte da história da civilização, onde o crescimento populacional, e os avanços tecnológicos aumentam o consumo, resultando em um crescimento exponencial de geração de resíduos. Assim, a destinação final destes resíduos urbanos (RSU) sempre foi um problema ambiental e persiste até a atualidade (Lima, 2015).

Segundo Gonçalves et al. (2019), o manejo inadequado desses resíduos pode acarretar a contaminação do solo e das fontes de água, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos utilizados para consumo e outras atividades humanas, além de prejudicar a biodiversidade local. Além disso, a disposição incorreta de resíduos e a decomposição de materiais orgânicos em aterros geram gases de efeito estufa, como o metano, que contribuem de forma expressiva para o agravamento das mudanças climáticas.

Os riscos à saúde, de acordo com Gunther (1998), ocorrem em dois casos: quando a contaminação é espalhada, e atinge a população por diferentes vias de exposição; ou quando uma área contaminada é reutilizada sem o conhecimento de sua condição. A contaminação pode causar poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas pelo escoamento superficial ou percolação de lixiviados, carreando o contaminado para regiões vizinhas, que por sua vez não cessam após o encerramento das atividades operacionais de disposição de resíduos, e a contaminação continua e acarreta diversos problemas.

O crescimento urbano de Nova Venécia intensificou os desafios relacionados à gestão de resíduos sólidos. Na década de 1990, o antigo lixão, localizado às margens do rio Cricaré, foi transferido, em 1991, para uma área afastada do centro urbano. Em 1997, o aterro foi novamente realocado para uma área próxima à rodovia entre Nova Venécia e Vila Pavão, buscando melhorar a disposição dos resíduos, reduzir os impactos sobre as áreas urbanas e contribuir para a preservação ambiental (Piva, 2009; 2011).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM ATERROS

A geração de resíduos sólidos está diretamente relacionada ao crescimento populacional, à urbanização, à industrialização e aos padrões de consumo, sendo as áreas urbanas as principais responsáveis pela produção de resíduos devido à concentração populacional e às atividades comerciais, industriais e de serviços (Kreling, 2006; Lima, 2019). Em 2022, cerca de 87,4% da população brasileira vivia em áreas urbanas, enquanto a geração de resíduos sólidos urbanos foi estimada em aproximadamente 81 milhões de toneladas em 2023, com destaque para a região Sudeste (ABREMA, 2024; IBGE, 2022).

A geração e o manejo dos resíduos também estão relacionados a fatores socioeconômicos, como renda, escolaridade, ocupação, composição familiar e hábitos de consumo (Ojeda-Benítez et al., 2008). Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), após esgotadas as possibilidades de reutilização, reciclagem e tratamento, os rejeitos devem ser destinados a locais ambientalmente adequados, seguindo critérios técnicos que reduzam riscos à saúde pública e os impactos ambientais (ABREMA, 2024).

A gestão e deposição inadequada de Resíduos Sólidos são responsáveis por impactos socioambientais, dentre eles a degradação de solo, contaminação de rios e nascentes, poluição atmosférica, estímulo da ocorrência de enchentes, além da proliferação de vetores de importância sanitária. Tais adversidades afetam principalmente pessoas socioeconomicamente mais vulneráveis (Jacobi & Besen, 2011).

A degradação ambiental é definida pela Lei Federal nº 6.938/1981 como alterações adversas nas características do meio ambiente (Brasil, 1981). Sanchez (2013) amplia esse conceito para alterações negativas nos processos, funções, componentes ou na qualidade ambiental. Embora possa ocorrer naturalmente, a ação antrópica tem intensificado significativamente os processos de degradação ambiental na atualidade (Meneguzzo, 2006).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Nova Venécia possui como principal afluente o rio Cricaré ou braço sul do Rio São Mateus, além de outros córregos como: Córrego da Serra, Córrego Alegre, Rio Preto

e Rio Muniz. Circunvizinho à área de estudo são observados corpos hídricos, denominado de Córrego Cachoeirinha e Córrego Frigério, afluentes do Rio Santa Joana (AGERH, 2025).

De acordo com o Instituto Jones dos Santos Neves – IJNS (2012), a cidade de Nova Venécia apresenta principalmente coberturas sedimentares, como a Formação Barreiras, além de maciços plutônicos, representada por variados maciços rochosos. Além disso, a área de estudo dispõe de um relevo ondulado e suaves variações altimétricas.

De acordo com Lacerda et al. (2023), a área de estudo em Nova Venécia apresenta planícies de inundação, associadas às áreas mais baixas dos vales e próximas às drenagens, especialmente ao rio Cricaré; colinas pouco dissecadas, com baixa densidade de drenagem; tabuleiros suavemente dissecados, de topos planos e alongados, relacionados à Formação Barreiras; e pontões cristalinos, caracterizados por elevada variação altimétrica e declividades acentuadas, como a Pedra do Elefante e a Pedra da Fortaleza.

Segundo INCAPER (2012), o clima na região de Nova Venécia apresenta duas zonas climáticas. As zonas climáticas naturais de terras quentes acidentadas e secas ocorrem em cerca de 88,7% de toda área do município, enquanto as zonas de terras quentes, planas e secas ocorre em 11,3%, destacando períodos chuvosos nos meses de novembro a janeiro. A precipitação média anual no município estudado foi de 1.001,1 milímetros, nos anos entre 2008 a 2023. Ademais, é possível notar a variação drástica entre anos com baixa precipitação e anos com elevadas precipitações, intensificados pelo aquecimento global e desmatamento no norte/noroeste do Estado (ANA, 2013).

A região estudada está inserida na Folha Nova Venécia (SE.24-Y-A-VI). No que se refere ao contexto geológico, a área estudada compreende o setor oriental do Orógeno Araçuaí, no limite leste do Cráton São Francisco, entre os paralelos 15° e 21° S (Pedrosa Soares *et al.* 2001).

O embasamento e as unidades litoestratigráficas da área de estudo, assim como de toda a folha Nova Venécia, estão relacionados à formação do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, compreendendo 4 unidades litoestratigráficas distintas conforme observado na figura 3. Contudo, os aterros apresentam embasamento dado por apenas uma unidade, o Grupo Barreiras (Figura 3). Este Grupo corresponde a uma cobertura sedimentar sub-horizontal cenozóica, constituída predominantemente por arenitos conglomeráticos, com quartzos angulosos e clastos subangulosos a subarredondados, de granulometria entre areia fina e grânulo, em matriz argilo-siltosa. Nos níveis superiores, ocorrem blocos de cangas lateríticas ferruginosas dispersos no solo arenoargiloso (Queiroga et al., 2012).

Na área estudada, os solos são classificados, por Cunha et al. (2016), como Latossolos Amarelos. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2021), Latossolos Amarelos são solos desenvolvidos a partir de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares que compõe o Grupo Barreiras, apresentando comumente textura argilosa ou muito argilosa, e a cor característica amarela de forma uniforme em profundidade. Ademais, apresentam considerável capacidade de retenção de umidade e boa permeabilidade.

CONTEXTO HISTÓRICO-AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

A formação de Nova Venécia, no noroeste do Espírito Santo, está relacionada ao processo de ocupação territorial iniciado no século XIX. A região, inicialmente habitada pelos índios Aimorés, passou a ser colonizada a partir de 1870, com a chegada do Major Antônio Rodrigues da Cunha, seguida pela migração de cearenses em decorrência da seca de 1880 e, posteriormente, de imigrantes italianos, que contribuíram para a consolidação do núcleo urbano (Piva, 2009).

Com a intensificação da urbanização ao longo do século XX, aumentou também a geração de resíduos sólidos. Na década de 1990, o antigo lixão municipal, localizado às margens do rio Cricaré, representava um problema ambiental, sendo transferido, em 1991, para uma área de aproximadamente 148.410 m², onde atualmente se encontra o bairro Padre Gianni (Piva, 2011).

Após cerca de oito anos de funcionamento, o local deixou de receber resíduos em 1997, em razão do crescimento populacional e da necessidade de expansão urbana. A área foi então destinada à construção de moradias para famílias de baixa renda, dando origem ao bairro Padre Gianni Bartesaghi. A disposição de resíduos foi transferida para as margens da ES-220, no sentido Nova Venécia–Vila Pavão (Nova Venécia, 1997; Piva, 2011).

O aterro controlado posteriormente utilizado pelo município apresentou condições inadequadas de funcionamento, conforme estudos de IQR, com deficiências relacionadas à impermeabilização do solo, drenagem de águas pluviais, tratamento de gases e chorume, monitoramento ambiental e geotécnico, além da presença de vetores, emissão de odores e proximidade de corpos d'água (Canal, 2023).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para melhor compreensão da metodologia empregada, as atividades desenvolvidas nesta pesquisa foram organizadas em três etapas principais: pré-campo, campo e pós-campo.

A etapa pré-campo compreendeu inicialmente a revisão bibliográfica, que consiste em uma etapa essencial na elaboração de trabalhos de pesquisa, permitindo a compreensão atual do conhecimento sobre o tema, bem como proporcionando embasamento teórico para a investigação, através da junção de análises, discussões, teorias, conceitos e pesquisas científicas.

Além do mais, a confecção de mapas foi realizada através do software QGIS, versão 3.26.2. A base de dados foi adquirida por meio de diversas fontes, como: IBGE, INPE, INCAPER, ANA. Tais mapas foram utilizados para a caracterização fisiográfica da área, fundamentais durante toda a pesquisa.

A etapa de campo inicia com o reconhecimento da área de estudo visando fornecer uma compreensão detalhada das condições locais. Durante o reconhecimento, foram coletados pontos pelo aplicativo de GPS Essentials, onde também foi realizada a coleta de amostras de solo representativas. Esta etapa de campo constitui a coleta de amostras, que foi realizada em pontos estratégicos previamente definidos durante a etapa de reconhecimento da área de estudo e por fotointerpretação de mapas, com base nas características geomorfológicas e ambientais observadas.

As amostras de solo foram coletadas conforme as diretrizes da Embrapa (2006; 2017) e normas ABNT NBR 6457:1986 e NBR 7181:2016, utilizando equipamentos adequados. Foram obtidas amostras deformadas de 1,5 a 2 kg, garantindo quantidade suficiente para as análises laboratoriais previstas. Em cada ponto de amostragem foram coletadas amostras de solo em 2 profundidades distintas: inicialmente na camada superficial de 0 a 20 cm e em seguida na camada subsuperficial de 20 a 40 cm, conforme evidenciado na tabela abaixo.

Após o campo, foi realizada a caracterização textural do solo dividida em três etapas, onde inicialmente foram realizadas a secagem, destorroamento e peneiramento do solo, no Laboratório de Mecânica dos Solos do Instituto Federal campus Nova Venécia. Em seguida, foram realizadas análises mineralógicas em lupa estereoscópica (Embrapa, 1997) no Laboratório de Paleontologia.

Por fim, foi realizada no Laboratório de Química, a avaliação de parâmetros físico-químicos como: pH, condutividade elétrica e Eh, seguindo orientação do Manual de Métodos de Análises de Solo (EMBRAPA, 2017), utilizando equipamento de medição multiparâmetro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Áreas de aterro são suscetíveis a diversas fragilidades ambientais que podem comprometer a estabilidade e o equilíbrio do meio. Entre os principais fatores, destacam-se o clima, a localização, a topografia, o uso e ocupação do solo, a presença de drenagens e as características físico-químicas da área.

Segundo a ABNT NBR 13896 (1997), a instalação de aterros de resíduos não perigosos deve considerar critérios que minimizem os impactos ambientais, como declividade entre 1% e 30%, coeficiente de permeabilidade do solo inferior a 10^{-6} cm/s, zona não saturada superior a 3 m, distância mínima de 200 m de corpos hídricos e de 500 m de núcleos populacionais.

Dentre esses fatores, o clima exerce influência significativa na geração e dispersão de contaminantes. Para Alao (2024), os padrões de precipitação e as condições climáticas podem favorecer processos de contaminação ambiental. Em Nova Venécia, a maior incidência de chuvas ocorre entre outubro e março (Figura 1), período que pode favorecer a geração de lixiviados e o transporte de contaminantes dissolvidos e em suspensão. A infiltração das águas pluviais também pode intensificar a interação com materiais orgânicos, contribuindo para a formação da pluma de contaminação. Em períodos de seca, por outro lado, podem ocorrer alterações na diluição e dispersão desses contaminantes.

A topografia e a geomorfologia do aterro influenciam diretamente na degradação ambiental. Em áreas de encostas mais íngremes podem acelerar o escoamento superficial, diminuindo a infiltração, além de fazer com que os lixiviados se dispersem por uma área com maior escoamento superficial.

A área de estudo localizada no Bairro Padre Giane, inserido na área urbana do município de Nova Venécia, compreende regiões aplainadas, acima do vale fluvial do Rio Cricaré. Apresenta baixa variação altimétrica, em torno de 10 m, com cota máxima próxima a 155 m, em quase toda a área, e cota mínima próxima a 145 m, na porção sudoeste da área de estudo (Figura 2).

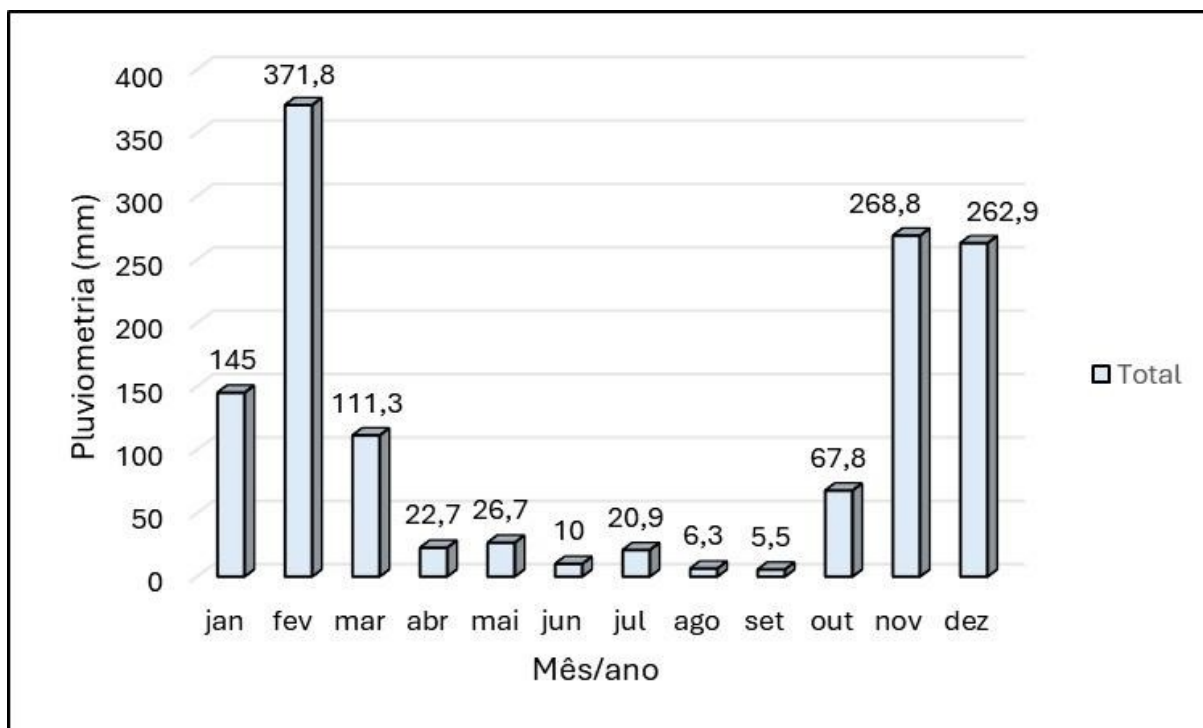


Figura 1. Dados Pluviométricos do município de Nova Venécia do ano de 2022. (Dados Hidroweb - ANA e informações da estação Cedrolândia-1840010).

Destaca-se também na área de aterro inativo do bairro Padre Gianni altitudes variadas, referentes a áreas de encostas de vales fluviais, destacando a proximidade do local com o Córrego Capitão, intensificando assim a sua fragilidade ambiental, onde apresenta contaminação por efluentes urbanos. O aterro controlado localizado em Nova Venécia encontra-se na zona rural do município, possui uma baixa variação altimétrica, em torno de 15 m, com altitude máxima de 180 m, e mínima de 165 m, conforme apresentado no mapa hipsométrico da área de estudo (Figura 3).

A cerca de 150 m do aterro controlado, na porção superior do mapa, encontra-se uma drenagem, cuja nascente é denominada córrego Cachoeirinha. Esse córrego alimenta o córrego Frigério, que é um afluente importante do rio Santa Joana (Canal, 2023).

Segundo Canal (2023), águas superficiais referentes ao Aterro Controlado apresentam indicações de contaminação microbiológica. Destaca-se a proximidade do aterro com áreas de drenagens, com distância mínima de 140 m. Canal (2023), ainda em seu trabalho, classificou o Índice de Qualidade de Resíduos em 5,15, apresentando condições inadequadas de funcionamento.

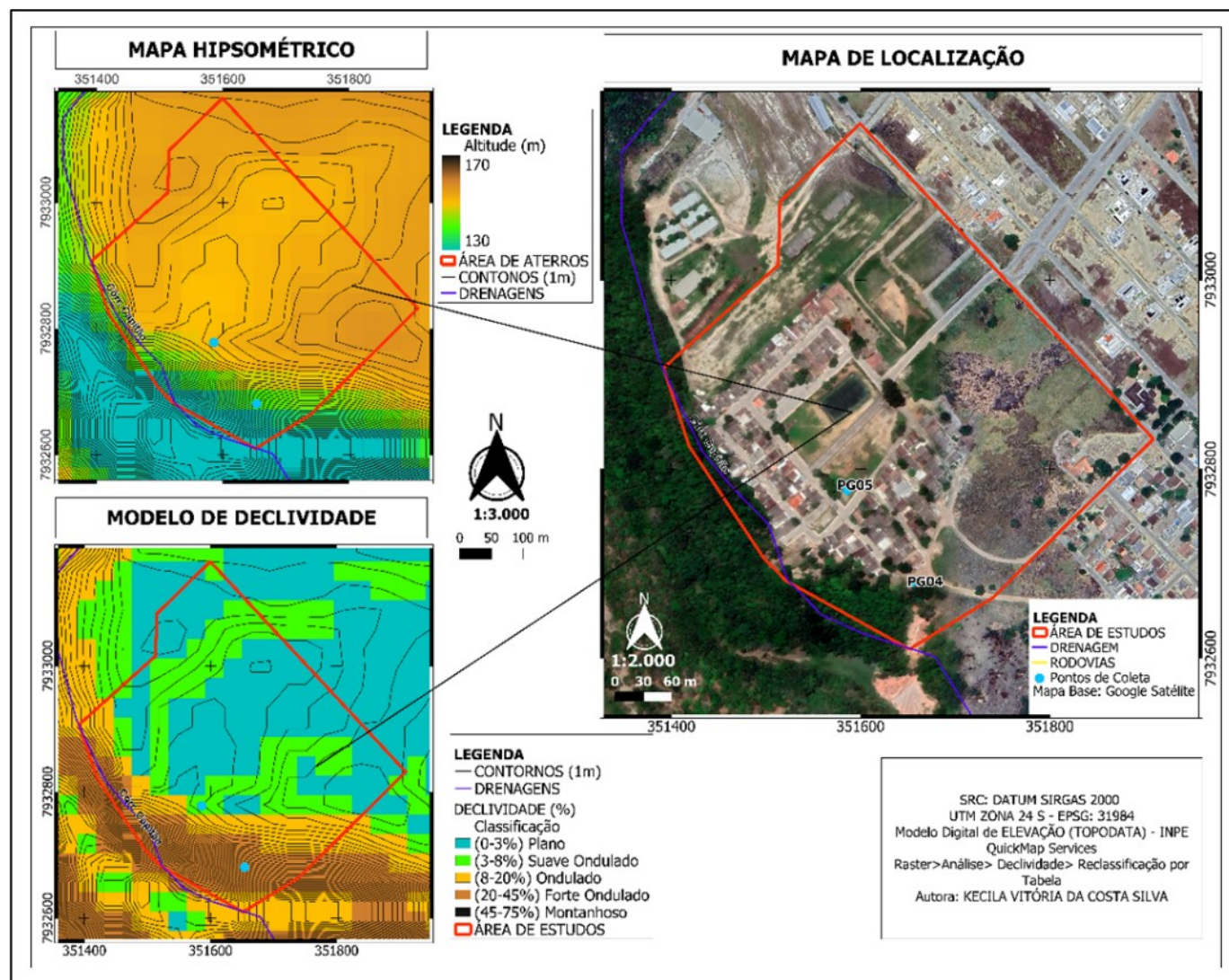


Figura 2. Dados topográficos do Bairro Padre Gianni– Nova Venécia.

