



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**Estratigrafia de um tabuleiro costeiro na região Sul do**  
**Espírito Santo**

**Lethicia Carlos da Silva Ferreira**

**Trabalho de Conclusão de Curso**  
**(Geologia)**

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2020



UFRJ

**Lethicia Carlos da Silva Ferreira**

**Estratigrafia de um tabuleiro costeiro na Região Sul do Espírito Santo**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Prof. Dr. Claudio Limeira Mello  
(Depto. Geologia, IGEO/UFRJ)

Prof. Dr. Fabio Soares de Oliveira  
(Depto. Geografia, IGC/UFMG)

MSc. Daniel Carvalho West  
(IGEO/UFRJ)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2020

C383e Carlos da Silva Ferreira, Lethicia  
Estratigrafia de um tabuleiro costeiro na Região  
Sul do Espírito Santo / Lethicia Carlos da Silva  
Ferreira. -- Rio de Janeiro, 2020.  
54 f.

Orientador: Claudio Limeira Mello.  
Coorientadores: Fábio Soares de Oliveira  
e Daniel Carvalho West.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto  
de Geociências, Geologia, 2020.

1. Formação Barreiras. 2. Tabuleiros Costeiros.  
3. Ferruginização. I. Limeira Mello, Claudio, orient.  
II. Soares de Oliveira, Fábio, coorient. III. Carvalho West,  
Daniel, coorient. IV. Título.

**Lethicia Carlos da Silva Ferreira**

**Estratigrafia de um tabuleiro costeiro na Região Sul do Espírito Santo**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Prof. Dr. Claudio Limeira Mello  
(Depto. Geologia, IGEO/UFRJ)

Prof. Dr. Fabio Soares de Oliveira  
(Depto. Geografia, IGC/UFMG)

MSc. Daniel Carvalho West  
(IGEO/UFRJ)

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Por:

---

Orientador: Claudio Limeira Mello (IGEO/UFRJ)

---

Claudio Gerheim Porto (IGEO/UFRJ)

---

Rute Maria Oliveira de Moraes (PETROBRAS)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2020

Aos que lutam por  
uma educação pública,  
gratuita e de qualidade.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IGEO-UFRJ), pela infraestrutura que possibilitou o desenvolvimento de todo o trabalho. Agradeço especialmente aos motoristas Eduardo dos Santos Carvalho e Jorge Ignacio que nos acompanharam durante os trabalhos de campo e ao técnico Tarcísio Raimundo de Abreu pela confecção das lâminas petrográficas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de iniciação científica a partir do sexto período até o último.

Aos professores do Departamento de Geologia UFRJ, por todos os ensinamentos durante os anos de graduação.

Ao orientador Claudio Limeira Mello, pela arte da didática e o dom de ensinar, pela imensa dedicação e por ser um espelho no mundo científico. Ao Fábio Soares de Oliveira, por aprofundar as discussões do presente estudo e compartilhar novos conhecimentos. Ao Daniel Carvalho West, por toda ajuda e disponibilidade desde meu primeiro trabalho científico.

Aos companheiros do Cenozoico, pela união, amizade e ótimas discussões geológicas, fundamentais para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos companheiros do Diretório Acadêmico Joel Valença, por acreditarem na força do movimento estudantil. Aos amigos de graduação, por todo carinho e crescimento geológico conjunto.

À família e aos amigos de infância, por todo amor, confiança e incentivo.

## RESUMO

Ferreira, Lethicia Carlos da Silva. **Estratigrafia de um tabuleiro costeiro na Região Sul do Espírito Santo**. 2020, 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) - Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Formação Barreiras é uma unidade litoestratigráfica de idade miocênica presente ao longo do litoral brasileiro desde o norte do Rio de Janeiro até o Amapá, associando-se a uma morfologia de tabuleiros costeiros. Devido a sua ampla distribuição geográfica, a unidade é considerada um importante marco estratigráfico do Cenozoico do Brasil. Na região sul do Espírito Santo, a Formação Barreiras é litologicamente composta por intervalos de arenitos, predominantes, com geometria tabular, estratificados ou maciços (nesse caso em decorrência de modificações pós-deposicionais), apresentando níveis conglomeráticos e intercalados por intervalos de lutitos maciços, laminados ou bioturbados, em geral pouco espessos. Uma característica marcante dos depósitos da Formação Barreiras, também evidente na região em estudo, é apresentarem-se muito ferruginizados. Na porção superior dos tabuleiros costeiros, verifica-se comumente uma cobertura areno-argilosa de coloração amarelada, denominada genericamente como “depósitos pós-Barreiras”, tratada na literatura tanto como uma nova unidade estratigráfica quanto como produto de processos pedogenéticos. Um aspecto importante para essa discussão é justamente a presença frequente de um nível ferruginoso desenvolvido no contato entre os depósitos da Formação Barreiras e os materiais “pós-Barreiras”. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo realizar a caracterização estratigráfica dos tabuleiros costeiros na região sul do Espírito Santo, discutindo particularmente a relação entre os depósitos da Formação Barreiras e a cobertura “pós-Barreiras”. Busca-se, também, a descrição, caracterização e interpretação estratigráfica dos aspectos da ferruginização dos depósitos da Formação Barreiras. Para a realização do estudo foi selecionado um afloramento exposto em uma falésia ao sul da cidade de Marataízes. A metodologia adotada envolve o levantamento de perfil sedimentológico, na escala 1:20, incluindo a descrição dos depósitos da Formação Barreiras e dos materiais de cobertura, com especial atenção aos níveis de couraça ferruginosa; e a coleta de amostras, em cada nível de ferruginização, para a realização de análises petrográficas. O perfil elaborado totalizou 25 metros, abrangendo toda a espessura de sedimentos expostos na falésia analisada. Os depósitos da Formação Barreiras nesse afloramento são caracterizados por intervalos areníticos predominantes, intercalados por intervalos lutíticos com espessuras variadas. O contato com a cobertura “pós-Barreiras” é marcado por uma couraça laterítica fragmentada de espessura decimétrica. A origem da cobertura “pós-Barreiras” nesse afloramento é relacionada à evolução pedogenética do perfil. Foram identificados outros dois níveis de ferruginização: um na base da falésia, em camadas de arenitos médios a grossos, associando-se a feições de morfologia colunar; e um na parte intermediária, correspondendo a couraças de óxidos/hidróxidos de ferro desenvolvidas no contato entre camadas areníticas e lutíticas, sugerindo uma relação com as diferenças de permeabilidade entre as litologias.