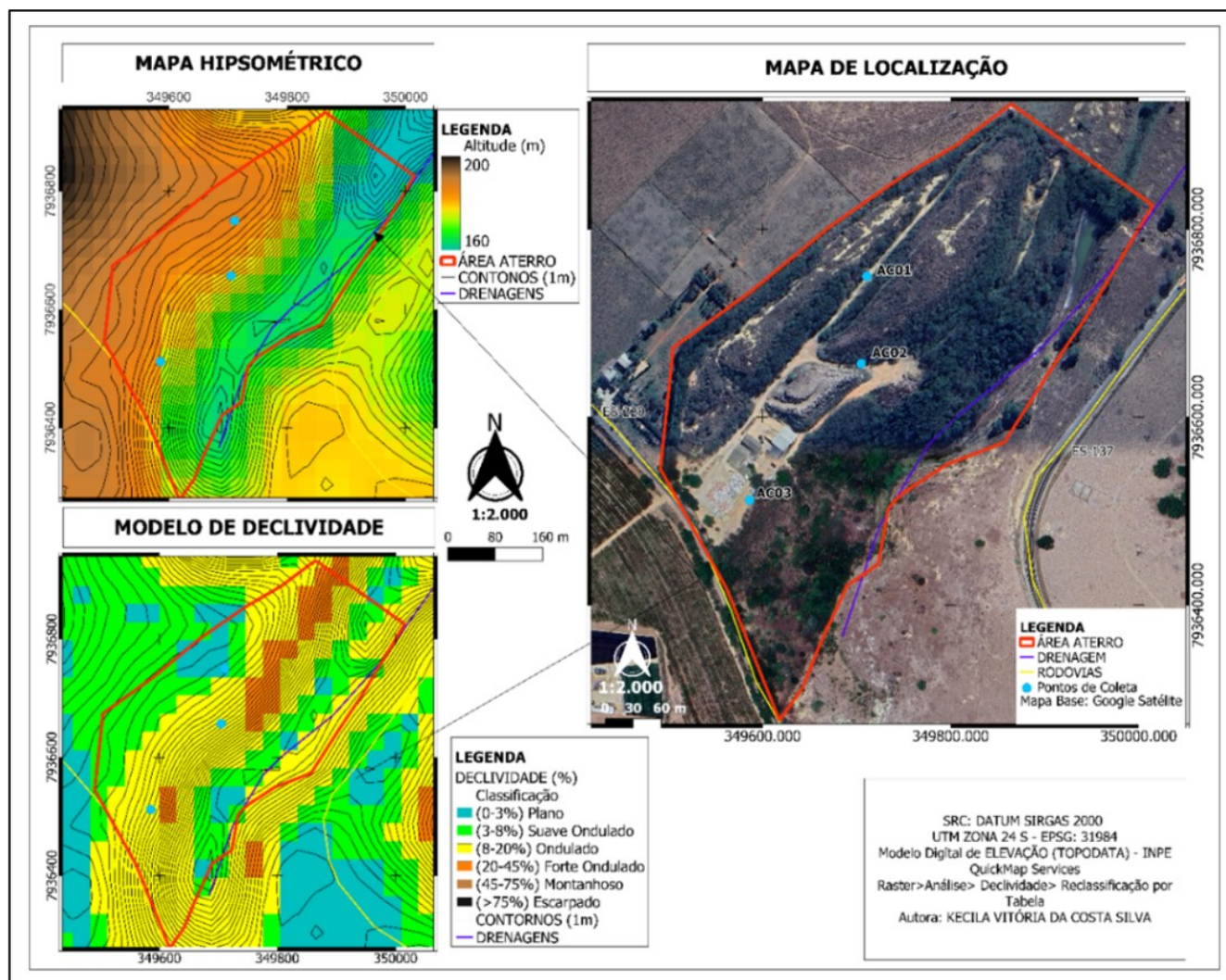


Figura 3. Dados topográficos do Aterro Controlado – Nova Venécia.

Segundo dados do Censo 2010, o bairro Padre Gianni está inserido no setor censitário nº 320390805000079, que abrange aproximadamente 0,63 km², com 560 moradores distribuídos em 228 domicílios, incluindo parte do bairro Aeroporto (IBGE, 2022).

Considerando o salário mínimo de R\$ 510,00 vigente em 2010 (Lei nº 12.255/2010), observa-se um perfil socioeconômico predominantemente de baixa renda: cerca de 175 pessoas, correspondentes a mais de 40% da população, viviam com até um salário mínimo per capita mensal, enquanto aproximadamente 10% declararam não possuir renda nominal mensal. A composição socioeconômica está relacionada à própria história do bairro, cuja área foi destinada à construção de moradias populares após o encerramento de um antigo aterro sanitário, situação que suscita preocupações quanto à infraestrutura, saúde pública e qualidade de vida da população.

Nesse contexto, destaca-se também a questão da justiça ambiental e do racismo ambiental, entendido no âmbito das discussões da Fiocruz como parte de processos nos quais populações frequentemente vulnerabilizadas e discriminadas são expostas de forma desigual a riscos e impactos ambientais, tendo seus direitos e condições de vida afetados (Fiocruz, 2010).

Além das questões socioeconômicas, a localização do bairro sobre uma área anteriormente utilizada como lixão representa uma preocupação ambiental. Segundo Brady & Weil (2016), a decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos gera metano, podendo ocasionar riscos de explosão, especialmente em solos permeáveis, que favorecem a migração do gás para áreas adjacentes. Dessa forma, a ocupação residencial do antigo lixão torna o Bairro Padre Gianni potencialmente vulnerável à emissão e migração de gases provenientes da decomposição dos resíduos depositados no local.

Para Alao (2024), a matéria orgânica misturada a substâncias tóxicas pode afetar a qualidade do solo ao redor do aterro, assim afetando a fauna, alterando permanentemente a vegetação local e a fertilidade do solo. Assim a composição geológica e pedológica também são fatores que influenciam na degradação ambiental em áreas de depósitos finais de resíduos. A permeabilidade e porosidade dos materiais geológicos desempenham um papel importante no controle da movimentação de contaminantes em superfície e subsuperfície. O material geológico atua como vias de fluxos preferenciais dos lixiviados e da pluma de contaminação, através de fraturas que facilitam ou dificultam o transporte do contaminante (Alao, 2024).

Observa-se na Figura 4 a predominância de latossolos coesos amarelos em ambas as áreas de estudos. No aterro controlado, há predominância de Latossolo Amarelo Distrocoeso Típico + ARGILOSSOLO AMARELO Distrocoeso (LAdx3), enquanto no Aterro inativo no

bairro Padre Gianni há predomínio de Latossolo Amarelo Distrópico (LAdx1) na porção mais a NE e Latossolo Amarelo Distrocoeso típico + ARGILOSSOLO VERMELHO Eutrófico + ARGILOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (LAdx7) na porção SW do aterro.

Os Latossolos Amarelos Distrocoesos têm baixa fertilidade e elevado adensamento, enquanto os Argissolos possuem horizonte B textural, baixa fertilidade natural, acidez elevada e maior suscetibilidade à erosão e ao escoamento superficial em razão da diferença textural entre os horizontes (EMBRAPA, 2021; Gomes, 2001).

As amostras de solo do aterro controlado (Figura 5) apresentaram predominância de grãos de quartzo, além de possíveis granadas, minerais magnéticos, como magnetita, e grãos de laterita, indicando intenso intemperismo e influência de materiais ricos em ferro e alumínio. No bairro Padre Gianni, foram observadas características mineralógicas semelhantes, associadas à presença de materiais antrópicos, como plásticos, madeira, matéria orgânica e resíduos da construção civil. A ocorrência de minerais magnéticos e fragmentos de materiais ferromagnéticos pode estar relacionada à antiga disposição de resíduos urbanos mistos. O peneiramento das amostras também evidenciou fragmentos de tijolos, concreto, cerâmica e plástico, reforçando a influência antrópica nos solos da área.

Os ensaios de pH indicaram média de 6,8 nas áreas estudadas, caracterizando solos próximos à neutralidade. A área do aterro controlado apresentou elevada presença de matéria orgânica, cuja decomposição pode favorecer a formação de chorume e lixiviados com potencial de contaminação (Iwai, 2012). O pH exerce influência na disponibilidade de nutrientes e na mobilização e solubilização de metais no solo (EMBRAPA, 2021).

Considerando a idade das áreas de disposição de resíduos do Padre Gianni e do aterro controlado, há possibilidade de ocorrência de lixiviados maduros e de sua infiltração no solo (França, 2007). Por outro lado, a presença de resíduos da construção civil, como concreto, lajotas e cerâmica, pode contribuir para a neutralização da acidez devido aos materiais alcalinos presentes nesses resíduos (Lasso et al., 2013). Assim, os valores de pH próximos à neutralidade, superiores aos normalmente observados em Latossolos da região (pH 4,0–5,5), podem indicar alterações físico-químicas associadas à influência antrópica (EMBRAPA, 2021).

A condutividade elétrica média dos solos foi de 64,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, situando-se dentro dos valores esperados para solos areno-argilosos e indicando baixa concentração de sais solúveis e ausência de indícios significativos de alteração do solo. Os valores também estão abaixo do limite de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ estabelecido pela EMBRAPA (2006) para solos agrícolas e são compatíveis com faixas observadas em Latossolos não impactados (Rowe, 2007).

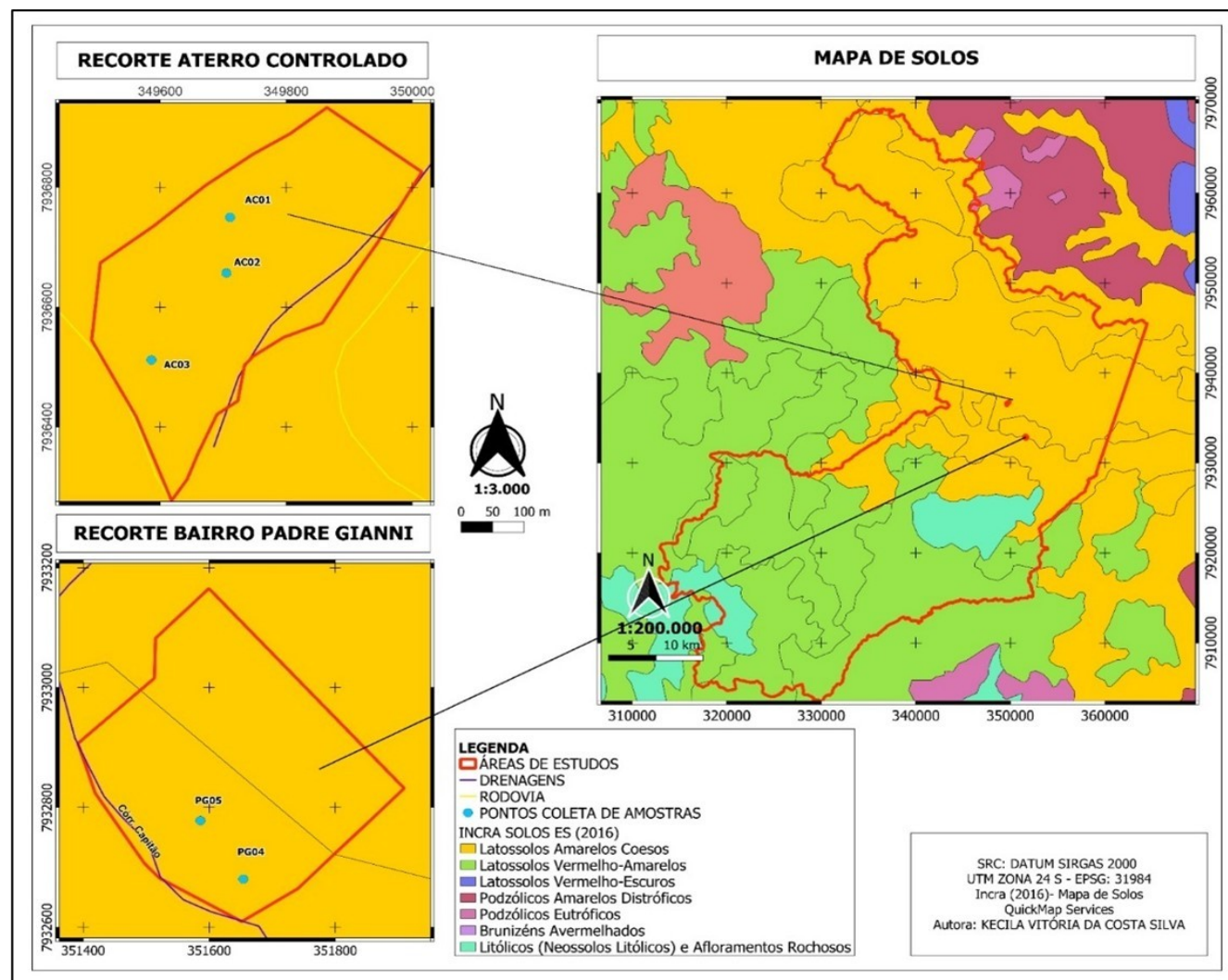


Figura 4. Dados de solos da área de estudo.

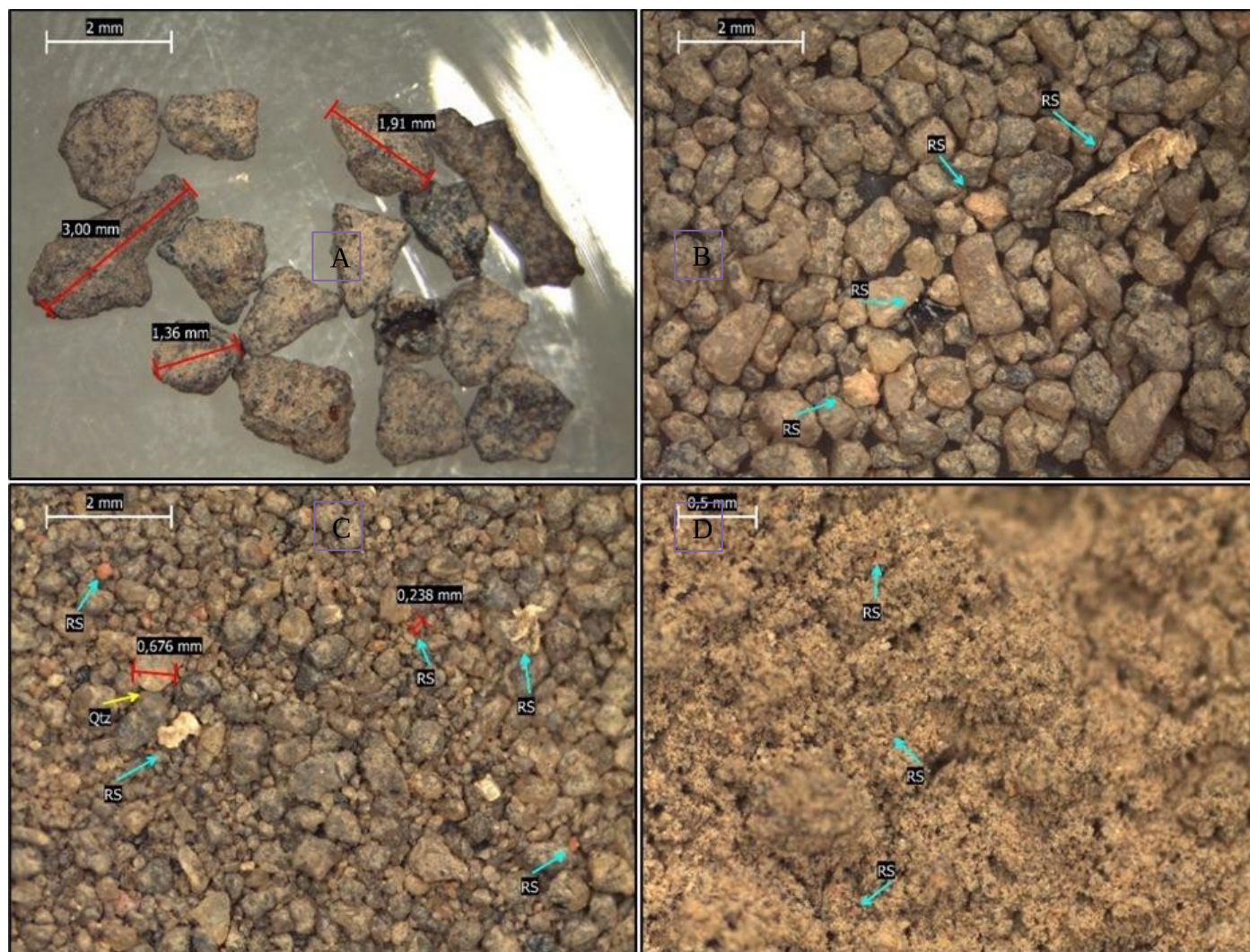


Figura 5. A) Minerais magnéticos segregados com auxílio de ímã magnético; B); C) e D) Identificação de variados tipos de resíduos sólidos (RS) em variadas frações granulométricas. Legenda: Qtz: Quartzo; Grt: Granada; Mag: Magnetita; M.O: Matéria orgânica; RS: Resíduos sólidos.

No último ponto do Bairro Padre Gianni, observou-se aumento da condutividade elétrica com a profundidade, enquanto no primeiro ponto do Aterro Controlado ocorreu comportamento inverso, com redução dos valores em profundidade.

Os valores de potencial de oxidação-redução (Eh) (Figura 6) apresentaram média de 187 mV, indicando condições moderadamente redutoras, com pequenas variações em profundidade. Observou-se tendência de redução do Eh com o aumento da idade das áreas: o Aterro Controlado, mais recente, apresentou valores mais elevados, associados a condições relativamente mais oxidantes, enquanto o Bairro Padre Gianni, mais antigo, apresentou valores menores, indicando ambiente mais redutor.

O potencial redox está relacionado à disponibilidade de elétrons no solo e é influenciado principalmente pela presença de oxigênio, umidade, atividade microbiana, condutividade elétrica e matéria orgânica. Valores de Eh inferiores a +350 mV podem estar associados à degradação do solo ou ao acúmulo de matéria orgânica facilmente degradável (Mattila, 2024; Tano et al., 2020).

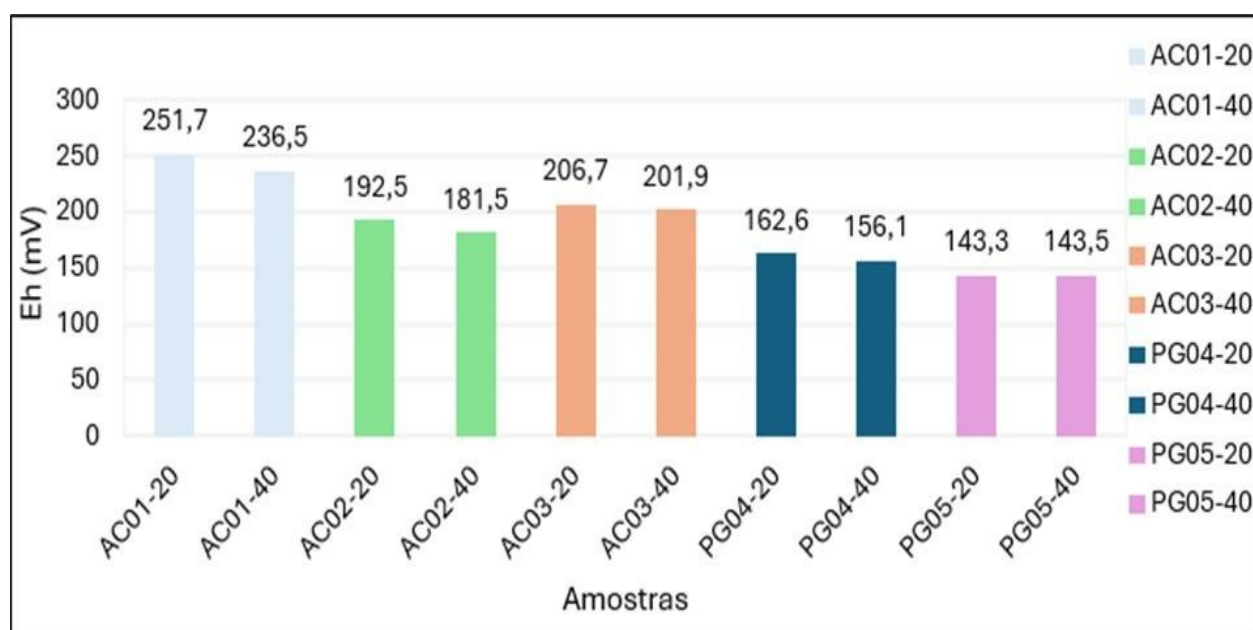


Figura 6. Potencial redox das amostras analisadas.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo diagnosticar a fragilidade ambiental de áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos no município de Nova Venécia – ES, a partir da

análise integrada de propriedades físico-químicas, geológicas, geotécnicas e socioambientais de dois locais: o Aterro Controlado e o bairro Padre Gianni, área anteriormente utilizada como aterro sanitário e posteriormente convertida em zona residencial.

Os dois locais são constituídos por Latossolos, típicos da região, com características que influenciam o escoamento superficial, a infiltração e a mobilidade de solutos no perfil do solo. Foram realizadas amostragens em diferentes profundidades, permitindo avaliar verticalmente os processos físicos e químicos presentes nas áreas.

As análises laboratoriais contemplaram pH, potencial redox (Eh), condutividade elétrica, granulometria por via seca e observações mineralógicas com lupa binocular, complementadas por fotointerpretação de mapas temáticos. Os resultados evidenciaram diferenças entre os locais, apesar das condições fisiográficas semelhantes. O Aterro Controlado apresentou maiores valores de Eh e menores de condutividade elétrica, indicando condições mais oxidantes. Já o bairro Padre Gianni apresentou menores valores de Eh e maior condutividade elétrica em profundidade, sugerindo condições mais redutoras e possível acúmulo de solutos associado à antiga disposição de resíduos.

A análise mineralógica identificou quartzo, granadas, lateritas e minerais opacos, além de fragmentos de plástico, madeira, raízes, matéria orgânica e resíduos da construção civil, principalmente no Padre Gianni, evidenciando a persistência da influência antrópica e da degradação de resíduos no solo.

A transformação de um antigo aterro sanitário em área habitacional para famílias de baixa renda, como no bairro Padre Gianni, embora relacionada a políticas de reassentamento e inclusão social, também pode configurar uma situação de racismo ambiental quando populações socialmente vulneráveis são expostas de forma desproporcional a riscos e passivos ambientais. Essa condição levanta preocupações quanto à infraestrutura, saúde pública e qualidade de vida, especialmente diante da possível presença de contaminantes no solo e nas águas subterrâneas.

Dessa forma, conclui-se que ambas as áreas apresentam graus distintos de fragilidade ambiental, sendo a situação mais crítica no bairro Padre Gianni, em razão do histórico de disposição de resíduos e posterior urbanização.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1997). NBR 13896:1997 — Aterros de resíduos não perigosos — Critérios para projeto, implantação e operação. ABNT.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2024). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2023*. (<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2023.pdf>).

Agência Estadual de Recursos Hídricos – AGERH. [...]. *CBH São Mateus*. (<https://agerh.es.gov.br/cbh-sao-mateus>).

Alao, J. O. (2024). The Factors Influencing the Landfill Leachate Plume Contaminants in Soils, Surface and Groundwater and Associated Health Risks: A Geophysical and Geochemical View. *Public Health and Environment*, 1(1), [...].

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2013). [...]. (<https://metadados.snirh.gov.br>).

Brady, N. C. & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils*. (15th ed.) Harlow: Pearson Education, 2016.

BRASIL. (1981). *Decreto-Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. (http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm).

Canal, D. C. (2023). *Diagnóstico da degradação ambiental na área do aterro controlado de Nova Venécia-ES*. [Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Nova Venécia]. (<https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/3297>).

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2006). *Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola*. EMBRAPA.

_____. (2021). *Correção da acidez do solo*. EMBRAPA Arroz e Feijão (<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-tropical/correcao-do-solo-e-adubacao/correcao-da-acidez-do-solo>).

França, M. L. S., et al. (2007). *Estudo dos impactos ambientais gerados pelo chorume do aterro controlado em Morretes-PR*. [...], [...], [...].

G, F. S. (2001). *Estudo da erodibilidade e parâmetros geotécnicos de um solo em processo erosivo*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco].

Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ. [...]. *Breves considerações conceituais e metodológicas sobre o Mapa de Conflitos envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil: Mapa de Conflitos Envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil*, [...], [...]. (<https://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/breves-consideracoes-conceituais-e-metodologicas-sobre-o-mapa-de-conflitos-e-injustica-ambiental-em-saude-no-brasil/>).

Gonçalves, G., et al. (2019). *Transição Dos Lixões Para Aterros Sanitários e Seu Potencial Impacto Nas Mudanças Climáticas*. ASSEMAE.

Gunther, W. M. R. (1998). *Contaminação ambiental por disposição inadequada de resíduos industriais contendo metais pesados: estudo de caso*. [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo].

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2022). *Censo 2022*. (<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html?localidade=BR>).

Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN. (2012). *Mapeamento geomorfológico do estado do Espírito Santo*. IJSN.

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER. *Clima dos Municípios*. (<https://meteorologia.incaper.es.gov.br/clima-dos-municipios>)

Iwai, C. K. (2012). *Avaliação da qualidade das águas subterrâneas e do solo em áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte: aterro sanitário em valas*. [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo].

Jacobi, P. R., & Besen, G. R. (2011). Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estudos avançados*, 25[...], 135-158.

Kreling, M. T. (2006). *Aterro Sanitário da Extrema e resíduos sólidos urbanos domiciliares: percepção dos moradores – Porto Alegre – RS*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul].

Lacerda, A., et al. (2023). *Carta geomorfológica: município de Nova Venécia-ES*.

Lasso, P. R. O., Vaz, C. M. P., Bernardi, A. C. D. C., Oliveira, C. R. D., & Bacchi, O. O. S. (2013). Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37[...], 1659-1668,

Lima, A. N. (2015). *Análise do monitoramento da contaminação ambiental do solo do aterro de resíduos sólidos urbanos encerrado de Seropédica*. [Tese de Doutorado].

Lima, L., A. (2019). Os resíduos sólidos e seus efeitos negativos. *Revista de Pesquisa Interdisciplinar*, 3(1), [...].

Mattila, T. J. (2024). Redox potential as a soil health indicator–how does it compare to microbial activity and soil structure? *Plant and Soil*, 494(1), 617-625.

Meneguzzo, I. S. (2006). *Análise da degradação ambiental na área urbana da bacia do Arroio Gertrudes, Ponta Grossa, PR.: uma contribuição ao planejamento ambiental*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná].

Prefeitura Municipal de Nova Venécia – PMNV. (1997). *Lei nº 2.204, de 11 de julho de 1997. Altera a destinação de área do aterro sanitário para a construção de unidades habitacionais*. (<https://novavenecia.camarasempapel.com.br/legislacao/norma.aspx?id=220&numero=2204&ano=1997&interno=0>).

Pedrosa-Soares, A. C., et al. (2001). The Araçuaí West Congo Orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Research*, 110(1-4), 307-323.

Piva, R. F. (2009). *Da Colonização À Emancipação (1870-1953): Uma Breve História De Nova Venécia*. (<http://projetopipnuk.blogspot.com/2009/05/da-colonizacao-emancipacao-1870-1953.html>).

_____. (2011). *As origens do bairro Padre Gianni*. (<http://projetopipnuk.blogspot.com/2011/04/as-origens-do-bairro-padre-gianni.html>).

Queiroga, G. N., et al. (2012). *Mapa geológico e nota explicativa da Folha Nova Venécia, 1:100.000*. CPRM–UFMG.

Rowe Junior, E., et al. (2007). Diagnóstico ambiental da área do aterro sanitário do Município de Cascavel.

Sánchez, L. E. (2013). *Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos*. (2nd ed.). Oficina de Textos.

Tano, B. F., et al. (2020). Spatial and temporal variability of soil redox potential, pH and electrical conductivity across a toposequence in the Savanna of West Africa. *Agronomy*, 10(11), 1787.

Veríssimo, L. F. (2002). *O analista de Bagé*. Objetiva. 2002.

**APLICAÇÃO DO MÉTODO GEOFÍSICO DE
ELETORRESISTIVIDADE PARA PROSPECÇÃO DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DE ECOPORANGA, ESPÍRITO SANTO**

APPLICATION OF THE ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD FOR GROUNDWATER
EXPLORATION IN THE ECOPORANGA REGION, ESPÍRITO SANTO, BRAZIL

Maria Carolina Ferreira; Daniel Miranda

Maria Carolina da Cruz Ferreira
Bacharela em Geologia
ferreiramariacarolina@outlook.com.br

Daniel Andrade Miranda
Doutor em Geologia
Professor do Instituto Federal do Espírito Santo
daniel.miranda@ifes.edu.com.br

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo aplicar o método geoeletrico da eletrorresistividade, por meio da técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) desenvolvida a partir do arranjo Schlumberger, para identificar zonas potencialmente saturadas e estimar a profundidade do nível freático na região rural do município de Ecoporanga, noroeste do estado do Espírito Santo. O estudo foi desenvolvido em propriedade privada, onde foram realizadas oito SEV's distribuídas em três conjuntos de perfis geoeletricos. As medições em campo foram processadas no software IPI2win®, o que permitiu a obtenção de modelos geoeletricos interpretativos e pseudo-seções de resistividade. Os resultados obtidos confirmam a eficácia do método da eletrorresistividade como ferramenta para caracterização dos materiais saturados em subsuperfície, em que foi possível determinar a profundidade média da zona saturada entre 1,43 e 4,01 metros, com espessura média de 21 a 34 metros através do contraste da resistividade entre os materiais saturados e não saturados.

Palavras-chave. geofísica; eletrorresistividade; água subterrânea.

ABSTRACT

The present study aimed to apply the geoelectrical resistivity method, using the Vertical Electrical Sounding (VES) technique with the Schlumberger array configuration, to identify potentially saturated zones and estimate the depth to the water table in the rural area of the city of Ecoporanga, northwestern Espírito Santo State, Brazil. The study was conducted on private property, where eight VES surveys were carried out and distributed among three sets of geoelectrical profiles. The field measurements were processed using the IPI2win® software, allowing the generation of interpretative geoelectrical models and resistivity pseudo-sections. The results confirm the effectiveness of the electrical resistivity method as a tool for characterizing saturated subsurface materials. The depth of the saturated zone was estimated to range from 1.43 and 4.01 meters, with an average thickness ranging 21 to 34 meters, based on the resistivity contrast between saturated and unsaturated materials.

Keywords. geophysics; electrical resistivity; groundwater.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água subterrânea é de suma importância para o desenvolvimento social, econômico e manutenção do equilíbrio ambiental, sendo responsável por cerca de 97% das reservas de água doce líquida do planeta (Hirata et al., 2019). No Brasil, estima-se que mais de 2,5 milhões de poços tubulares estejam em operação, retirando anualmente um volume equivalente ao consumo hídrico total da população brasileira (FUNDAJ, 2020). No Espírito Santo, porém, a crescente escassez hídrica tem exigido medidas emergenciais como o estado de Alerta declarado na resolução da Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) Nº 003, de 07 de dezembro de 2023 (AGERH, 2023). O que evidencia a necessidade de estudos sobre a disponibilidade de águas destinadas ao abastecimento humano.

Nesse contexto, o município de Ecoporanga, localizado no noroeste do estado do Espírito Santo, destaca-se como área em potencial para investigação hidrogeológica. Classificado como região de seca moderada no ano de 2024 (A GAZETA, 2024), o município apresenta desafios quanto ao abastecimento, especialmente em zonas rurais, onde a dependência de poços tubulares é significativa e os dados sobre aquíferos são escassos (AGERH, 2023).

Assim, métodos geofísicos vêm sendo amplamente utilizados para investigar o comportamento da água no subsolo e a eletrorresistividade destaca-se como técnica eficiente e não invasiva para mapear a profundidade e a variação do nível freático (Reynolds, 2011), através da injeção de corrente elétrica no solo e na medição das propriedades eletromagnéticas dos materiais (Braga, 2016).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a disponibilidade de água subterrânea na região rural do município de Ecoporanga/ES por meio da aplicação do método geofísico da eletrorresistividade, visando contribuir para o entendimento da dinâmica dos aquíferos locais e subsidiar o uso dos recursos hídricos. A partir da aplicação do método, será possível identificar zonas potenciais para captação de água, auxiliando no planejamento do seu uso, especialmente em áreas rurais onde a dependência de poços é significativa.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

GEOLOGIA REGIONAL

O município de Ecoporanga (ES), situa-se na zona de retroarco do Orógeno Araçuaí, uma faixa orogênica Neoproterozoica a Cambriana que se estende do Cráton São Francisco até o litoral do Atlântico Sul (Castañeda et al., 2006; Pedrosa-Soares et al., 2020). Este orógeno integra o setor setentrional da Província Mantiqueira (Heilbron et al., 2004).

O Orógeno Araçuaí passou por uma evolução tectono-magmática que pode ser dividida em quatro estágios principais: pré-colisional, sin-colisional, tardi-colisional e pós-colisional. Cada fase está marcada por processos específicos, associados a diferentes supersuítas magmáticas (Castañeda et al., 2006; Pedrosa-Soares et al., 2020).

A área de estudo está localizada na região de ocorrência da unidade Carlos Chagas, delimitado no Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo integrando a Folha Ecoporanga (SE.24-Y-A-III), em escala 1:100.000 (Vieira et al., 2018). A Unidade Carlos Chagas, associada à Supersuíte sin-colisional G2, corresponde a um corpo granítico expressivo do Orógeno Araçuaí, caracterizado por rochas leucocráticas do tipo S. Essa unidade é composta predominantemente por granitos de coloração clara, ricos em granada e biotita (Castañeda et al., 2006).

No contexto cartográfico, especialmente no Mapa Geológico da Folha Ecoporanga (escala 1:100.000), a Suíte Carlos Chagas é subdividida em duas subunidades distintas com base no grau de deformação registrado nas rochas. A porção mais representativa em área, correspondente às rochas de granitos deformados, é identificada pela sigla NP3γ2cc, onde se encontra a área de estudo. Já as ocorrências em que a textura ígnea permanece relativamente bem preservada, embora menos extensas, são designadas como NP3γ2cci, relacionada a subunidade indeformada (Castañeda et al., 2006).

As rochas da unidade Carlos Chagas apresentam tonalidade branco-acinzentada quando frescas. No entanto, o intemperismo altera significativamente sua coloração, promovendo tons que variam do amarelado ao amarelo intenso. Os perfis de alteração também resultam em solos e saprólitos com colorações que vão do rosa-amarelado ao vermelho-rosado, com manchas localizadas de coloração vermelho-escuro (Castañeda et al., 2006).

Quanto aos solos da região, este é definido como Latossolo Amarelo Distrófico típico (Cunha et al., 2016). Estes solos são formados predominantemente a partir de materiais

argilosos ou areno-argilosos, derivados das formações Barreiras e Alter do Chão. Além disso, caracterizam-se pela coloração amarela e homogeneidade em profundidade, com textura argilosa ou muito argilosa e elevada coesão, o que confere comportamento típico de solos coesos (EMBRAPA, 2023).

GEOFÍSICA APLICADA A HIDROGEOLOGIA

No contexto de pesquisas hidrogeológicas, a geofísica se apresenta como uma ferramenta essencial para investigação indireta do subsolo. Por meio de técnicas geofísicas, é possível identificar áreas com maior potencial para a ocorrência de águas subterrâneas, além de contribuir para a análise da estrutura geológica e da disposição das camadas estratigráficas em subsuperfície. Outra vantagem significativa é o custo reduzido em comparação a outros métodos de prospecção, tornando-a uma alternativa mais viável e eficiente para estudos hidrogeológicos (Feitosa et al., 2008).

Dentre os diversos métodos utilizados na prospecção geofísica voltada ao estudo das estruturas em subsuperfície, há maior destaque para os métodos geoeletricos. Esses métodos se baseiam na análise de campos elétricos e eletromagnéticos, explorando as diferentes respostas que os materiais geológicos oferecem a esses campos (Braga, 2001).

As rochas, conforme sua composição mineralógica, textura e arranjo estrutural, apresentam propriedades elétricas específicas, como resistividade, constante dielétrica e permeabilidade magnética. Dessa forma, é possível interpretar uma seção geológica como um conjunto heterogêneo, composto por materiais com distintas características elétricas, o que permite inferir sobre sua constituição e estrutura (Braga, 2001).

No âmbito das investigações hidrogeológicas, os métodos geoeletricos assumem um papel de extrema importância, sendo utilizados tanto na prospecção de áreas favoráveis à captação de águas subterrâneas quanto no monitoramento de possíveis contaminações do solo e águas subterrâneas. Dentre os métodos geoeletricos, destacam-se: a eletrorresistividade; polarização induzida; potencial espontâneo; eletromagnéticos; e radar de penetração do solo (Braga, 2016).

A utilização do método geoeletrico nos estudos hidrogeológicos também se faz necessário a escolha adequada das técnicas de investigação, que devem ser selecionadas conforme o objetivo específico da pesquisa. Entre as principais técnicas aplicadas nesse estão a sondagem elétrica, o caminhamento elétrico e a perfilagem elétrica. Cada uma delas apresenta

finalidades distintas e apresenta diferentes tipos de informações sobre as características do subsolo.

Para a investigação do nível da água subterrânea, a técnica de sondagem elétrica se destaca como uma das mais eficazes. Por meio da medição da variação da resistividade elétrica nas diferentes profundidades (SEV), essa técnica possibilita a identificação e a caracterização das camadas geológicas presentes no subsolo (Braga, 2016).

Método da Eletorresistividade

A eletorresistividade é um dos principais métodos geoeletricos utilizados na investigação do subsolo, fundamentando-se na medição da resistividade elétrica dos materiais geológicos. Essa propriedade é essencial para caracterizar os diferentes tipos de materiais, pois está diretamente relacionada à sua composição, grau de alteração, presença de fraturas e nível de saturação com fluidos (Braga, 2016).

De forma geral, a resistividade elétrica é definida como a medida da dificuldade que um material oferece à passagem de uma corrente elétrica. Matematicamente, a resistividade (ρ) é obtida pelo produto entre a resistência elétrica “R” (Ω), e a área da seção transversal “S” (m^2) dividida pelo comprimento “L” (m) do material condutor (Braga, 2016). Conforme representado na equação a seguir:

$$\rho = R \frac{S}{L} (\Omega \cdot m)$$

Em um meio tridimensional, a corrente elétrica injetada no solo se propaga de forma semiesférica a partir dos eletrodos de corrente. A injeção é feita por uma bateria conectada por cabos a dois eletrodos posicionados no terreno, conduzindo a corrente elétrica gerada (Braga, 2016).

Segundo Braga (2016), a configuração mais comum utilizada em campo envolve quatro eletrodos, dispostos conforme o arranjo AMNB. Nesse sistema, os eletrodos A e B são responsáveis pela injeção de corrente elétrica no solo, enquanto os eletrodos M e N realizam a medição da diferença de potencial gerada.

Dessa forma, considerando o arranjo geométrico dos eletrodos definido pelo coeficiente K, pode-se calcular o valor da resistividade do meio pela fórmula (Braga, 2016):

$$\rho = K \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$$

$$K = 2\pi \left(\left(\frac{1}{AM} \right) - \left(\frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} \right) + \left(\frac{1}{BN} \right) \right)^{-1}$$

Onde ρ é a resistividade; K é o coeficiente geométrico; ΔV é a diferença de potencial (medido em milivolts (mV)); e I é a intensidade da corrente (medido em miliamperes (mA)).