Palavras-chave: Formação Barreiras; Tabuleiros costeiros; Ferruginização.

## ABSTRACT

Ferreira, Lethicia Carlos da Silva. **Stratigraphy of the coastal tablelands in the Southern Espírito Santo State**. 2020, 53 p. Final Coursework (Geology) - Department of Geology, Institute of Geosciences, Federal University of Rio de Janeiro.

The Barreiras Formation is a Miocene lithostratigraphic unit present along the Brazilian coast from the north of Rio de Janeiro (Southeastern of Brazil) to Amapá (Northern of Brazil), associated with coastal tablelands. Due to its wide geographical distribution, the unit is considered an important stratigraphic marker of the Cenozoic of Brazil. In the southern of Espírito Santo State, the Barreiras Formation is lithologically composed of intervals of sandstones, which are predominant, with tabular geometry, stratified or massive (in this case due to post-depositional modifications), presenting conglomeratic levels and interbedded with usually thin intervals of massive, laminated or bioturbated lutites. A striking feature of the Barreiras Formation deposits, which is also evident in the study area, is that they are very ferruginized. In the upper portion of the coastal tablelands, a yellowish sandy clayey cover is commonly found, generically referred to as “post-Barreiras deposits”. This material is treated in the literature both as a new stratigraphic unit and as a product of pedogenetic processes. An important aspect for this discussion is the frequent occurrence of a Fe duricrust at the contact between the Barreiras Formation deposits and the “post-Barreiras” cover. In this context, the present study aims to carry out a stratigraphic characterization of the coastal tablelands in the southern region of Espírito Santo State, discussing particularly the relationship between Barreiras Formation deposits and “post-Barreiras” cover. Also the study searches to the stratigraphic description, characterization and interpretation of the ferruginization aspects of the Barreiras Formation deposits. An outcrop exposed on a cliff south of the city of Marataízes was selected for the study development. The methodological steps involves the survey of a sedimentological profile (1:20 scale), including facies characterization of the Barreiras Formation deposits and sedimentologic and pedologic characterization of the covering materials, with special attention to the Fe duricrust levels. It was collected samples of each level of duricrust to petrographic analyzes. The sedimentological profile totalized 25 meters, covering the entire thickness of sediments exposed on the studied cliff. The Barreiras Formation deposits on this outcrop are characterized by sandstone intervals, which are predominant, interbedded by lutitic intervals with varying thickness. The contact with the “post-Barreiras” cover is marked by a decimetric fragmented lateritic duricrust. This cover in the studied outcrop is interpreted as a product of the pedogenetic evolution of the profile. Two other levels of ferruginization were identified: one at the base of the cliff, in layers of medium to coarse sandstones, associated with columnar duricrusts; and one in the middle portion of the profile, corresponding to a Fe duricrust developed at the contact between sandstone and lutitic layers, suggesting a relationship with the permeability differences between the lithologies.

Keywords: Barreiras Formation; Coastal Tablelands; Ferruginization.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição da Formação Barreiras na costa brasileira, do Rio de Janeiro ao Amapá (West, 2019).....	1
Figura 2 - Falésia com exposição da Formação Barreiras a sul de Marataízes, na região sul do estado do Espírito Santo, destacando a cobertura “pós-Barreiras”, de coloração amarelada, na porção superior dos tabuleiros. Notar horizonte de ferruginização na base da cobertura pós-Barreiras. ....	4
Figura 3 – Localização da área de estudo, com a indicação das principais cidades e vias de acesso. Base cartográfica: modelo digital de elevação do Serviço Geodésico Nacional do Serviço Geológico dos Estados Unidos (NOAA/USGS) disponível no <i>ESRI ArcMap 10.1</i> <sup>®</sup> . ....	6
Figura 4 – Reconstituição da colagem do Gondwana mostrando a distribuição dos orógenos brasileiros pan-africanos e os principais crátons associados há 560 Ma (Bizzi <i>et al.</i> , 2003). Antigos blocos cratônicos do Gondwana Ocidental e possíveis terrenos periféricos: M – Província Mantiqueira; T – Província Tocantins; B – Província Borborema; P – Orógeno Pampeano; D – Cinturão Damara; G – Cinturão Gariep; K – Cinturão Karoo; L – Arco Lufiliano; LH – Baía Lützow–Holm; MD – Madagascar; Y – Montanhas Yamato; R – Orógeno Ross; S – Cinturão Saldania; SH – Cadeia Shackleton; SL – Sri Lanka; SR – Montanhas Sor Rondane; Z – Cinturão Zambesi. Outras feições: EM – Montanhas Elisworth–Whitmore; QML – Terra Queen Maud. Crátons: SF – São Francisco; AM – Amazonas; RP – Rio de La Plata/Paraná; KA – Kalahari; CO – Congo; WA – África Ocidental.....	7
Figura 5 – Mapa geológico da região sul do Espírito Santo, abrangendo a área deste estudo, com base na Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo de Bizzi <i>et al.</i> (2003). ....	10
Figura 6 – Coluna estratigráfica da bacia de Campos (Winter <i>et al.</i> , 2007). ....	12
Figura 7 – Falésia com exposição dos depósitos da Formação Barreiras ao sul de Marataízes, na região sul do estado do Espírito Santo, destacando-se a tabularidade das camadas e a intensa ferruginização na base.....	14
Figura 8: Mapa de unidades geomorfológicas da área de estudo, com base em Silva & Machado (2014), sobre modelo de relevo sombreado elaborado a partir do MDE produzido pelo IEMA-ES. ....	16
Figura 9 – Perfis topográficos elaborados por Ribeiro (2010) na principal área de ocorrência da Formação Barreiras na região sul do Espírito Santo. A geometria formada a partir dos padrões de grábens e horstes indica um controle neotectônico na distribuição e comportamento dos blocos. ....	21
Figura 10 - Modelo proposto por West (2019) para a estruturação dos terrenos da Formação Barreiras no sul do Espírito Santo, associada a um padrão de blocos altos e baixos controlados por falhas normais NE-SW e NW-SE. ....	22
Figura 11 – Fluxograma das atividades de trabalho desenvolvidas no presente estudo.....	23