Braga (2016) destaca que, devido à heterogeneidade do meio geológico, o campo elétrico gerado sofre interferências que afetam diretamente os resultados das medições. Como o subsolo é composto por materiais com diferentes resistividades, a resposta obtida não reflete a resistividade real de uma única camada, mas sim uma média influenciada por todas as formações atravessadas pela corrente elétrica. Por esse motivo, adota-se o conceito de resistividade aparente (ρ_a), que representa um valor médio resultante da combinação das resistividades verdadeiras dos materiais presentes no subsolo.

Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

Na Sondagem Elétrica Vertical (SEV), os eletrodos de corrente e de potencial são dispostos de forma alinhada e simétrica em relação a um ponto central na superfície do terreno (O). As medições são realizadas a partir do aumento gradual da distância entre os eletrodos de corrente (AB), mantendo essa simetria. Esse procedimento permite investigar camadas mais profundas do subsolo, já que o aumento do espaçamento amplia o volume de solo sondado, possibilitando a identificação da variação da resistividade em profundidade (Braga, 2016).

Arranjo Schlumberger

Segundo Braga (2016), o arranjo Schlumberger, além de ser mais prático em campo, exigindo o deslocamento apenas dos eletrodos de corrente, apresenta menor sensibilidade a interferências externas. As leituras realizadas com esse método são menos afetadas por ruídos. Nesse tipo de arranjo, a distância entre os eletrodos de recepção (M e N) é mantida constante, enquanto os eletrodos de corrente (A e B) são afastados progressivamente. Com o aumento do espaçamento entre A e B, amplia-se também o volume do subsolo investigado, uma vez que a

profundidade de alcance está diretamente relacionada à distância entre esses eletrodos. Esse princípio permite atingir camadas mais profundas à medida que o arranjo se expande lateralmente, tornando o método eficiente para investigações verticais de resistividade (Braga, 2016).

A resistividade aparente e a equação do coeficiente K para o arranjo são calculados pelas respectivas equações (Braga, 2001):

$$\rho_a = K \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$$

$$K = \pi \frac{(AM \cdot AN)}{MN}$$

Para interpretar os dados de campo Braga (2016), sugere a utilização de curvas bilogarítmicas da resistividade aparente (Ωm) em função dos espaçamentos do arranjo Schlumberger ($AB/2$). Com a finalidade de buscar o significado geológico dos parâmetros físicos no subsolo através de sua distribuição espacial.

Na análise morfológica é onde se define o modelo geoeletrico (Figura 1) da área de estudo conforme o número de camadas identificadas e variação das resistividades (Braga, 2016). Orellana (1972) define o modelo de colunas geoeletricas desta forma:

- Duas camadas – a) Ascendente: $\rho_1 < \rho_2$; b) Descendente: $\rho_1 > \rho_2$;
- Três camadas – a) K: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$; b) H: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$; c) A: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$; d) Q: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$;
- Quatro ou mais camadas – a) KH: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$; b) QH: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$; c) KHA: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4 < \rho_5$; etc.

Ainda, o parâmetro da resistividade transversa (T) ajuda a compreender o caráter potencial para aquíferos na área de estudo. Ele consiste na multiplicação do valor da resistividade (ρ (Ωm)) pela espessura (h (m)) das camadas alvo e, sugere-se utilizar valores de $T \geq 3.200 \Omega m^2$, como adequados em termos de potencial aquífero (Braga, 2016).

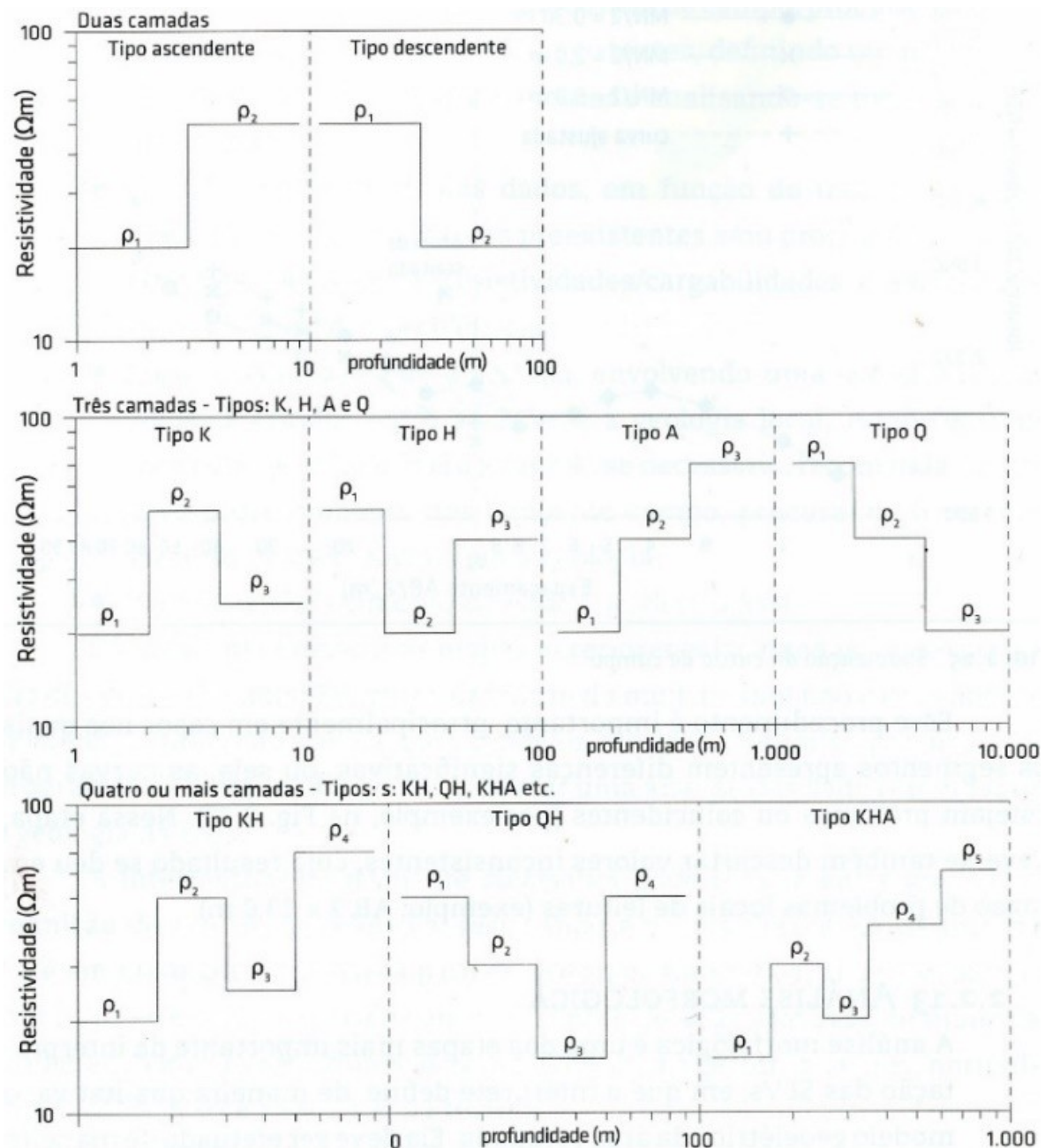


Figura 1. Tipos de modelos geoeletricos (Braga, 2016).

Comportamento elétrico de Solos e Rochas

Braga (2016) destaca que uma rocha pode apresentar valores de resistividade variados, dependendo de fatores como sua estrutura, composição mineralógica, porosidade, grau de saturação e compactação, entre outros. Assim, uma mesma rocha pode exibir um (range de valores de resistividade em função dessas características. A Figura 2 apresenta os intervalos típicos de resistividade para diferentes tipos de sedimentos e rochas, tanto em condições saturadas quanto insaturadas:

Como apresentado na Figura 2, os materiais saturados também podem apresentar certa variabilidade nos valores de resistividade, porém esses valores permaneçam relativamente baixos (Braga, 2016). As rochas quando insaturadas, apresentam valores de resistividade ainda mais altos, como pode ser observado na Tabela 1.

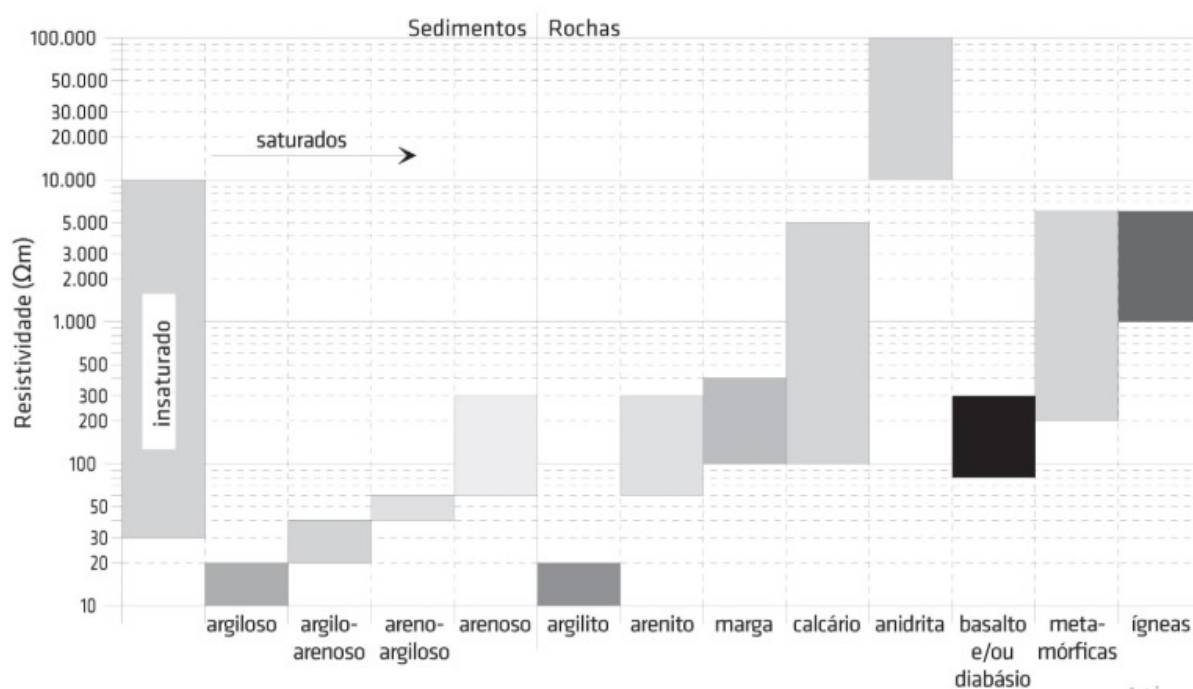


Figura 2. Valores de Resistividade para os materiais geológicos (Braga, 2016).

Tabela 1. Valores de resistividade de rochas ígneas e metamórficas (Modificado de Loke, 1999).

Material	Resistividade (Ωm)
Granito	$5 \times 10^3 - 10^6$
Basalto	$10^3 - 10^6$
Ardósia	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Mármore	$10^2 - 2,5 \times 10^8$
Quartzito	$10 - 2 \times 10^8$

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada no presente estudo foi estruturada em três etapas com o objetivo de investigar o comportamento do nível freático na região da zona rural de Ecoporanga-ES, a partir da aplicação do método geofísico da eletrorresistividade, por meio da técnica de SEV.

A etapa pré-campo, consistiu na revisão bibliográfica acerca dos estudos hidrogeológicos previamente realizados na região e o nível d'água de poços pré-existent, bem como pela compilação de informações acerca das características geológicas e fisiográficas da área com o objetivo de compreender a dinâmica hidrogeológica local e subsidiar as etapas seguintes, como em documentos públicos publicados pela FUNDAJ (2020), AGERH (2018; 2023) INCAPER (2020), em dados publicados pelo Censo do IBGE (2010), ANA e pelo SIAGAS.

A etapa de campo ocorreu nos dias 23 e 24 de agosto de 2025 e consistiu na aplicação do método geofísico, utilizando o medidor digital de resistividade do solo modelo TMD 20 KW da marca Instrumbrasil® configurado no arranjo Schlumberger para aplicação técnica da SEV. Esse arranjo foi escolhido devido à sua eficiência operacional e pela confiabilidade na aquisição de dados, conforme apresentado por Braga (2016).

Os materiais utilizados nessa etapa consistiram nos medidores digitais multímetros para leitura da intensidade da corrente (mA) e do potencial (mV), bateria, quatro eletrodos de alumínio, oito eletrodos de cobre, quatro fios elétricos de 100 m acondicionados em carretéis, dois martelos para fixação dos eletrodos no solo e duas trenas para a medição das distâncias necessárias à configuração do arranjo utilizado no presente trabalho.

Nesta etapa, foram realizadas oito SEVs, onde a escolha dos locais foi fundamentada em critérios operacionais e geológicos. Optou-se por pontos onde fosse possível estender adequadamente os cabos elétricos, garantindo profundidade de investigação compatível com os objetivos do estudo. Além disso, considerou-se a variação topográfica, incluindo posições no topo e na base do morro e locais próximos a ocorrência de nascente.

O arranjo de aquisição das SEVs permitiu a confecção de três perfis (SEVS 1-2-8; SEVS 4-3-5; SEVS 6-7), com registro dos parâmetros de resistividade aparente (Ωm) e profundidade de investigação.

No total, foram realizadas oito SEVs, com AB/2 variando de 1,5 a 80 metros, resultando em profundidades de investigação (AB/4) entre 0,75 até 40 metros, conforme apresentado na Tabela 2. A aquisição dos dados consistiu na injeção de corrente elétrica no solo por meio dos eletrodos de corrente (A e B) e na medição do potencial nos eletrodos de potencial (M e N). A partir das leituras obtidas e organizadas em planilhas a partir do software Excel 2013, calculou-se a resistividade aparente para cada nível de espaçamento (APÊNDICE A).

Tabela 2. Informações gerais das SEVs.

SEV	AB/2 Máx. (m)	Prof. Inv. Máx. (m) (AB/4)	Coordenadas (UTM)	Altitude do ponto (m)
SEV 01	80	40	24 299625 7968851	562
SEV 02	80	40	24 299666 7968849	546
SEV 03	50	25	24 299803 7968735	531
SEV 04	50	25	24 299769 7968734	523
SEV 05	50	25	24 299843 7968651	509
SEV 06	30	15	24 299304 7968651	556
SEV 07	30	15	24 299331 7968725	554
SEV 08	80	40	24 299686 7968874	550

Por fim, a etapa pós-campo, envolveu o processamento e análise dos dados coletados em campo, a partir da utilização do software IPI2win® para geração dos perfis com o modelo geoeletrico da resistividade das camadas em subsuperfície. Inicialmente, os dados foram compilados e tratados a partir de planilhas e desenvolvidos os gráficos com as curvas de campo para análise morfológica dessas curvas; posteriormente, foram processados para suavização e determinação das camadas com seus respectivos valores de resistividade; e por fim, a determinação da profundidade do nível freático a partir da análise do modelo geoeletrico e interpretação dos seus dados.

A interpretação dos resultados teve como objetivo identificar as possíveis zonas saturadas com base nos valores de resistividade encontrados, o que corroborou para o entendimento da dinâmica do nível freático local.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA

A fim de analisar o comportamento pluviométrico da região, apresenta-se na Tabela 3 a análise da precipitação mensal e anual registrada na Estação Meteorológica ECOPORANGA (código 1840013), situada na latitude -18,3658 e longitude -40,8406, com base em dados

pluviométricos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), conforme série histórica dos últimos 24 anos. Para garantir a consistência da análise, foram excluídos os anos com dados incompletos para cálculo das médias, máximas e mínimas apresentadas na sequência.

Tabela 3. Compilação dos dados pluviométricos da Estação Ecoporanga.

Série Histórica de Precipitação (mm) - Estação Ecoporanga													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total anual
2000	228,6	62,8	367,8	102	71,6	13,4	36,6	50,2	67	12,6	197,2	319,8	1529,6
2001	90,8	43,2	134,4	37,4	58,8	29	43,2	64,6	34,6	150,4	234,8	314,2	1235,4
2002	135,1	285,3	101,1	89,1	50,4	33,4	26,2	73,8	109,6	30	192,4	460,2	1776,6
2003	231	107,4	82,9	39,6	7,4	0,6	13,6	26,4	25,9	60,1	95,2	307,7	997,8
2004	375	175,7	185,2	195,3	18,2	49,1	62,1	11,3	2,6	158,2	107,5	395,4	1735,6
2005	91	199,5	274,1	93	131,9	130,9	29,4	126,3	39,4	55,5	238,3	290,4	1699,7
2006	22,8	44,5	213	127,5	4,4	37,5	25,4	14,9	88,4	172,8	356	567,9	1675,1
2007	128,7	221,1	38,2	156,2	27,3	1	4,8	33,6	54,1	2,4	109,8	64,4	841,6
2008	70,2	110,4	178,9	97,5	1,4	7,8	12,6	21,7	20,1	24,6	356,1	198,8	1100,1
2009	460,4	26	239,5	143,7	13,7	31,7	59,2	45,3	18,4	265,7	190,5	94,6	1588,7
2010	37,5	49,2	258,7	121,3	142,6	12,7	76,1	4,6	45	26	205,4	261,2	1240,3
2011	102,8	198,9	275,3	152,7	16,5	26,6	41,5	8	11	231,4	374,1	210,6	1649,4
2012	152,8	66,5	32,8	61,6	34,4	12,2	53,7	178,8	39,4	18	593,3	24,8	1268,3
2013	153,2	35,5	153,8	107,1	28,7	19,8	18,4	22,2	50,7	103,7	234	630,6	1557,7
2014	49,3	67,9	121,1	85,6	8,2	82,8	102,7	46,8	9,6	215,7	132,3	108,3	1030,3
2015	20	123,4	93,3	0,2	36	46	27,8	31,1	1	31	43,6	101,2	554,6
2016	374,7	6	20,8		13,6	0	6,6	0	22,9	79,8	300,1	110,4	934,9
2017	62,4	529,1	118,3	61,6	131,4	33	74,7	0	85,7	64,8	68,9	349,6	1579,5
2018	72,8	272,9	^{142,6}	130,7	31,4	^{9,6}	0	63	3,7	67,5	381	268,3	1443,5
2019	40,3	261,5	30,2	244	26,3	58,6	34,2	138,7	10,3	70,6	101,4	148,4	1164,5
2020*	174,6	112,6		24,4	19,3	12,4	57,9	33,4					434,6
2021*													

2022*								18,1	14,8	84	384,5	602,6	1104,0
2023*	15	35	93,8	45,4	19	176,5	103,5	24	91	0	171	774,2	
2024*	196,9	209,3	90,8	64	48	38,3	0	33	1,5	116,5	374,5		1172,8

A partir dos dados compilados da Estação Ecoporanga, foram calculados os valores de precipitação máxima, média e mínima. A análise dos dados apresenta dois períodos distintos, caracterizados por valores mais elevados e mais reduzidos de precipitação. Os meses de novembro a março concentram os maiores volumes de chuva, com destaque para dezembro, com máximo mensal de 630,6 mm e novembro com 593,3 mm. A média mensal também é significativamente alta nesses meses, refletindo uma estação chuvosa mais intensa.

Além do mais, é possível observar que o período de maio a setembro caracteriza-se por baixos índices pluviométricos, com destaque para julho, com máxima 102,7 mm e setembro com 109,6 mm, evidenciando um período seco bem definido.

A partir da análise da tabela 3, nota-se uma alta variabilidade ao longo dos anos da série histórica, cuja média história é de 1330, 2 mm. Os anos como 2002 (1776,6 mm), 2004 (1735,6 mm), 2005 (1699,7 mm) e 2006 (1675,5 mm) se destacam com totais anuais muito acima da média, caracterizando os anos extremamente chuvosos. Em contrapartida, anos como 2003 (997,8 mm), 2007 (841,6 mm), 2015 (554,6 mm), apresentam períodos de baixa precipitação, reforçando a ocorrência de anos mais secos.

Os dados mais recentes, de 2020 a 2024, são observados com mais cautela, pois apresentam-se incompletos. Ainda assim, observa-se que, em alguns desses anos, os valores acumulados, como em 2024 (1172,8 mm), se aproximam da média histórica, apresentando uma possível retomada das condições pluviométricas médias da série histórica.

ANÁLISE DO NÍVEL D'ÁGUA

A Tabela 4 apresenta informações relacionadas a oito poços tubulares localizados no município de Ecoporanga, os quais também podem ser visualizados no mapa da Figura 3 em relação a área de estudo. Os dados analisados incluem o número do ponto, Nível Estático (Ne), o Nível Dinâmico (Nd) e vazão de estabilização, expressa em metros cúbicos por hora (m³/h). Os dados foram obtidos a partir do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), plataforma gerida pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que disponibiliza informações técnicas sobre poços cadastrados em todo o território nacional.

Tabela 4. Informações gerais dos poços tubulares localizados no município de Ecoporanga.

Número do Ponto	ID	UF	Localidade	Natureza	Ne (m)	Nd (m)	Vazão Estabilização (m³/h)
3100007769	P01	ES	SÃO GERALDO	Poço tubular	2	25,4	9,47
3100007770	P02	ES	MURITIBA II	Poço tubular	1,48	31,38	9
3100007771	P03	ES	ESCOLA PARAÍSO	Poço tubular	5,7	52,32	0,504
3100007933	P04	ES	POSTO ECOPORANGA LTDA / SEDE	Poço tubular	4,5	10,42	17,57
3100007934	P05	ES	AUTOPOSTO DAL - COL	Poço tubular	19,45	29,27	4,06
3100007937	P06	ES	MIRAGEM III	Poço tubular	2,12	71,73	1,15
3100007938	P07	ES	FAZENDA CACHOEIRA BONITA	Poço tubular	3,11	34,25	0,972
3100007939	P08	ES	SANTA LUZIA DO NORTE III	Poço tubular	4	60	0,89

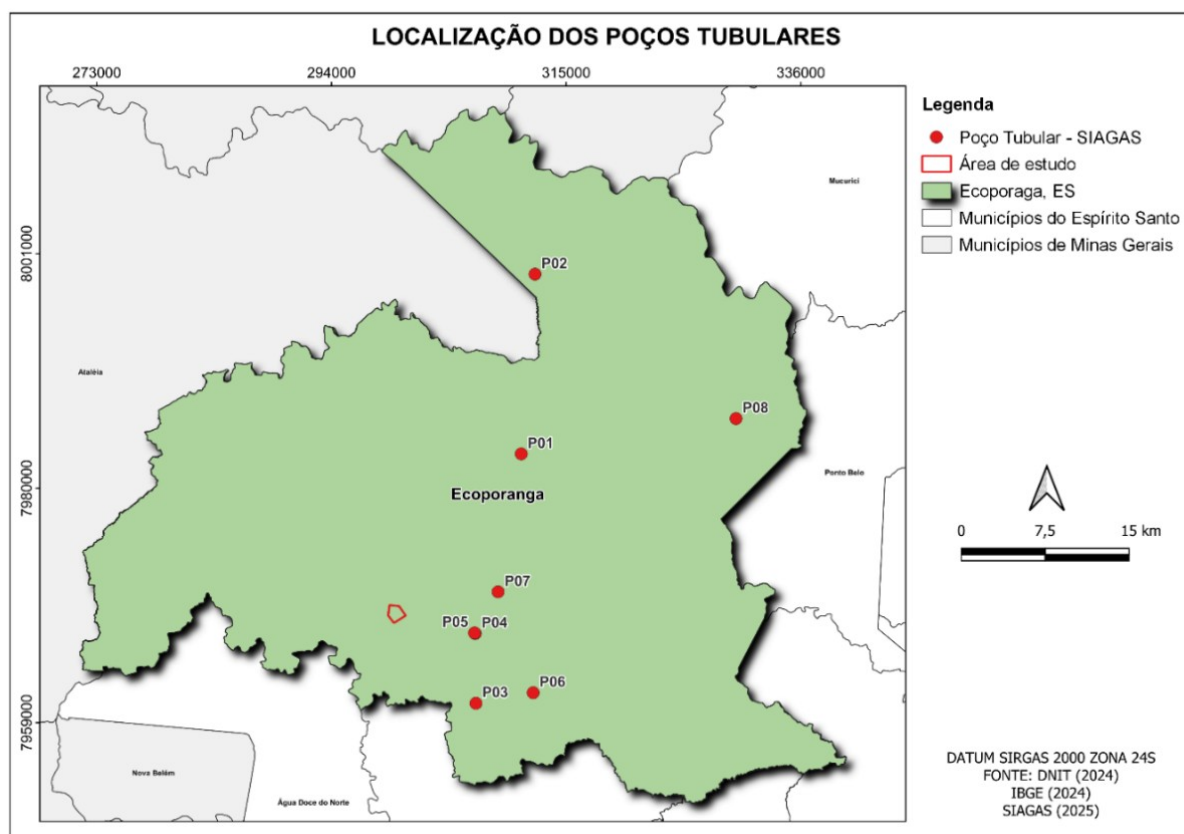


Figura 3. Mapa de localização dos poços de monitoramento em relação a área de estudo.

Ao observar os valores de Ne e Nd, é possível perceber uma considerável variação entre os pontos analisados. O menor nível estático foi registrado no poço da localidade de MURITIBA II, com valor de 1,48 m, enquanto o maior apresentou valor de 19,45 m, registrado em AUTOPOSTO DAL. Quanto ao nível dinâmico, a profundidade varia entre 10,42 metros (POSTO ECOPORANGA LTDA / SEDE) a 71,73 metros (MIRAGEM III). A diferença entre

essas profundidades, conhecida como rebaixamento ($\Delta h = N_d - N_e$), também apresenta grande amplitude, sendo um indicativo direto da resposta do aquífero ao bombeamento e da eficiência hidráulica do poço.

A vazão de estabilização, por sua vez, mostra um comportamento não linear em relação às profundidades. Destacam-se duas localidades com vazões elevadas: POSTO ECOPORANGA LTDA / SEDE, com 17,57 m³/h, e SÃO GERALDO, com 9,47 m³/h. Tais valores indicam que esses poços possuem boa capacidade de extração e são potencialmente viáveis para atender demandas mais intensas de uso. Em contrapartida, as menores vazões estão associadas aos poços das localidades ESCOLA PARAÍSO (0,504 m³/h) e SANTA LUZIA DO NORTE III (0,89 m³/h).

GEOFÍSICA

Após o processamento dos dados com o objetivo de realizar a suavização das curvas obtidas em campo, foi possível determinar os valores de resistividade correspondentes a cada camada geoeletrica identificada e gerar o respectivo modelo geoeletrico.

O primeiro conjunto de SEVs corresponde aos pontos 1, 2 e 8. A partir das altitudes apresentadas na Tabela 4, observa-se as SEVs estão localizadas no topo de uma colina ao longo do pasto (Figura 4A), em relação à área de estudo estão situadas em regiões de maior altitude em comparação às demais SEVs

As curvas geradas nas SEVs 1-2-8 (Figura 4B, 4C e 4D) indicam a presença de três camadas geoeletricas distintas em cada uma delas. A partir da análise morfológica das curvas, essas sondagens foram classificadas como do tipo H, conforme a classificação proposta por Braga (2016). O comportamento dessas curvas pode ser descrito, com base nos modelos geoeletricos obtidos, por uma camada superficial de resistividade relativamente alta, seguida por uma camada intermediária de menor resistividade e uma camada inferior com valores de resistividade significativamente mais elevados.

A SEV 1 apresenta uma camada superficial de resistividade alta de 1752 Ωm e espessura de 4,69 metros, seguido por uma camada intermediária de resistividade menor de 599,1 Ωm e espessura de 12,58 metros. Por fim, uma camada inferior de resistividade elevada de 4715 Ωm . A SEV 2 é composta por uma camada superficial de alta resistividade com valor de 3148 Ωm e espessura de 3,16 metros, além de uma camada intermediária de resistividade menor de 965,5 Ωm e 24,79 metros de espessura, voltando a uma camada inferior de resistividade alta de 3618

Ωm . A SEV 8, inicia com uma camada superficial de alta resistividade com valor de $2584 \Omega\text{m}$ e espessura de 4,19 metros, com uma segunda camada de resistividade menor com $708,5 \Omega\text{m}$ e 26,35 metros e uma camada inferior com resistividade extremamente alta de $71682 \Omega\text{m}$.

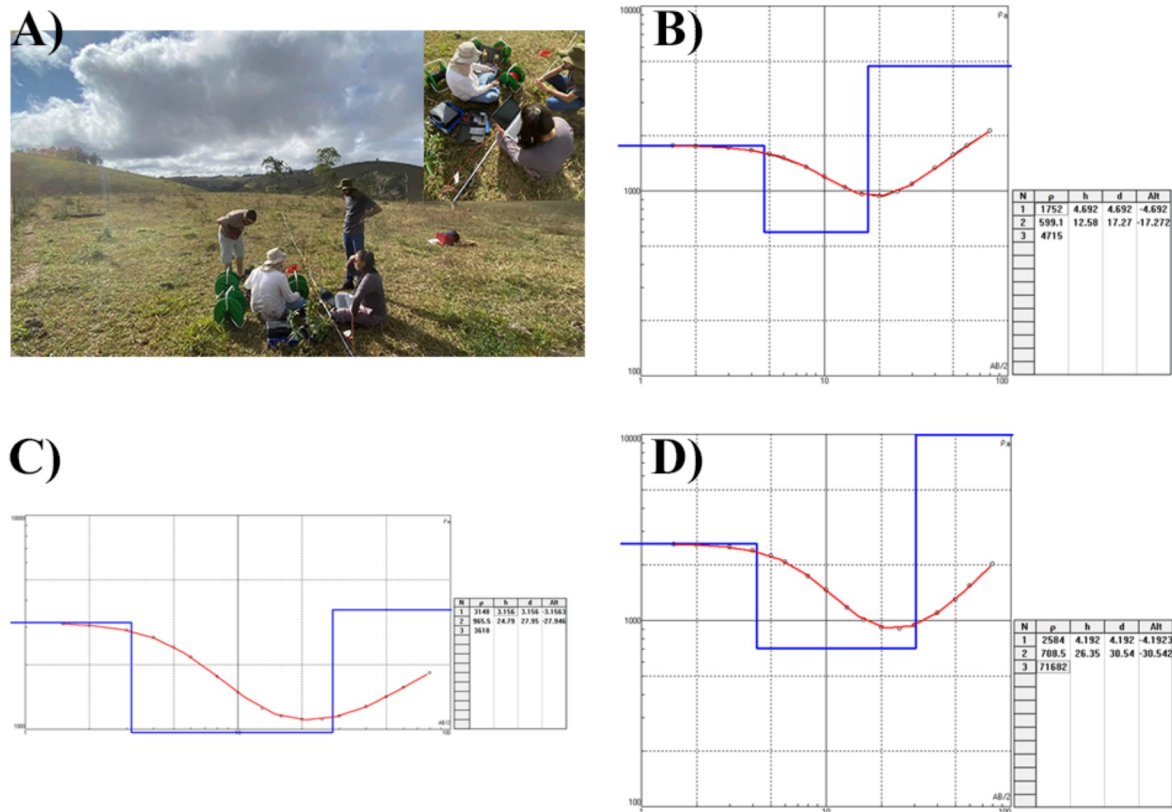


Figura 4. SEVs 1-2-8. A) Local de coleta dos dados. B) Curva de campo da SEV 1. C) Curva de campo da SEV 2. D) Curva de campo da SEV 8.

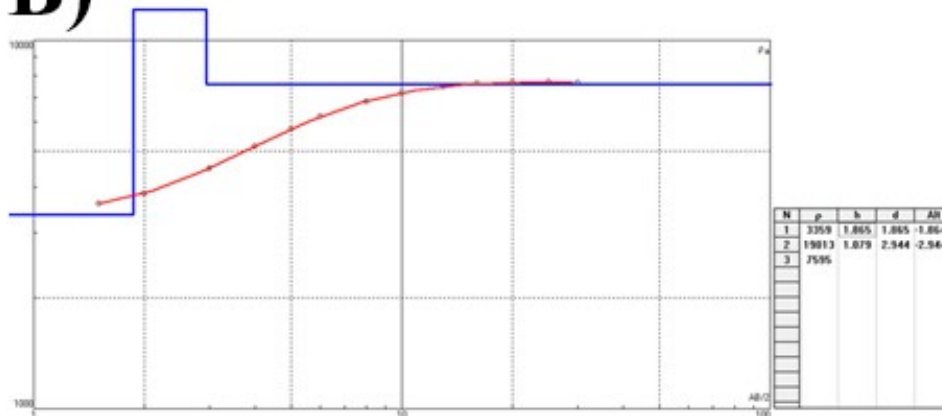
O segundo conjunto de SEVs correspondem aos pontos 6 e 7, realizadas na porção oeste da área de estudo em uma região de afloramentos rochosos com uma nascente entre os pontos 6 e 7 (Figura 5A). O modelo geoeletrico das SEVs 6 e 7 (Figura 5B e 5C) é composto por três camadas geoeletricas. A primeira apresenta um comportamento morfológico do tipo K, enquanto a segunda é classificada como do tipo H, conforme proposto por Braga (2016).

A SEV 6 apresenta uma camada superficial com alta resistividade com valor de $3359 \Omega\text{m}$ e espessura de 1,87 m, seguida por uma segunda camada extremamente resistiva de $19013 \Omega\text{m}$, com 1,07 m de espessura. A terceira camada mantém valores elevados de resistividade, porém inferiores aos da camada anterior com $7595 \Omega\text{m}$. Na SEV 7, observa-se uma camada inicial de resistividade alta de $2408 \Omega\text{m}$, com 1,91 m de espessura, seguida por uma segunda camada de resistividade menor de $1707 \Omega\text{m}$ e 1,55 m de espessura. A terceira camada apresenta um aumento da resistividade apresentando valor de $5376 \Omega\text{m}$.

A)



B)



C)

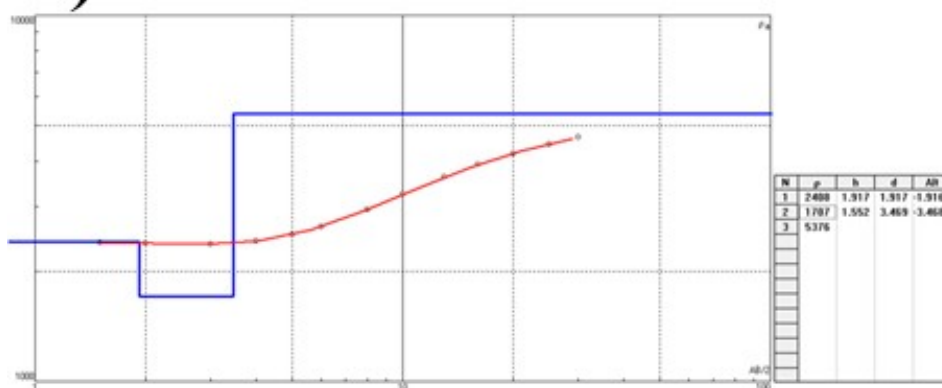


Figura 5. SEVs 6-7. A) Local de coleta dos dados. B) Curva de campo da SEV 6. C) Curva de campo da SEV 7.

Por fim, o terceiro conjunto de SEVs realizadas na área de estudo constituem as SEVs 4, 3 e 5, conforme apresentado Tabela 4, realizadas em cota topográfica inferior em relação às demais, próximo a residência do proprietário e em estrada de chão com passagem de veículos (Figura 6A).

O modelo geoeletrico das SEVs (Figura 6B, 6C e 6D), são compostos por três camadas geoeletricas. A morfologia das SEVs é definida como do tipo H para a SEV 4 e do tipo A para as SEVs 3 e 5, conforme definição proposta por Braga (2016).

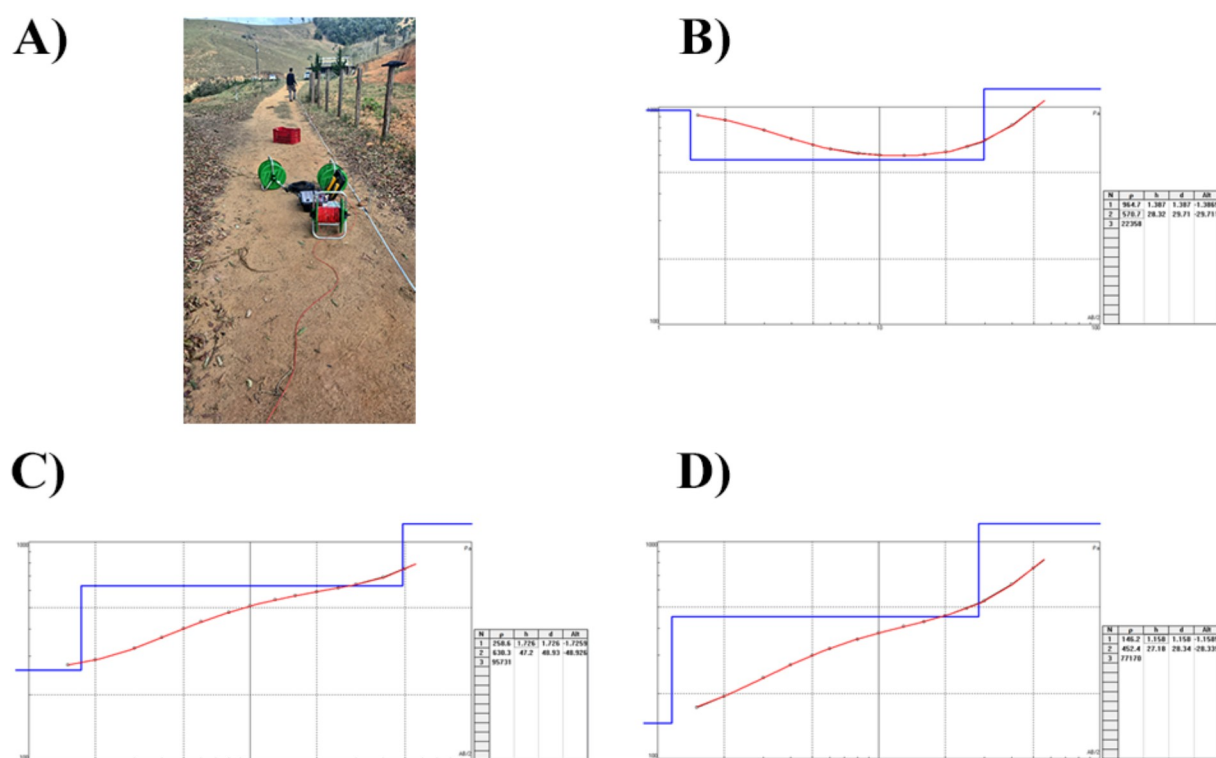


Figura 6. SEVs 4-3-5. A) Local de coleta dos dados. B) Curva de campo da SEV 4. C) Curva de campo da SEV 3. D) Curva de campo da SEV 5.

A SEV 4 apresenta uma camada superficial resistiva de 964,7 Ωm com 1,39 m de espessura, seguida por uma segunda camada intermediária de resistividade menor de 570,7 Ωm e com 28,32 m de espessura, e uma terceira camada extremamente mais resistiva de 22358 Ωm . A SEV 3 apresenta resistividade crescente em relação a profundidade, a camada inicial possui resistividade baixa de 256,6 Ωm e 1,73 m de espessura. A segunda camada apresenta resistividade mais elevada, com valor de 630,3 Ωm e 47,2 m de espessura, enquanto a camada inferior apresenta resistividade extremamente alta de 95731 Ωm . A SEV 5 apresenta comportamento semelhante à SEV 3, com resistividade aumentando com a profundidade. A camada inicial apresenta resistividade baixa de 146,2 Ωm e 1,16 m de espessura, a segunda

camada possui resistividade maior com 452,4 Ωm e 27,18 m de espessura, enquanto a camada inferior apresenta resistividade extremamente elevada com 77170 Ωm .