Figura 12 – Localização da Seção Lagoa Caculucaje sobre a fusão de ortofotos com o modelo digital de elevação. ....	25
Figura 13: Seção Lagoa Caculucaje. A) Perfil sedimentológico; B) principais níveis ferruginosos identificados. ....	28
Figura 14 – Fácies Ab (arenito bioturbado). Fotografia obtida na porção média da Seção Lagoa Caculucaje.....	29
Figura 15 – Fácies Am (arenito maciço ou sem estrutura aparente), com intensa ferruginização por óxido de ferro. Fotografia obtida na base da Seção Lagoa Caculucaje.....	30
Figura 16 – Fácies Lb (lutito bioturbado). Fotografia obtida na porção intermediária da Seção Lagoa Caculucaje.....	31
Figura 17 – Couraça ferruginosa com morfologia colunar presente nos arenitos situados na base da Seção Lagoa Caculucaje.....	32
Figura 18 – A) Feições cavernosas presentes no nível ferruginoso basal; B) aspecto do processo de argilização do material.....	33
Figura 19 – Feições tubulares associadas à cimentação de raízes por óxidos de ferro, superpostas à couraça de morfologia colunar, indicando fases distintas de cimentação ferruginosa. ....	34
Figura 20 – A) Amostra de mão utilizada para a caracterização macroscópica do nível ferruginoso basal; B) em detalhe, feições circulares associadas à ferruginização.....	35
Figura 21 – A) Intensa cimentação por óxidos/hidróxidos de ferro, com a formação de concreção ferruginosa (no centro da foto); B) detalhe da concreção ferruginosa citada em A; C) detalhe da micromassa salpicada por pontos vermelho-escuros. ....	37
Figura 22 – Variação na cimentação por óxidos de ferro (maior à direita), relacionada a um processo de deferruginização. ....	38
Figura 23 – Reprecipitação de óxidos de ferro em feições circulares. ....	39
Figura 24 – Aspecto da reprecipitação do ferro a partir de um padrão circular e concêntrico, identificado nas feições tubulares. ....	39
Figura 25 – Couraça ferruginosa de morfologia placoidal desenvolvida na porção intermediária da Seção Lagoa Caculucaje. ....	40
Figura 26 – Amostras de mão utilizadas para a caracterização macroscópica do nível ferruginoso intermediário: A) couraça desenvolvida em lutito; B) couraça desenvolvida em arenito. ....	41
Figura 27 – Aspectos microscópicos distintos da cimentação ferruginosa no contato de camada de arenito (abaixo) e lutito (acima) no nível intermediário de couraça na Seção Lagoa Caculucaje.....	42
Figura 28 – Aspecto lamelar da ferruginização no nível intermediário de couraça na Seção Lagoa Caculucaje.....	42

Figura 29 – Couraça ferruginosa de morfologia nodular presente na porção superior da Seção Lagoa Caculucaje, no limite basal da cobertura “pós-Barreiras” .....	43
Figura 30 – Amostra de mão utilizada para a caracterização macroscópica do nível ferruginoso superior. ....	44
Figura 31 – Grãos de areia cimentados por óxidos/hidróxidos de ferro. ....	44
Figura 32 – Perfil pedológico elaborado na Seção Lagoa Caculucaje, contendo os horizontes C, CB, BC, Bw e Ap. Destaque para a couraça ferruginosa ..... desenvolvida no topo do horizonte C (limite basal da cobertura “pós-Barreiras”). .....	46
Figura 33 – Relação dos componentes presentes no perfil Seção Lagoa Caculucaje com o perfil laterítico típico proposto por Aleva (1994). ....	47
Figura 34 – Horizonte C do perfil pedológico elaborado na Seção Lagoa Caculucaje, apresentando diversos nódulos ferruginosos dispersos e topo marcado pela couraça fragmentada. ....	47
Figura 35 – Horizonte transicional CB, marcado pela coloração avermelhada-alaranjada. ....	48
Figura 36 – Nódulos ferruginosos observados no horizonte BC. ....	48

### LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Atributos utilizados para a caracterização macroscópica dos níveis ferruginosos, conforme Aleva (1994). ....	26
---	----

## SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVO.....	5
3. ÁREA DE ESTUDO.....	6
3.1. Geologia Regional.....	7
3.1.1. TERRENOS NEOPROTEROZOICOS.....	8
3.1.2. TERRENOS EOPALEOZOICOS .....	9
3.1.3. EVOLUÇÃO MESOZOICA-CENOZOICA .....	11
3.1.3.1. Formação Barreiras.....	13
3.1.3.2. Sedimentação Quaternária.....	14
3.2. Geomorfologia.....	15
3.3. Neotectônica .....	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
5. RESULTADOS .....	27
5.1. Fácies Sedimentares .....	29
5.2. Níveis ferruginosos .....	32
5.2.1. NÍVEL BASAL.....	32
5.2.2. NÍVEL INTERMEDIÁRIO .....	40
5.2.3. NÍVEL SUPERIOR.....	43
5.3. Perfil Pedológico .....	45
6. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50

## 1. INTRODUÇÃO

O relevo de tabuleiros costeiros está presente ao longo de uma extensa área do litoral brasileiro, desde o norte do Rio de Janeiro até o Amapá. Essa feição geomorfológica está associada aos depósitos da Formação Barreiras (Figura 1), unidade litoestratigráfica terrígena de idade miocênica que, devido a sua ampla distribuição geográfica, é considerada um importante marco estratigráfico e geomorfológico do Cenozoico no Brasil. Na região sudeste, os depósitos da Formação Barreiras ocorrem desde Armação dos Búzios, no estado do Rio de Janeiro, até o norte do estado do Espírito Santo.

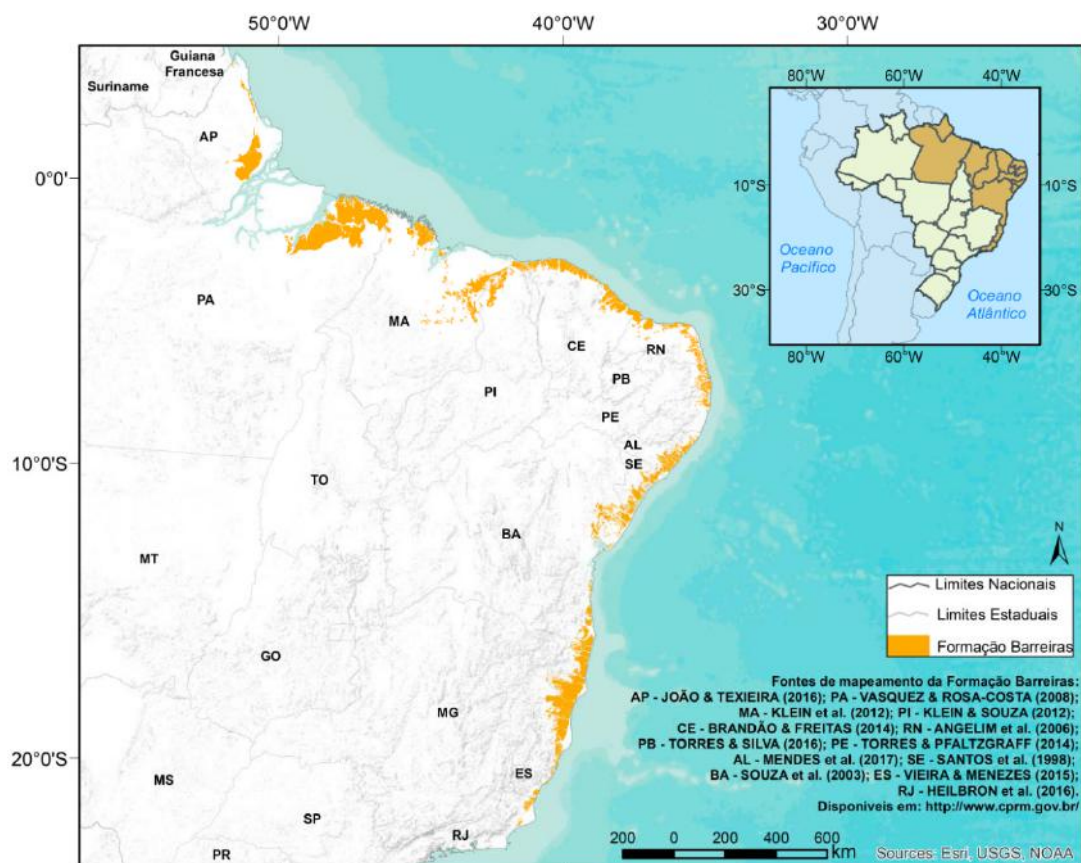


Figura 1 – Distribuição da Formação Barreiras na costa brasileira, do Rio de Janeiro ao Amapá (West, 2019).

Ao longo de toda a sua área de abrangência, a Formação Barreiras vem sendo estudada por diferentes pesquisadores, que discutem, entre outros aspectos, a sua distribuição e seus limites com as unidades geológicas adjacentes, seus ambientes de sedimentação, idade e a relação com a tectônica cenozoica.

A Formação Barreiras é constituída, predominantemente, de arenitos quartzosos, com matriz caulínica (decorrente da alteração de feldspatos), ora maciços, ora com estratificações, intercalados por lamitos. Os depósitos dessa unidade são bastante ferruginizados, apresentando cores variadas (de esbranquiçado/amarelado a diversos tons de vermelho, roxo e alaranjado). Essa ferruginização, quando muito intensa, promove o desenvolvimento de couraças ferruginosas.