A fim de verificar o comportamento dos valores de resistividade e sua distribuição espacial tanto vertical, em relação ao posicionamento das SEVs, quanto horizontalmente, em relação a profundidade de investigação alcançada, foram desenvolvidas três pseudo-seções elétricas para cada conjunto de SEVs.

A Figura 7 apresenta a pseudo-seção elaborada para o primeiro conjunto de SEVs 1, 2 e 8. Nessa seção é possível observar a profundidade aparente de investigação, que alcança aproximadamente 74,99 metros, bem como o comportamento da resistividade ao longo da profundidade e da distribuição horizontal entre as SEVs.

Nota-se que essa porção da área de estudo apresenta uma camada superficial mais resistiva até cerca de 4 metros de profundidade. Em seguida, ocorre uma camada intermediária de baixa resistividade, portanto mais condutiva, que se inicia a aproximadamente 10 metros de profundidade. Abaixo, identifica-se novamente uma camada mais resistiva, a partir de cerca de 50 metros de profundidade.

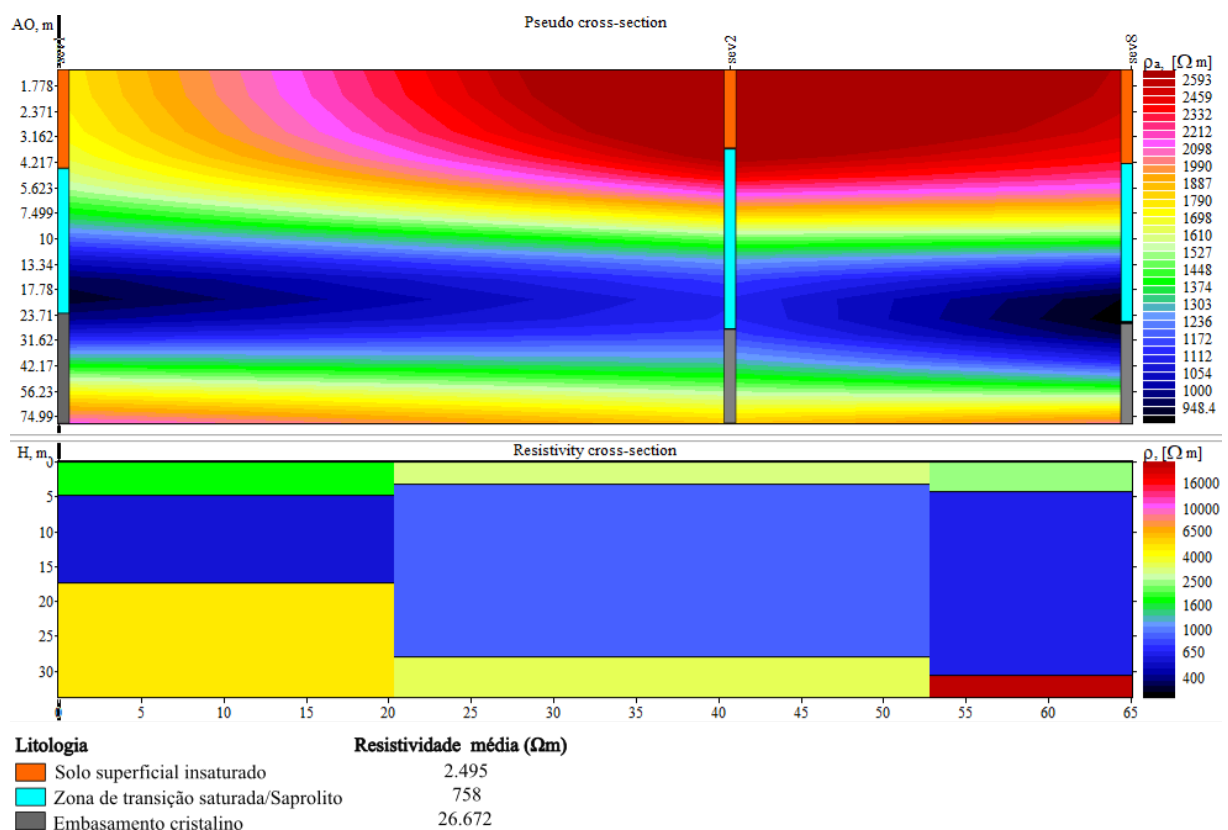


Figura 7. Pseudo-seção das SEVs 1, 2 e 8.

Dessa forma, a camada superficial, de cerca de 5 metros, pode estar relacionada a um material composto por solo não saturado, apresentando baixa condutibilidade, sendo essa interpretação reforçada pelo comportamento de sedimentos insaturados proposto por Braga (2016). Seguida por uma camada intermediária, a partir dos 10 metros de profundidade, possivelmente saturada devido aos valores baixos de resistividade e alta condutibilidade. Com posterior aumento da resistividade, em cerca de 56 metros, podendo ser relacionado a zona do embasamento cristalino. Ou seja, o perfil pode ser caracterizado por um solo superficial insaturado, seguido por uma zona possivelmente saturada entre 10 e 32 metros de profundidade, e por fim, possível zona composta pelo embasamento cristalino da área de estudo.

Na Figura 8, é apresentado a pseudo-seção para o conjunto de SEVs 6 e 7. A profundidade alcançada aqui é de cerca de 28,48 metros e assim como apresentado anteriormente, é marcada pelo aumento da resistividade em relação a profundidade. Nota-se que os valores de resistividade variam horizontalmente, com a camada superior apresentando valores de resistividade ainda mais baixos em direção à SEV 7, enquanto a camada inferior, de caráter mais resistivo, apresenta valores ainda mais elevados em relação à SEV 6.

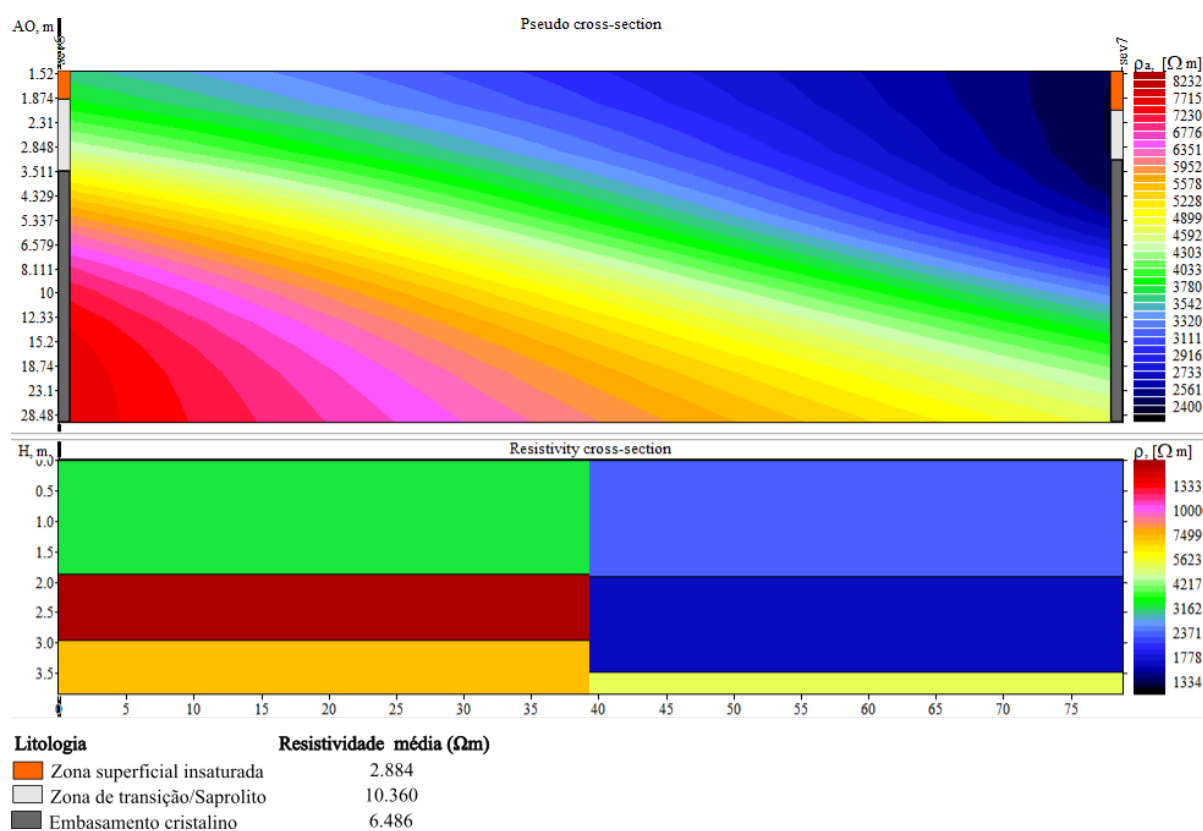


Figura 8. Pseudo-seção das SEVs 6 e 7.

Essa porção da área de estudo, localizada em cota intermediária em relação aos demais conjuntos de SEVs, foi realizada próxima a uma nascente entre as SEVs 6 e 7, e onde afloram as rochas graníticas do embasamento. O alto valor de resistividade em relação a porção superior esquerda apresentada na pseudo-seção está relacionada a presença do embasamento próximo a superfície. A porção superior direita caracterizada pelos baixos valores de resistividade está relacionada à zona saturada (influência da nascente), refletindo na diminuição da resistividade do material em direção a SEV 7.

A Figura 9 apresenta o comportamento do terceiro conjunto de SEVs 4, 3 e 5. A profundidade aparente de investigação alcançada é de aproximadamente 46,42 metros, e observa-se também variação no comportamento da resistividade ao longo da distribuição horizontal. Nota-se uma camada superficial altamente resistiva na porção superior esquerda da pseudo-seção (SEV 4), que gradualmente passa a um caráter mais condutivo na porção direita, correspondente às SEVs 3 e 5, até cerca de 5 metros de profundidade. A partir dessa profundidade, identifica-se uma camada de resistividade intermediária, que se estende até aproximadamente 22 metros, tornando-se, a partir desse ponto, uma camada altamente resistiva em toda a extensão horizontal.

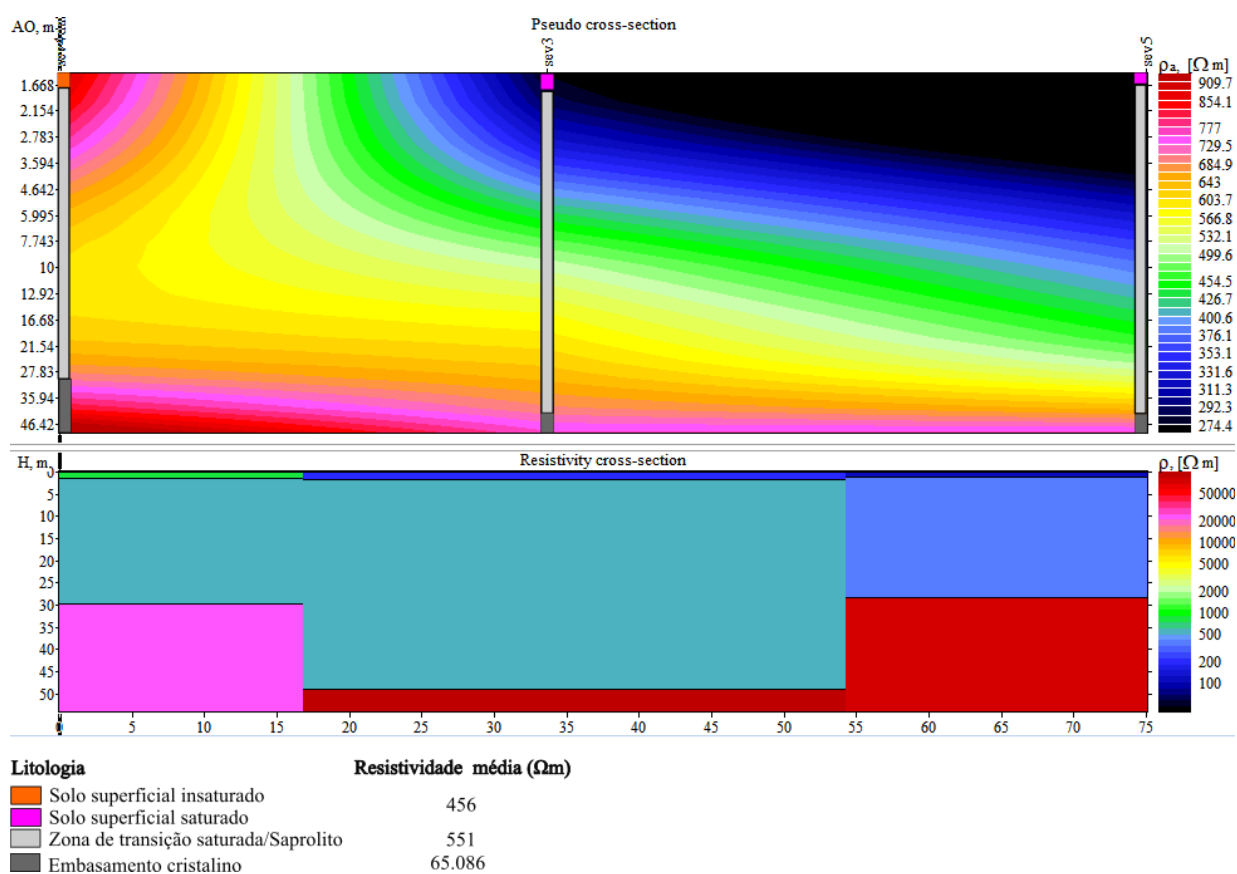


Figura 9. Pseudo-seção das SEVs 4, 3 e 5.

Dessa forma, o comportamento da resistividade do terceiro conjunto de SEVs reflete uma camada superficial com variações nas condições dos materiais geológicos em subsuperfície, visto que seu comportamento apresenta variação horizontal. Essa variação pode estar associada à maior umidade do material ou à espessura da zona alterada no setor direito, enquanto à esquerda o material se torna mais resistivo, indicando possível transição para rocha mais compacta e seca. A camada intermediária pode representar uma zona composta por material de caráter transicional, enquanto a camada inferior, mais resistiva, está provavelmente relacionada à zona do embasamento cristalino maciço.

Após análise das resistividades encontradas, das curvas de campo e das pseudo-seções em comparação ao comportamento elétrico de solos e rochas (Figura 2 e Tabela 4), foi possível constatar que os horizontes são compostos por um solo superficial derivado da alteração do embasamento rochoso da área de estudo, seguido por uma zona de transição e, em maior profundidade, por uma camada correspondente ao embasamento maciço da região, caracterizado pela Supersuíte Carlos Chagas. No entanto, a bibliografia classifica o solo da região como Latossolo Amarelo Distrófico que seria derivada das formações Barreiras e Alter do Chão, porém as observações de campo e a interpretação do modelo geoeletrico indicam uma configuração distinta.

O valor da resistividade transversa (T) das camadas de cada SEV realizada na área de estudo é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Valores de resistividade transversa obtidos nas SEVs.

	SEV 1		SEV 2		SEV 8		Média Perfil 1-2-8		
	h (m)	ρ (Ω m)	h (m)	ρ (Ω m)	h (m)	ρ (Ω m)	h (m)	ρ (Ω m)	T (Ω m ²)
Camada 1	4,69	1.752	3,16	3.148	4,19	2.584	4,01	2.495	10.012
Camada 2	12,58	599,1	24,79	965,5	26,35	708,5	21,24	758	16.094
Camada 3	-	4.715	-	3.618	-	71.682	-	26.672	-
	SEV 6		SEV 7		Média Perfil 6-7				
	h (m)	ρ (Ω m)	h (m)	ρ (Ω m)	h (m)	ρ (Ω m)	T (Ω m ²)		
Camada 1	1,87	3.359	1,91	2.408	1,89	2.884	5.450		
Camada 2	1,07	19.013	1,55	1.707	1,31	10.360	13.572		
Camada 3	-	7.595	-	5.376	-	6.486	-		
	SEV 4		SEV 3		SEV 5		Média Perfil 4-3-5		
	h (m)	ρ (Ω m)	h (m)	ρ (Ω m)	h (m)	ρ (Ω m)	h (m)	ρ (Ω m)	T (Ω m ²)

Camada 1	1,39	964,7	1,73	256,6	1,16	146,2	1,43	456	650
Camada 2	28,32	570,7	47,2	630,3	27,18	452,4	34,23	551	18.867
Camada 3	-	22.358	-	95.731	-	77.170	-	65.086	-

Dessa forma, a partir da análise das camadas menos resistivas de cada SEV permitiu-se inferir seu potencial hidrogeológico. Nos conjuntos de SEVs (1, 2 e 8) e (4-3-5) a camada 2 plota dentro da faixa de valores ideal para aquíferos promissores (Figura 10). Já o conjunto (6-7), as camadas condutivas ainda apresentam resistividade muito elevadas e são pouco espessas, não demonstrando potencial para aquífero.

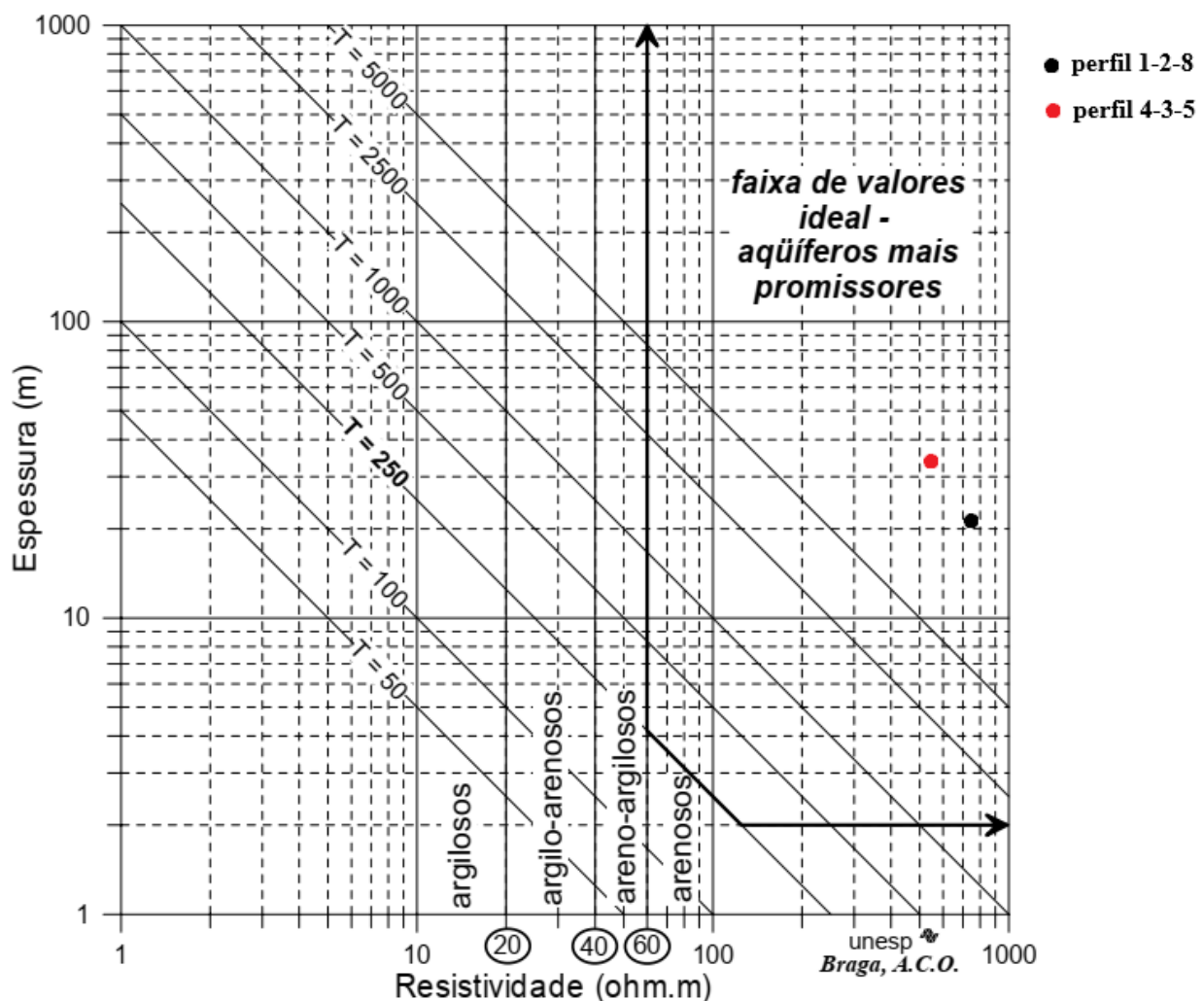


Figura 10. Resistência transversal/transmissividade para o conjunto de SEVs (Braga, 2007).

Em suma, nos conjuntos de sondagens SEVs 1-2-8 e SEVs 4-3-5, a camada intermediária apresentou valores médios de resistividade de 758 Ω m e 551 Ω m, com espessuras variando entre 21,24 e 34,23 metros, sendo interpretada como a zona saturada em potencial. Os

valores de resistividade transversa (T), variando entre 16.094 e 18.867 Ωm^2 , superam o limite de 3.200 Ωm^2 estabelecido por Braga (2016), indicando transmissividade favorável e bom potencial aquífero. As camadas inferiores de alta resistividade, com valores médios de 26.672 Ωm (SEV 1-2-8) e 65.086 Ωm (SEV 4-3-5), correspondem ao embasamento granítico da Suíte Carlos Chagas, visto que valores de resistividade de rochas cristalinas são normalmente altas como nos dados apresentados por Loke (1999), em que mostra que rochas graníticas apresentam resistividade entre $5 \times 10^3 - 10^6 \Omega\text{m}$. A Tabela 6 a seguir, apresenta os valores médios de resistividade dos conjuntos de SEVs comparados aos intervalos bibliográficos para materiais geológicos.

Tabela 6. Valores médios de resistividade dos conjuntos de SEVs comparados aos intervalos bibliográficos para materiais geológicos.

Conj.	Camada	Resis. Média (Ωm)	H (m)	Material Inferido	Resis. Bibliográfica (Ωm)
SEVs 1-2-8	1	2.495	4,01	Solo superficial insaturado	30-10.000 (Braga, 2016)
	2	758	21,24	Zona saturada/Saprolito	200-5.000 (Braga, 2016)
	3	26.672	-	Embasamento cristalino	$5 \times 10^3 - 10^6$ (Loke, 1999)
SEVs 4-3-5	1	456	1,43	Solo superficial	30-10.000 (Braga, 2016)
	2	551	34,23	Zona saturada/ Saprolito	200-5.000 (Braga, 2016)
	3	65.086	-	Embasamento cristalino	$5 \times 10^3 - 10^6$ (Loke, 1999)

No que se refere às SEVs 6 e 7, realizadas em áreas próximas aos afloramentos, as camadas menos resistivas apresentaram espessura média de 1,89 m e resistividade em torno de 2.884 Ωm , com valores de transmissividade de 5.450 Ωm^2 , significativamente inferiores aos demais conjuntos de SEV. Os valores mais baixos de resistividade observados nas camadas superficiais dessas SEVs podem estar relacionados à influência da nascente localizada entre os pontos, que eleva a umidade do solo.

Dessa forma, a partir da análise dos dados geofísicos e do comportamento em subsuperfície, pode-se verificar que as águas subterrâneas identificadas nas camadas intermediárias de baixa resistividade e valores promissores quanto a transmissividade compreendem às porções relacionadas às zonas de alteração do embasamento cristalino, caracterizando o aquífero fraturado predominante na região da área de estudo, como visto nos conjuntos da SEVs 1-2-8 e SEVs 4-3-5.

Além disso, a análise dos poços tubulares cadastrados no SIAGAS no município de Ecoporanga apresentou níveis estáticos (Ne) variando de 1,48 m a 19,45 m, mostrando uma

coerência com as profundidades médias das camadas saturadas identificadas nas SEVs, situadas entre 4,01 (SEVs 1-2-8) e 1,43 (SEVs 4-3-5) metros. Essa correspondência indica que o topo da zona saturada do modelo geoeletrico coincide com o nível freático regional, validando os resultados coletados de campo.

CONCLUSÕES

A aplicação do SEV mostrou-se eficiente para avaliar a profundidade do nível freático, interpretado entre 4,01 (SEVs 1-2-8) e 1,43 (SEVs 4-3-5) metros de profundidade. A partir dos dados obtidos foi possível identificar as principais variações de resistividade em subsuperfície, permitindo a determinar o modelo geoeletrico das sondagens realizadas e determinar possíveis zonas com potencial para a ocorrência de água subterrânea.

As oito sondagens realizadas foram agrupadas em três conjuntos com base em sua proximidade espacial e semelhança de comportamento geoeletrico. O primeiro conjunto (SEVs 1, 2 e 8), localizado em área de maior altitude, apresentou camadas de resistividade moderada e espessuras consideráveis com potencial para aquífero na camada intermediária. O segundo conjunto (SEVs 6 e 7) revelou camadas de menor espessura e de resistividade elevada, sem potencial para aquífero, praticamente impermeáveis, características de material mais compacto/proximidade com a rocha sã. Já o terceiro conjunto (SEVs 4, 3 e 5) localizados nas regiões de menor altitude, apresentou valores mais baixos de resistividade e maior transmissividade na camada intermediária.

Foi possível determinar que para essa região a profundidade média da zona saturada ocorre entre 4,01 (SEVs 1-2-8) e 1,43 (SEVs 4-3-5) metros de profundidade, com espessura média de 21 a 34 metros aproximadamente, definida pelo comportamento menos resistivo de cerca de 758 Ωm e 551 Ωm e transmissividade entre 16.094 Ωm^2 e 18.867 Ωm^2 . Dessa forma, os resultados obtidos mostram a eficácia do método da eletrorresistividade como ferramenta de suma importância para os estudos hidrogeológicos.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos complementares, incluindo dados de perfuração de poços de monitoramento do nível freático, assim como o desenvolvimento de mapas potenciométricos a partir dos dados obtidos desses poços para compreender melhor a dinâmica e percolação das águas subterrâneas na região de estudo.

REFERÊNCIAS

- A Gazeta. (2024, setembro 6). Seca no Espírito Santo se agrava: Veja cidades com piora nos índices. <https://www.agazeta.com.br/clima/seca-no-espírito-santo-se-agrava-veja-cidades-com-piora-nos-índices-0924>.
- Agência Estadual de Recursos Hídricos. (2023, dezembro 7). Resolução AGERH nº 003, de 07 de dezembro de 2023: Declara estado de alerta frente ao prolongamento da escassez hídrica em rios de domínio do Estado do Espírito Santo e dá outras providências.
- Alkmim, F. F., Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., & Cruz, S. C. P. (2007). Sobre a evolução tectônica do orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos*.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. de M., & Sparovek, G. (2014). Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728.
- Braga, A. C. O. (2001). Métodos geoelétricos aplicados: Módulo: Hidrogeologia. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Departamento de Geologia Aplicada (DGA).
- Braga, A. C. O. (2016). Geofísica aplicada: Métodos geoelétricos em hidrogeologia. Oficina de Textos.
- Castañeda, C., Pedrosa-Soares, A. C., Belém, J., Dias, P. H. A., Gradim, D. T., Medeiros, S. R., & Oliveira, F. F. (2006). *Folha Ecoporanga, SE. 24-Y-A-III, escala 1:100.000: Nota explicativa*.
- Cunha, A. M., et al. 2016. *Mapa de reconhecimento de solos do Estado do Espírito Santo: Uma atualização de legenda*.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (n.d.). Latossolos amarelos. Agência de Informação Embrapa: Solos Tropicais. <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-amarelos>.
- Feitosa, F. A. C., Manoel Filho, J., Feitosa, E. C., & Demetrio, J. G. A. (2008). *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. CPRM.
- Fundação Joaquim Nabuco. (2020, setembro 29). Águas subterrâneas: O que é e qual a importância? <https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/revitalizacao-de-bacias/aguas-subterraneas-o-que-e-e-qual-a-importancia>.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos Neto, M. da C., Silva, L. C. da, Trouw, R. A. J., & Janasi, V. de A. (2004). Província Mantiqueira. In *Geologia do continente sul-americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* (pp. 203–235).
- Hirata, R., Suhogusoff, A. V., Marcellini, S. S., Villar, P. C., & Marcellini, L. (2019). *A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: Uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento*. Instituto Trata Brasil. <https://repositorio.usp.br/directbitstream/e7d9e125-7b22-4706-915b-a397f8a91784/2928658.pdf>
- Loke, M. H. (1999). *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys*. [...].
- Orellana, E. (1972). *Prospección geoeléctrica en corriente continua*. Paraninfo.
- Pedrosa-Soares, A. C., et al. (2020). O orógeno Araçuaí à luz da geocronologia: Um tributo a Umberto Cordani. In *Geocronologia e evolução tectônica do continente sul-americano: A contribuição de Umberto Giuseppe Cordani* (pp. 250–272).
- Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons.
- Serviço Geológico do Brasil. (2018). Mapa geológico do estado do Espírito Santo. <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15564>.

**GEOEDUCAÇÃO EM PRÁTICA: CONTRIBUIÇÕES DO
LABORATÓRIO DE MACROSCOPIA DA UFES PARA A FORMAÇÃO
GEOCIENTÍFICA DE ESTUDANTES DA EDUCAÇÃO BÁSICA**

GEOEDUCATION IN PRACTICE: CONTRIBUTIONS OF THE MACROSCOPY
LABORATORY AT UFES TO THE GEOSCIENTIFIC TRAINING OF BASIC
EDUCATION STUDENTS

**Tamires Velasco; Renan Barbosa; Caroline Soares; Edgar Júnior; Mirna Neves; Aline
Bregonci**

Tamires Costa Velasco
Mestranda em Agroquímica
Técnica de laboratório na Universidade Federal do Espírito Santo
tamires.velasco@ufes.br

Renan de Miranda Barbosa
Bacharel em Geologia
Geólogo
renanmirandabarbosa@gmail.com

Caroline Cibele Vieira Soares
Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais
Professora na Universidade Federal do Espírito Santo
caroline.c.soares@ufes.br

Edgar Batista de Medeiros Júnior
Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais
Professor na Universidade Federal de Viçosa
edgar.junior@ufv.br

Mirna Aparecida Neves
Doutorado em Geologia Regional
Professora na Universidade Federal do Espírito Santo
mirna.neves@ufes.br

Aline de Menezes Bregonci
Doutorado em Educação
Professora na Universidade Federal do Espírito Santo
aline.bregonci@ufes.br

RESUMO

As Geociências, embora fundamentais para a compreensão das relações entre sociedade e natureza, ainda ocupam espaço reduzido no currículo da educação básica brasileira, sendo frequentemente abordadas de forma fragmentada e pouco prática. Este estudo analisa as contribuições das atividades didático-práticas desenvolvidas no Laboratório de Macroscopia (LAMAC) da UFES para a formação geocientífica de estudantes do ensino básico. A pesquisa, de abordagem qualitativa e quantitativa, envolveu 245 alunos de 7 escolas no período de 2024 e 2025. Os resultados evidenciam que o contato direto com minerais e rochas favorece o interesse, a curiosidade científica e a compreensão de conceitos geológicos, destacando a relevância de espaços universitários como ambientes complementares à aprendizagem escolar e à popularização das Geociências.

Palavras-chave. geociências; educação; divulgação científica.

ABSTRACT

Geosciences, although fundamental for understanding the relationships between society and nature, still occupy a small space in the Brazilian basic education curriculum, often being approached in a fragmented and impractical way. This study analyzes the contributions of didactic-practical activities developed at the Macroscopy Laboratory (LAMAC) at UFES to the geoscientific training of basic education students. The research, employing both qualitative and quantitative approaches, involved 245 students from 7 schools during the 2024 and 2025 period. The results show that direct contact with minerals and rocks favors interest, scientific curiosity and understanding of geological concepts, highlighting the relevance of university spaces as complementary environments to school learning and the popularization of Geosciences.

Keywords. geosciences; education; science communication.

INTRODUÇÃO

As Geociências constituem uma área interdisciplinar do conhecimento que permeia diversas dimensões da vida cotidiana, influenciando diretamente as relações entre sociedade e natureza. Apesar disso, o conteúdo de Geociências ainda ocupa espaço reduzido no currículo da educação básica no Brasil (Carneiro et al., 2004; Compiani, 2005; Ernesto et al., 2018; Praia et al., 2007). Essa limitação pode estar relacionada ao fato de que os conteúdos geocientíficos são abordados de forma fragmentada, dispersa, por vezes desatualizada e com pouca ênfase em atividades práticas, o que dificulta a aprendizagem e a compreensão, por parte dos estudantes, da dinâmica dos processos que atuam no planeta e das consequências das ações antrópicas (King, 2008).

As dificuldades de aprendizagem dos conteúdos geocientíficos por parte dos estudantes podem estar relacionadas à cultura escolar na qual foram formados. Desde os anos iniciais da educação básica, muitos alunos são conduzidos a uma postura passiva diante do conhecimento, assumindo o papel de receptores de informações, característica que Freire (1987) denomina “concepção bancária de ensino”. Nesse modelo, prioriza-se a transmissão e a memorização de conteúdos em detrimento da problematização e da construção ativa do saber, processo que, segundo o autor, é fundamental para o desenvolvimento da consciência crítica e para a inserção dos educandos no mundo como sujeitos transformadores.

Diante desse cenário, as atividades didático-práticas constituem um dos pilares do processo de ensino e aprendizagem, especialmente no campo das Geociências. Nesse contexto, o contato direto com materiais naturais, como minerais e rochas, possibilita a construção concreta de conceitos que, quando apresentados apenas de forma expositiva, tendem a permanecer distantes da experiência cotidiana dos estudantes.

Nessa perspectiva, o Laboratório de Macroscopia (LAMAC) do Departamento de Geologia, do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde (CCENS), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) configura-se como espaço de divulgação de Geociências a partir de seu acervo de materiais geológicos naturais, como minerais e rochas, que é uma ferramenta amplamente utilizada e essencial para o ensino de Geociências. No LAMAC ocorrem aulas práticas do curso de graduação em Geologia, atividades de pesquisa, extensão e atendimento ao público externo, como escolas de ensino fundamental e ensino médio, por meio de visitas guiadas.

Desse modo, o LAMAC contribui para o processo de ensino-aprendizagem a partir da relação da teoria com a prática que deve ser indissociável e imprescindível no ensino, com o uso de estratégias educacionais favoráveis à compreensão dos significados e à sua integração para a vivência da prática (Bacci et al., 2023; Soares et al., 2015).

Neste trabalho são descritas experiências com estudantes do ensino médio e apresentadas propostas e sugestões de atividades que possam complementar o aprendizado prático de Geociências na educação básica, bem como promover a divulgação e popularização da ciência pela formação geocientífica de estudantes da educação básica.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo analisar as contribuições das atividades didático-práticas desenvolvidas no LAMAC da UFES para a formação geocientífica de estudantes da educação básica.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

EDUCAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS NA EDUCAÇÃO BÁSICA

O cenário atual do ensino de Geociências no currículo escolar brasileiro da educação básica ainda é insuficiente e não abrange o conteúdo geocientífico necessário para a formação de cidadãos socialmente e ambientalmente mais conscientes e atuantes para a preservação do planeta (Carneiro et al., 2004; Piranha & Carneiro, 2009).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é o documento normativo que orienta o currículo escolar de todas as escolas públicas e privadas, bem como define os conhecimentos, competências e habilidades que se espera que todos os estudantes desenvolvam ao longo da educação básica em todo o Brasil, conforme previsto na Lei nº 9.394/1996 - Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. A BNCC não prevê o ensino de Geociências como uma disciplina isolada no currículo da educação básica brasileira, no entanto, conteúdos geocientíficos estão presentes de forma integrada, tanto nos antigos Parâmetros Curriculares Nacionais quanto na própria BNCC, especialmente nos componentes curriculares de disciplinas como Ciências e Geografia (Brasil, 1997; 2018; Carneiro *et al.*, 2004; Hilario & Chagas, 2020; Vieira *et al.*, 2016).

APRENDIZAGEM PRÁTICA E EXPERIÊNCIA SENSORIAL

A manipulação e observação macroscópica de amostras geológicas favorecem o desenvolvimento de habilidades essenciais à formação geocientífica, como a descrição sistemática, a comparação de propriedades físicas, a formulação de hipóteses e a interpretação de processos naturais (Soares et al., 2015). Diferentemente do ensino exclusivamente teórico, a prática com materiais reais estimula a curiosidade, o envolvimento e o pensamento investigativo, elementos centrais para a alfabetização geocientífica. Além disso, o contato sensorial com a textura, densidade, brilho e dureza dos materiais naturais contribui para uma aprendizagem significativa, pois permite que o estudante relacione novos conhecimentos a experiências concretas.

É de suma importância que sejam promovidas e estimuladas metodologias de ensino-aprendizagem com atividades práticas no ensino de conteúdos de Geociências na educação básica, pois a aproximação efetiva dos estudantes com os materiais geológicos favorece a construção de saberes geocientíficos, que são essenciais para o entendimento dos desafios ambientais e das limitações de recursos naturais (Bacci, 2015; Bacci et al., 2023; Costa & Marques, 2021;).

O aprendizado e a formação geocientífica pode mudar o cenário inconsequente e predatório de exploração dos recursos naturais da Terra pelo ser humano, tendo em vista, que as atividades humanas dependem de recursos extraídos da natureza, tais como água, solo, metais, fertilizantes e outros, e que todas essas ações interferem no meio ambiente (Kuhn et al., 2016).

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo é uma pesquisa com abordagem qualitativa e quantitativa, de natureza descritiva, desenvolvida a partir de um estudo de caso acerca das atividades realizadas no LAMAC da UFES. A escolha pelo estudo de caso justifica-se por permitir a análise aprofundada de uma experiência educativa específica, considerando seu contexto, suas dinâmicas e suas contribuições formativas.

A pesquisa foi desenvolvida a partir dos dados coletados durante as atividades didático-práticas desenvolvidas por meio da observação, de registros descritivos das interações, de questionamentos dos estudantes durante as atividades e da aplicação de questionário ao final

das visitas guiadas no LAMAC aos estudantes de Ensino Médio nos períodos de 2024 e 2025. Nesses períodos, foram atendidas 7 escolas e no total foram recebidos 245 estudantes.

As visitas ocorreram mediante agendamento prévio das escolas, que se inscreveram pelo Programa Visita Guiada, no site da instituição e foram conduzidas pela coordenadora do laboratório, técnicos do laboratório e monitores vinculados ao curso de Geologia, e estruturadas em atividades didático-práticas orientadas.

Durante as visitas, as atividades foram organizadas em etapas e inicialmente foi feita uma breve apresentação do curso de Geologia da UFES, abordando sua estrutura, objetivos e a relevância do estudo geológico. Posteriormente, foram introduzidos conceitos básicos de geociências e de mineralogia, seguidos de uma atividade prática com a identificação dos principais minerais formadores de rocha e minerais de minério, com base em suas propriedades físicas e a correlação do uso desses materiais no dia a dia. Os mais utilizados no dia a dia da sociedade, com base em suas propriedades físicas.

A atividade prática intitulada “Desvendando os segredos dos objetos do dia a dia”, teve o intuito de relacionar minerais aos objetos do dia a dia mostrando sua importância na fabricação de diversos produtos. O objetivo dessa atividade foi despertar nos alunos, a compreensão sobre a relevância dos recursos geológicos, promovendo uma aprendizagem prática e reflexiva sobre o uso sustentável dos minerais e sua presença em nossa sociedade. Essa atividade foi elaborada inspirada na atividade Geoideias 313 do projeto Earth Learning Idea, e adaptada para o número de participantes e amostras disponíveis no laboratório.

As atividades Geoideias são elaboradas pelo projeto Earth Learning Idea, um projeto da Universidade de Keele em parceria com a UNICAMP, que elaboram e traduzem atividades práticas para o ensino de geociências. As atividades ficam disponíveis no site do Instituto de Geociências da UNICAMP e em Greco (2018). Os autores renunciam aos direitos autorais do conteúdo original contido nesta atividade se ela for utilizada em laboratório ou em sala de aula.