De acordo com estudos realizados por Lima (2008) no litoral do Ceará e do Rio Grande do Norte, as rochas sedimentares da Formação Barreiras apresentam idades do Mioceno, com base na datação pelos métodos (U-Th)/He e  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de óxidos e hidróxidos de ferro e manganês detríticos e autigênicos. Os resultados de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  mostraram que os sedimentos da Formação Barreiras nas áreas estudadas já estavam depositados e sendo intemperizados há  $13,6 \pm 1,4$  Ma, com uma fase de formação de óxidos de manganês supergênicos que se estendeu até  $7,7 \pm 0,4$  Ma. Os resultados de (U-Th)/He revelaram que os sedimentos já estavam depositados há  $17,8 \pm 1,8$  Ma, com uma fase de ferruginização que se estendeu até  $7,5 \pm 0,8$  Ma, consistente com os resultados de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ . A mais antiga dessas idades (cerca de 18 Ma) fornece um limite mínimo para a deposição da Formação Barreiras. Já a datação de pisólitos detríticos forneceu idades (U-Th)/He entre

43,2 ± 4,3 e 21,6 ± 2,2 Ma. A mais jovem dessas idades fornece um limite máximo para a deposição da Formação Barreiras.

Quanto à interpretação paleoambiental da Formação Barreiras, desde os estudos iniciais tem sido admitida uma origem continental, destacando-se os trabalhos de: Bigarella & Andrade (1964); Mabesoone *et al.* (1972); Amador & Dias (1978); Amador (1982); Suguio & Nogueira (1999); Alheiros & Lima Filho (1991); Morais *et al.* (2005); Lima *et al.* (2006); Morais (2007); Brêda (2012); Alves (2016); West (2019). Entretanto, estudos mais recentes realizados nas regiões Norte e Nordeste apontam uma influência significativa de processos costeiros (Arai, 2006; Rossetti, 2005; Rossetti & Dominguez, 2011).

Na porção superior dos tabuleiros da Formação Barreiras, verifica-se comumente uma cobertura areno-argilosa de coloração amarelada, denominada genericamente como “depósitos pós-Barreiras” (Figura 2). Essa cobertura é tratada na literatura tanto como uma nova unidade estratigráfica (Rossetti *et al.*, 2011) quanto como produto de processos pedogenéticos (Lima, 2008). Um aspecto importante para essa discussão é a presença frequente de um nível ferruginoso desenvolvido no contato entre os depósitos da Formação Barreiras e os materiais “pós-Barreiras”. Rossetti *et al.* (2011), em estudos no Nordeste do Brasil, relacionaram essa couraça ferruginosa a uma discordância estratigráfica regional atribuída à queda do nível do mar durante o Tortoniano (uma idade do Mioceno final).



Figura 2 - Falésia com exposição da Formação Barreiras a sul de Marataízes, na região sul do estado do Espírito Santo, destacando a cobertura “pós-Barreiras”, de coloração amarelada, na porção superior dos tabuleiros. Notar horizonte de ferruginização na base da cobertura pós-Barreiras.

Trabalhos desenvolvidos por Morais (2001) e Brêda (2012), no litoral norte do Rio de Janeiro, e Morais (2007), Alves (2016) e West (2019) na região sul do Espírito Santo descrevem litologicamente a Formação Barreiras como constituída por arenitos, com níveis conglomeráticos, estratificações cruzadas e geometrias de canal, e intervalos de lamitos intercalados. Morais (2007) analisou também a parte icnológica, identificando icnogêneros compatíveis com ambiente continental. Assim, tais autores interpretam a unidade como de origem continental, relacionando seus depósitos a um ambiente fluvial entrelaçado, localmente com contribuições de fluxos gravitacionais. Os trabalhos realizados nessa região não se aprofundaram nas discussões sobre a ferruginização e a relação estratigráfica entre a Formação Barreiras e a cobertura “pós-Barreiras”.



## **2. OBJETIVO**

O presente estudo tem como objetivo a análise estratigráfica de um tabuleiro costeiro, na região sul do Espírito Santo, abrangendo a descrição faciológica e a caracterização dos aspectos associados à ferruginização, como base para a discussão dos mecanismos deposicionais e da evolução diagenética/pedológica. De modo particular, buscou-se discutir a relação entre os depósitos da Formação Barreiras e a cobertura “pós-Barreiras”.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se na principal ocorrência dos tabuleiros da Formação Barreiras da região sul do Espírito Santo, ao sul da cidade de Marataízes (Figura 3). Foi selecionado para o estudo um afloramento localizado na Praia das Falésias (Seção Lagoa Caculucaje), com acesso pela rodovia estadual ES-060 (Rodovia do Sol), paralela à BR-101 e posicionada na região litorânea. A Rodovia do Sol na área de estudo pode ser alcançada a partir da rodovia ES-162, que atravessa o município de Presidente Kennedy e da rodovia ES-490, que liga as cidades de Marataízes e Atílio Vicacqua.

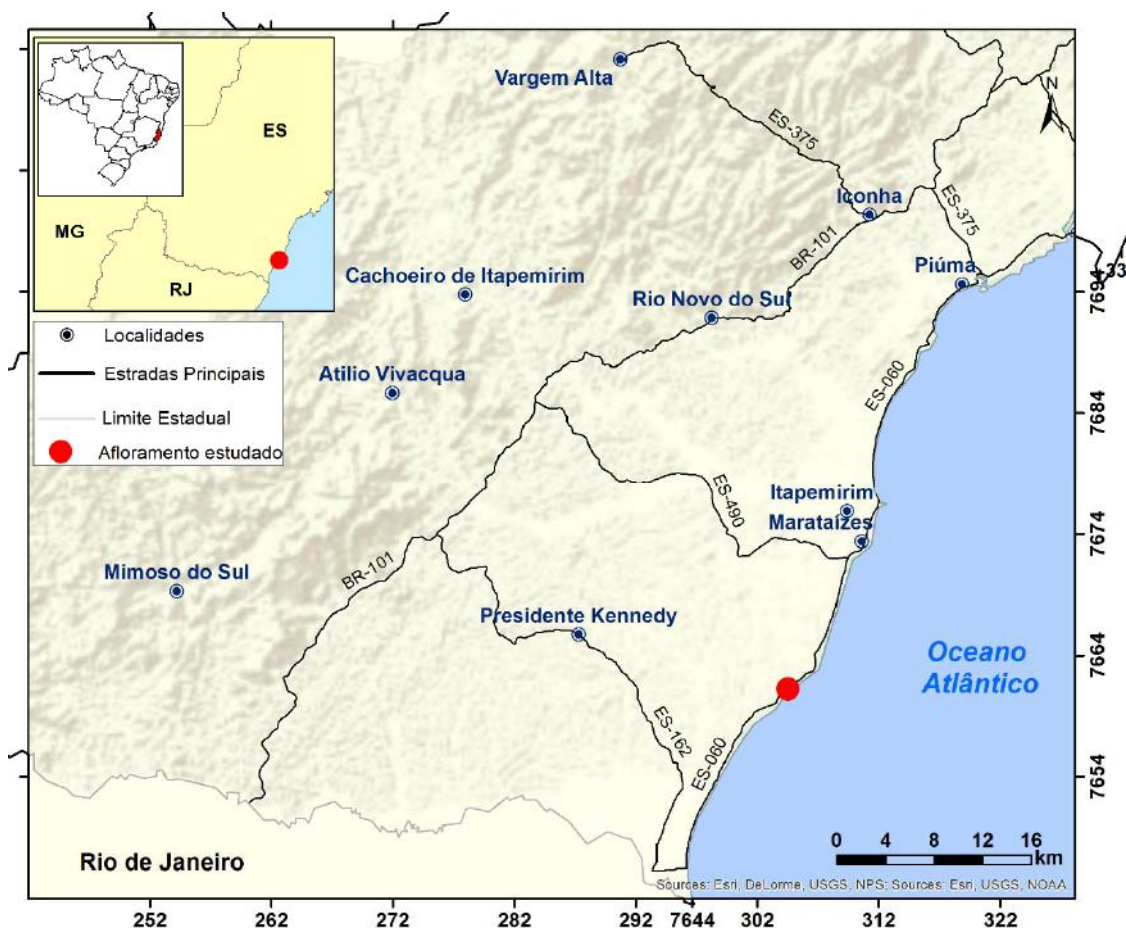


Figura 3 – Localização da área de estudo, com a indicação das principais cidades e vias de acesso. Base cartográfica: modelo digital de elevação do Serviço Geodésico Nacional do Serviço Geológico dos Estados Unidos (NOAA/USGS) disponível no ESRI ArcMap 10.1®.

### 3.1. Geologia Regional

No contexto geotectônico regional, a área do presente estudo está situada na Faixa Móvel Ribeira, de *trend* estrutural de orientação NE-SW e idade neoproterozoica, inserida na porção central da Província Mantiqueira, a leste do Cráton do São Francisco (Figura 4).