As atividades desenvolvidas com os estudantes no LAMAC priorizaram a aprendizagem investigativa e a interação direta com os materiais naturais, estimulando a observação sistemática e o pensamento crítico.

Os questionários aplicados aos estudantes, após a realização das visitas guiadas ao LAMAC, tiveram como objetivo avaliar o entendimento dos alunos acerca dos conteúdos abordados e obter insights sobre como o ensino de Geociências é abordado no ensino básico. Também se buscou compreender as percepções dos estudantes sobre a relevância das Geociências no seu cotidiano e formação escolar.

Os dados qualitativos foram analisados por meio de interpretação descritiva das experiências observadas, buscando identificar o envolvimento, a compreensão conceitual e o interesse geocientífico dos participantes. Os dados quantitativos, por sua vez, foram organizados e apresentados em termos de totais e percentuais relativos à participação, ao nível de compreensão dos conteúdos e ao interesse pelos temas abordados durante as atividades.

Em todas as etapas, foram assegurados os princípios éticos da pesquisa educacional, preservando-se a identidade dos participantes e utilizando-se os dados exclusivamente para fins acadêmicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de 2024 e 2025, o LAMAC da UFES recebeu sete escolas de educação básica e no total foram atendidos 245 estudantes do Ensino Médio. Estes dados evidenciam o interesse das escolas e dos estudantes na participação em atividades de ensino e aprendizagem com conteúdo geocientífico, e reforçam o papel da universidade como espaço de democratização do conhecimento científico. A recorrência de escolas da rede pública indica a importância das atividades do LAMAC como um recurso complementar ao currículo escolar, especialmente, em conteúdos práticos relacionados às Geociências.

O interesse observado nos estudantes durante a realização da atividade prática intitulada “Desvendando os segredos dos objetos do dia a dia” revelou um elevado nível de interesse. O contato e manuseio direto de minerais e rochas despertou interesse e curiosidade, principalmente, quando associado às explicações sobre o uso destes materiais no nosso dia a dia. Os questionamentos mais frequentes foram relacionados às características dos minerais, as diferenças entre minerais semelhantes, o local de ocorrência destes materiais e a forma como esses recursos minerais são aplicados nos objetos do nosso cotidiano.

A participação e o envolvimento dos estudantes nas atividades indicaram que a aprendizagem prática favorece a construção ativa do conhecimento, estimulando o pensamento investigativo e a formulação de hipóteses, que são aspectos fundamentais para a formação geocientífica (Praia et al., 2007).

Os dados coletados a partir das respostas dos estudantes ao questionário aplicado no final das visitas guiadas foram tratados e são apresentados nos gráficos das Figuras 1 e 2.

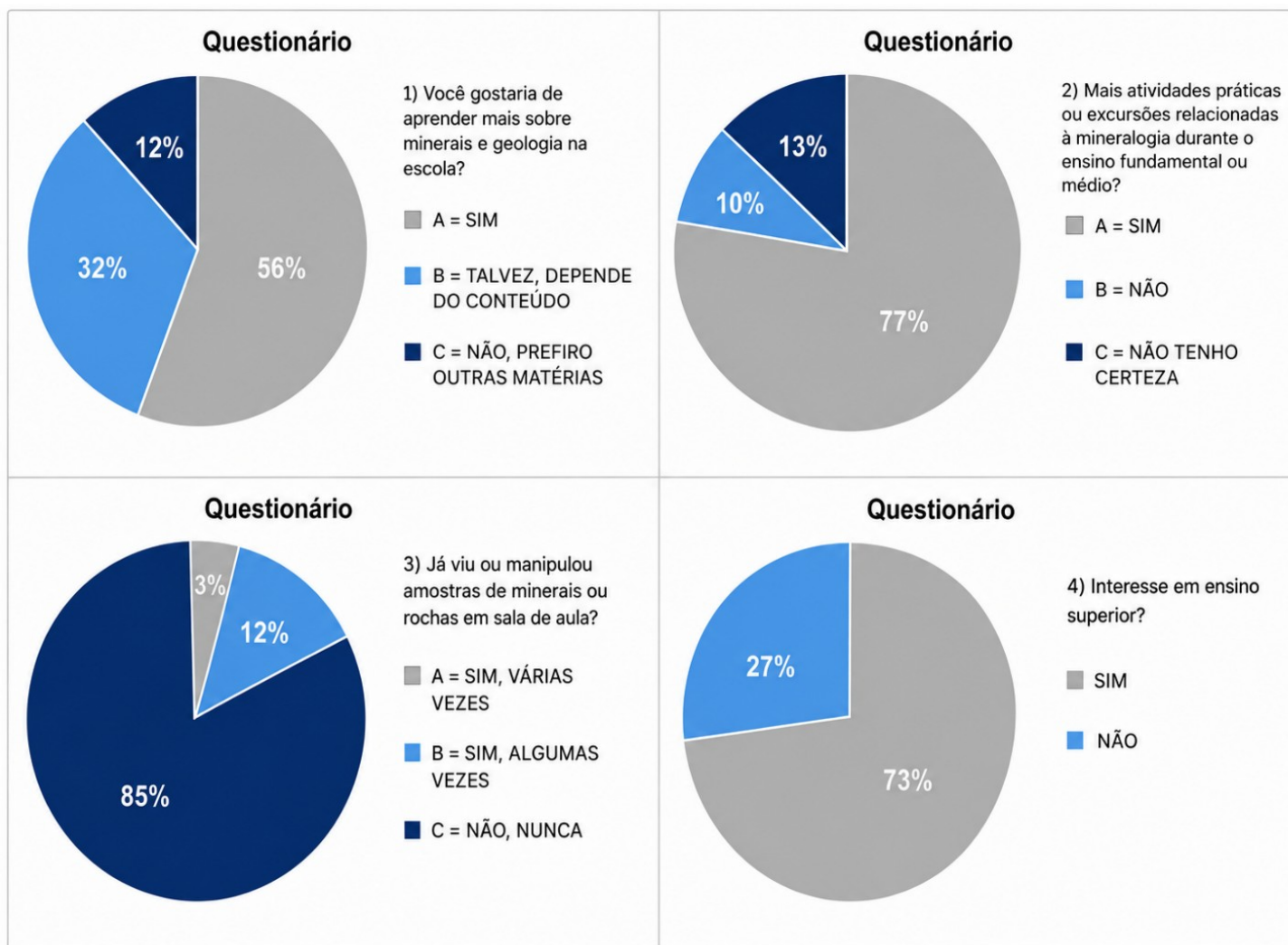


Figura 1. Gráficos representando as quatro primeiras perguntas do questionário aplicado aos alunos de ensino médio.

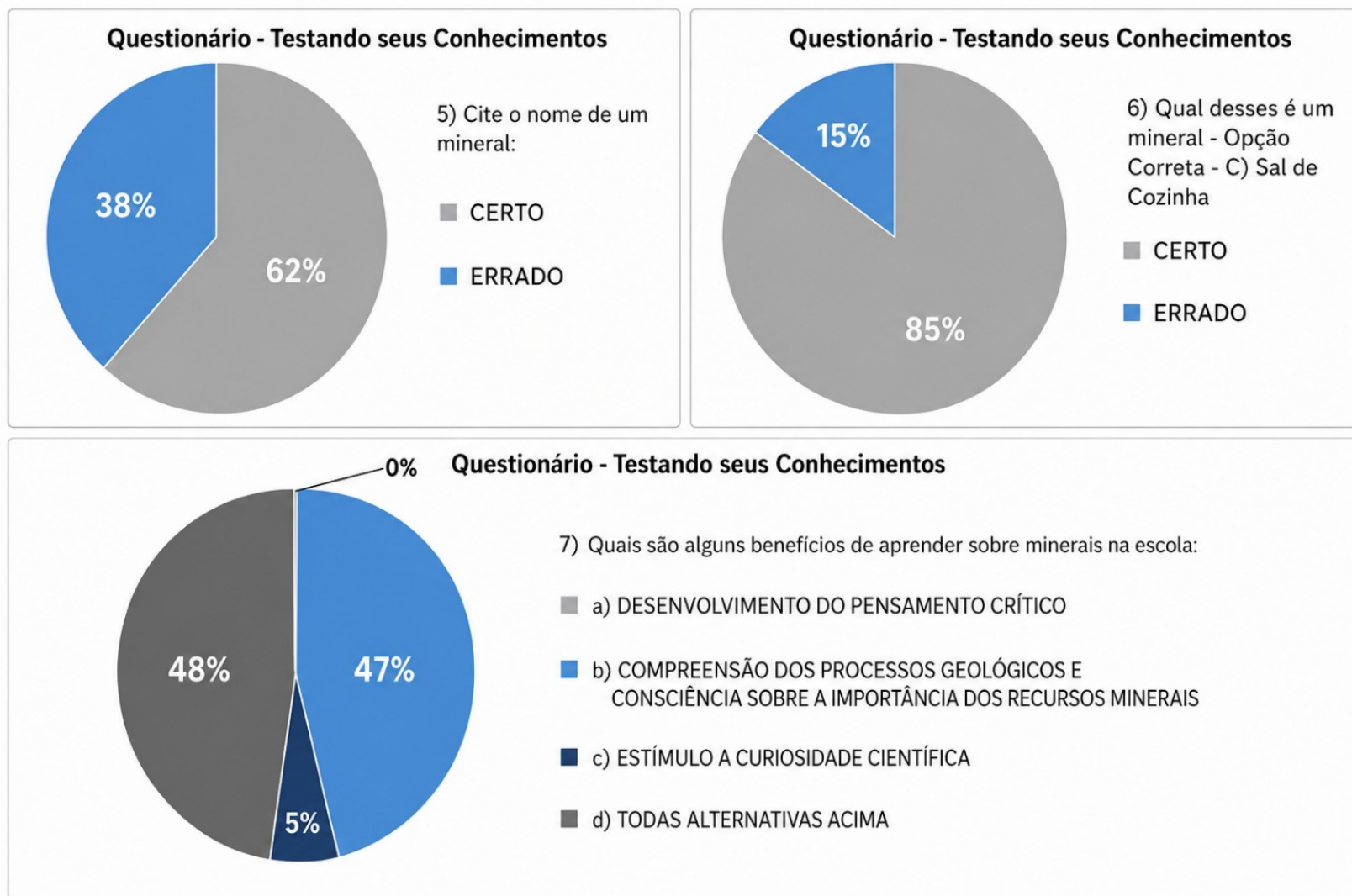


Figura 2. Gráficos referente as três últimas perguntas do questionário aplicado a alunos de ensino médio.

A análise dos dados do questionário trouxe informações sobre o interesse dos alunos e sua percepção em relação ao ensino de Geociências. O instrumento não apenas explora o conhecimento prévio dos estudantes, mas também busca entender como atividades práticas e o ensino de Geociências podem ser melhor integrados ao currículo escolar.

Quando perguntados sobre o interesse em aprender mais sobre minerais e geologia (Figura 1), 56% dos alunos expressaram desejo de aprofundar seus conhecimentos, enquanto 32% afirmaram que talvez, dependendo do conteúdo, e apenas 12% demonstraram preferência por outras matérias. Esses dados sugerem a importância de abordar conteúdos de Geociências de maneira envolvente e conectada a temas de interesse dos estudantes. Despertar a curiosidade por minerais, que são fundamentais para o entendimento das Geociências, pode aumentar o interesse pelos processos geológicos mais amplos.

Entretanto, a falta de atividades práticas nas escolas ficou evidente, onde 77% dos alunos relataram nunca terem participado de atividades práticas ou excursões relacionadas à temas de Geociências e mineralogia durante o ensino fundamental ou médio, enquanto 13% tiveram essa oportunidade e 10% não tinham certeza (Figura 1). Isso destaca a necessidade de reformular o ensino de Geociências no ensino básico, proporcionando mais experiências laboratoriais e em campo, que consolidem o aprendizado teórico e aumentem o envolvimento com as Geociências.

Sobre a manipulação de amostras de minerais ou rochas, 85% dos alunos relataram nunca terem tido essa experiência, com apenas 12% tendo feito isso algumas vezes e 3% várias vezes (Figura 1). A falta de contato direto com amostras reais reforça a importância de atividades que permitam aos estudantes entenderem melhor as propriedades dos minerais, como densidade, cor, brilho, hábito, clivagem e dureza, essenciais para sua identificação e estudo.

O interesse em seguir para o ensino superior também foi destacado, com 73% dos alunos demonstrando interesse, enquanto 27% não tinham intenção de seguir nessa direção (Figura 1). Esses números indicam que, com um ensino mais dinâmico e envolvente, há potencial para motivar um público considerável a seguir carreiras relacionadas às Geociências.

Em termos de conhecimento específico, os resultados indicam desafios. Na questão 5, 62% dos alunos conseguiram citar corretamente o nome de um mineral, enquanto 38% não souberam responder (Figura 2). Isso revela que, ainda há uma lacuna significativa no conhecimento específico, refletindo a falta de profundidade no ensino escolar. A questão 6, que pedia a identificação de um mineral (Figura 2), teve 85% de respostas corretas, sugerindo que

a maioria dos alunos reconhece minerais comuns, como o sal de cozinha, mas carece de uma compreensão mais ampla sobre outros minerais e suas características.

Por fim, a pergunta 7 (Figura 2) mostrou que 0% dos alunos reconhecem o desenvolvimento do pensamento crítico como um dos principais benefícios de aprender sobre minerais, 47% destacaram a compreensão dos processos geológicos e a conscientização sobre a importância dos recursos minerais, enquanto 48% responderam todas as alternativas. Apenas 5% indicaram o estímulo à curiosidade científica como o maior benefício.

Os resultados sugerem que os alunos veem o ensino de Geociências e mineralogia como algo que contribui para sua formação crítica e cidadã, oferecendo ferramentas para compreender o mundo natural e os recursos que utilizamos diariamente.

Além disso, esses resultados indicam que a aprendizagem prática, mediada pela observação e manipulação de materiais naturais, constitui estratégia eficaz para a formação geocientífica na educação básica. A experiência no LAMAC favoreceu o desenvolvimento da curiosidade científica, da observação sistemática e da compreensão de processos naturais.

A atividade e o questionário realizados visaram mostrar aos alunos a relevância dos minerais no cotidiano e sua importância na fabricação de produtos essenciais. Com uma abordagem prática e visual, os alunos foram estimulados a refletir sobre a extração e o uso dos minerais, promovendo tanto o desenvolvimento do pensamento crítico quanto a valorização dos recursos naturais e o uso sustentável dos mesmos.

O estudo de caso evidencia que espaços não formais de aprendizagem, como laboratórios universitários, complementam o ensino escolar ao proporcionar experiências que dificilmente seriam realizadas apenas em sala de aula. Nesse sentido, a geoeeducação prática contribui para aproximar estudantes as Geociências, ampliando sua compreensão sobre o funcionamento do planeta e sua relação com a sociedade.

Portanto, o ensino de geociências deve ir além da simples memorização de conceitos, incentivando o pensamento crítico, a aplicação prática e a conscientização sobre os recursos naturais (Bacci, 2015; Bacci *et al.*, 2023; Ernesto *et al.*, 2018).

CONCLUSÕES

As atividades práticas desenvolvidas com alunos do Ensino Médio evidenciaram a eficácia de abordagens interativas para o ensino de Geociências. A identificação de minerais

com base em suas propriedades físicas, proporcionou uma experiência participativa e sensorial, promovendo uma compreensão mais profunda dos conteúdos teóricos.

O LAMAC, por meio de seu acervo de minerais e rochas, e das atividades didático-práticas que realiza, desempenha um papel relevante para a educação em Geociências e para a divulgação da ciência entre o público em geral.

As atividades práticas realizadas no LAMAC com os estudantes do Ensino Médio mostraram-se um recurso importante para a formação geocientífica dos alunos do ensino básico. O ensino a partir de atividades práticas e interativas proporcionou maior envolvimento por parte dos estudantes, o que contribuiu para o melhor entendimento de temas ligados as Geociências e a importância das rochas e minerais no nosso dia a dia.

A experiência sensorial e a observação macroscópica contribuíram para transformar conceitos teóricos em evidências concretas, fortalecendo a aprendizagem significativa. A interação com amostras durante as atividades permitiu que os estudantes relacionassem o conteúdo científico à realidade material do planeta, contribuindo para ampliar sua percepção sobre a importância das Geociências.

Iniciativas como essas são essenciais para o fortalecimento da relação entre a universidade e a sociedade, promovendo a democratização do conhecimento geocientífico e uma cultura científica mais inclusiva e acessível.

Além disso, o contato com o ambiente universitário desperta o interesse dos estudantes para a continuidade dos estudos. Há relato de alunos no curso de geologia da UFES que participaram das visitas guiadas e depois ingressaram na UFES. Isso reforça a importância de atividades que promovam o contato dos estudantes do ensino básico, especialmente das escolas públicas, com a universidade pública, como forma de fomentar o acesso ao ensino superior dos estudantes do ensino público.

REFERÊNCIAS

Bacci, D. L. C., Silva, D. G., & Rocha, C. H. P. (2023). Atividades educativas e recursos didáticos em Geociências no Ensino Fundamental 1. In: C. D. R. Carneiro (Eds.). *Explorando a Terra na Educação Básica* (pp. 127-150).

Bacci, D. L. C. (2015). Ensino de Geociências no contexto escolar - múltiplas relações com a educação ambiental. In: D. L. C. Bacci (Eds.). *Geociências e Educação Ambiental* (pp. 129-151).

Brasil. (2018). Base Nacional Comum Curricular. Disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf.

_____. (1997). Parâmetros curriculares nacionais: Ciências Naturais. Brasília: MEC. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro04.pdf>.

- Carneiro, C. D. R., Toledo, M. C. M., & Almeida, F. F. M. (2004). Dez motivos para a inclusão de temas de Geologia na Educação Básica. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(4), 553-560.
- Compiani, M. (2005). Geologia/Geociências no Ensino Fundamental e a Formação de Professores. *Geologia USP. Publicação Especial*, 3[...],13-30.
- Costa, F. C., & Marques, R. A. (2021). A importância das ações de extensão para a divulgação das Geociências. *Terra e Didática*, 7[...], 1-9.
- Ernesto, M., et al. (2018). Perspectivas do ensino de Geociências. *Estudos Avançados*. 32(94), 331-343.
- Freire, P. (1987). *Pedagogia do oprimido* (17th ed.). Paz e Terra.
- Greco, R. (2018). *Práticas de geociências na educação básica: sugestões de atividades práticas para o ensino de conteúdos de geociências na educação básica*. Frieden Editora.
- Hilario, T. W., Chagas, H. W. K. R. S. (2020). O Ensino de Ciências no Ensino Fundamental: dos PCNs à BNCC. *Brazilian Journal of Development*, 6(9), 65687-65695.
- King, C. (2008). Geoscience education: an overview. *Studies in Science Education*, 44(2), 187- 222.
- Kuhn, C. E. S., Pereira, G. G., Moreira, R. M. (2016). Educação em geociências, desenvolvimento sustentável e mineração. *Revista Corixo de Extensão Universitária*, 5,44-57.
- Negreiros, A. R. A; Reis, D. A. (2024). As Geociências na Base Nacional Comum Curricular. *Geoconexões*. 3(20), 252-278.
- Piranha, J. M., Carneiro, C. D. R. (2009). O ensino de geologia como instrumento formador de uma cultura de sustentabilidade. *Revista Brasileira de Geociências*, 39(1), 129-137.
- Praia, J., Gil-Pérez, D., Vilches, A. (2007). O Papel da Natureza da Ciência na Educação para a Cidadania. *Ciência & Educação*, 13(2), 141-156.
- Soares, R. G. S., et al. (2015). Oficinas de geociências como estratégia de educação ambiental em escolas da rede municipal de São Carlos (SP). *Revbea*, 10(2), 204-227.
- Vieira, T. C., Velloso, A., Rodrigues, A. P. C. (2016). Estudo de caso sobre ensino de Geociências em uma turma de ensino fundamental da rede privada de Duque de Caxias, RJ. *Terra e Didática*, 12(3), 153-162.