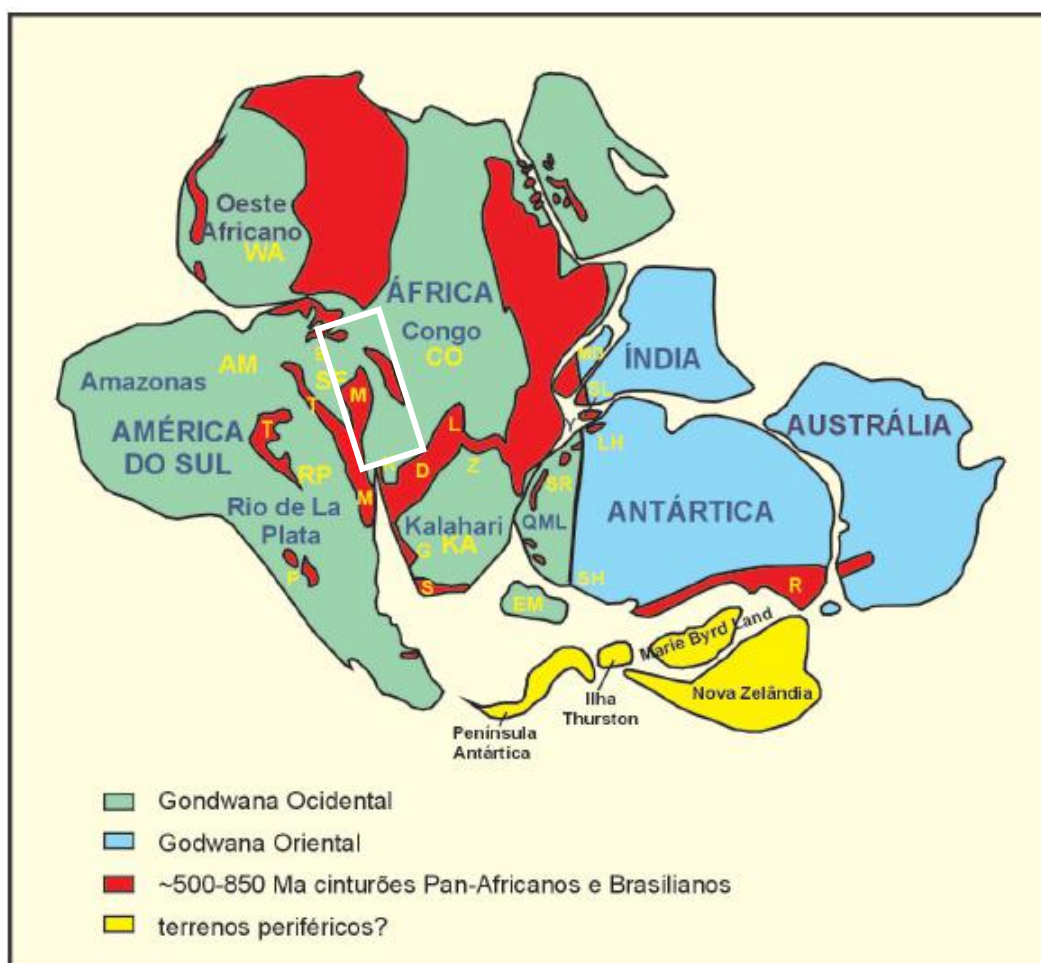


Figura 4 – Reconstituição da colagem do Gondwana mostrando a distribuição dos orógenos brasileiros pan-africanos e os principais crátons associados há 560 Ma (Bizzi *et al.*, 2003). Antigos blocos cratônicos do Gondwana Ocidental e possíveis terrenos periféricos: M – Província Mantiqueira; T – Província Tocantins; B – Província Borborema; P – Orógeno Pampeano; D – Cinturão Damara; G – Cinturão Gariep; K – Cinturão Karoo; L – Arco Lufiliano; LH – Baía Lützow-Holm; MD – Madagascar; Y – Montanhas Yamato; R – Orógeno Ross; S – Cinturão Saldania; SH – Cadeia Shackleton; SL – Sri Lanka; SR – Montanhas Sor Rondane; Z – Cinturão Zambesi. Outras feições: EM – Montanhas Elisworth-Whitmore; QML – Terra Queen Maud. Crátons: SF – São Francisco; AM – Amazonas; RP – Rio de La Plata/Paraná; KA – Kalahari; CO – Congo; WA – África Ocidental.

Os terrenos neoproterozoicos que formam o embasamento da área de estudo foram amalgamados a partir das sucessivas colagens ocorridas durante o Ciclo Brasileiro, com início, segundo Hasui (2010), no Brasileiro I (900-700 Ma), predomínio no Brasileiro II (670-530 Ma) e término no Brasileiro III (580-490 Ma).

Os traços estruturais formados durante o evento Brasileiro (*trend* NE-SW) representam uma importante herança que controlou boa parte dos processos tectônicos e geológicos posteriores, como a Reativação Sul-Atlântica (relacionada à abertura do Oceano Atlântico Sul) e também as reativações neotectônicas, no Neógeno e Quaternário.

Em relação a isso, a área de estudo situa-se na região emersa adjacente à Bacia de Campos, tendo a sua evolução mesozoica-cenozoica atrelada a essa bacia.

### 3.1.1. TERRENOS NEOPROTEROZOICOS

Em síntese, o embasamento pré-cambriano da área de estudo é formado por paragneisses neoproterozoicos (Complexo Paraíba do Sul) e suítes intrusivas neoproterozoicas e eopaleozoicas (Figura 5), inseridos no Terreno Oriental da Faixa Ribeira (Bizzi *et al.*, 2003).

O Complexo Paraíba do Sul é constituído essencialmente por metassedimentos detríticos, incluindo diferentes tipos de gnaisses e migmatitos, sendo os mais comuns portadores de cordierita e sillimanita - kinzigitos (sillimanita-granada-biotita gnaisses, granada-biotita gnaisses) ou biotita-plagioclásio gnaisses, com intercalações de mármore, anfibolitos, quartzitos, xistos e rochas calcissilicáticas.

Os corpos magmáticos neoproterozoicos na área de estudo são representados pelas suítes Desengano e Bela Joana. Essas unidades são constituídas, respectivamente, por granitóides tipo S tardi-orogênicos (compostos por granada-biotita ortognaisse porfirítico a inequigranular, com enclaves de anfibolito e rochas calcissilicáticas) e charnockitoides sin a tardi-orogênicos (compostos por granada-hornblenda-ortopiroxênio-clinopiroxênio charnockitos, com enclaves de granada-silimanita gnaisse).

### 3.1.2. TERRENOS EOPALEOZOICOS

De acordo com Bizzi *et al.* (2003), os terrenos eopaleozoicos na área de estudo são representados por granitoides pós-colisão brasileira (Figura 5), compostos por hornblenda-biotita granitoides do tipo-I, de granulação fina a média, textura equigranular a porfirítica, localmente com foliação de fluxo magmático preservado. Ocorrem como corpos tabulares, diques, e pequenos batólitos cortando as rochas regionais. Ocorrem também como plútons homogêneos.

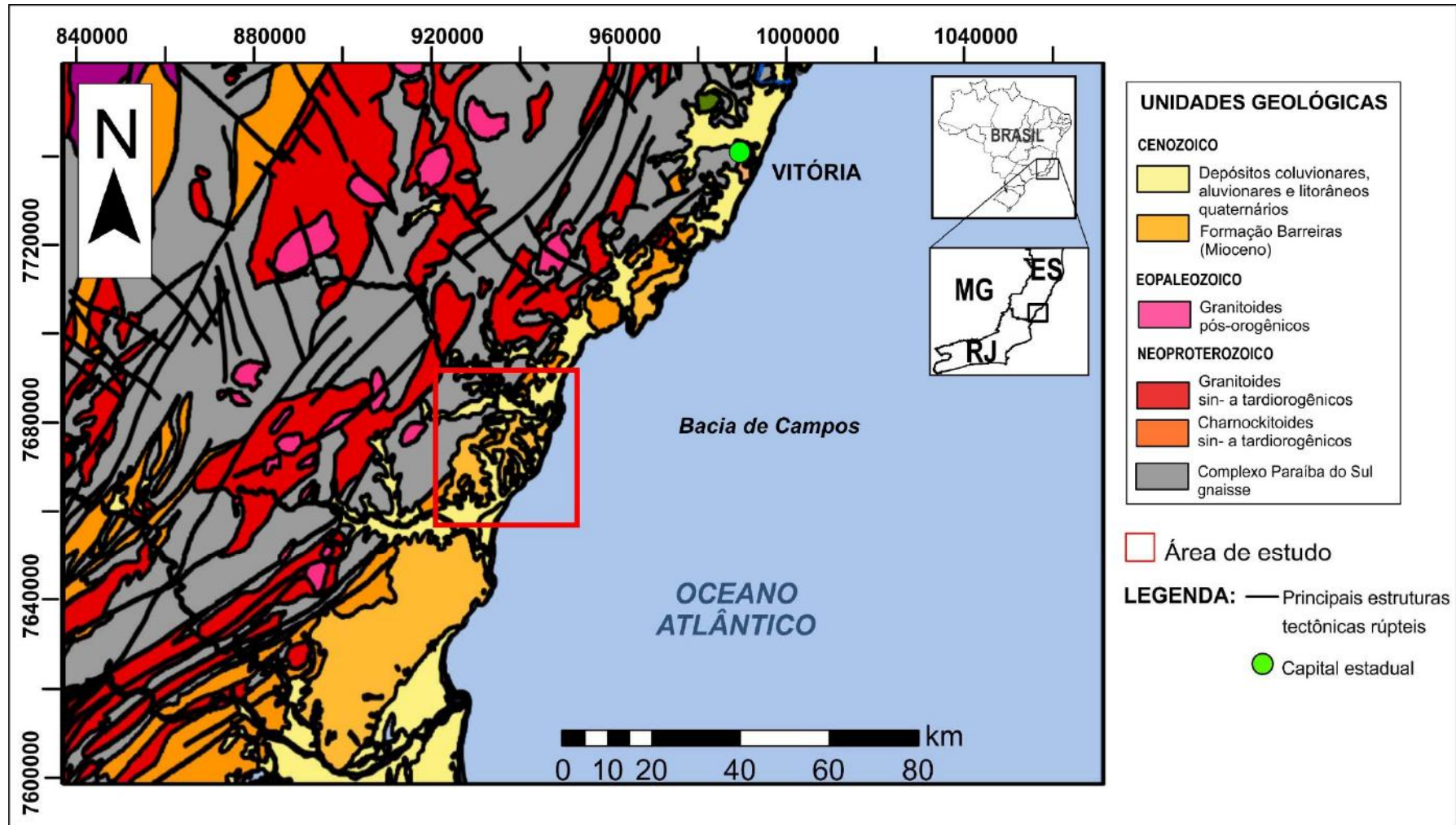


Figura 5 – Mapa geológico da região sul do Espírito Santo, abrangendo a área deste estudo, com base na Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo de Bizzi *et al.* (2003).

### 3.1.3. EVOLUÇÃO MESOZOICA-CENOZOICA

A história evolutiva da Bacia de Campos relaciona-se com a das demais bacias sedimentares ao longo da margem atlântica brasileira, em especial da margem leste, partindo da fase de ruptura do paleocontinente Gondwana durante o episódio de abertura do Atlântico Sul, no Cretáceo Inicial, envolvendo três fases (Winter *et al.*, 2007): Rifte, Pós-Rifte e Drifte (Figura 6).

A Fase Rifte, do Neocomiano ao Aptiano, registra a ruptura continental e a formação dos depocentros lacustres no Eocretáceo, com leques aluviais e sistemas fluviais instalados nas bordas do rifte. Há a presença de ígneas básicas - basaltos toleíticos amigdaloidais (Formação Cabiúnas) na base da coluna sedimentar, relacionadas ao afinamento crustal. Os lagos do rifte acomodaram uma seção de folhelhos que são importantes como rochas geradoras de hidrocarbonetos, entre os quais se incluem os do Grupo Lagoa Feia. Ocorrem também conglomerados, arenitos e coquinas.

A Fase Pós-Rifte da margem leste, de idade Aptiano, registra a seção marinha restrita, bem caracterizada pelo pacote de evaporitos (principalmente halita e anidrita), muito importante em espessura e área de ocorrência na Bacia de Campos (Formação Retiro do Grupo Lagoa Feia). Sotoposta aos sais, ocorre a sedimentação transicional, marcando a passagem de um ambiente continental lacustre da Fase Rifte para um ambiente marinho, com depósitos carbonáticos depositados em ambiente marinho raso e siliciclásticos representando sucessões continentais de borda de bacia, com algum magmatismo local associado.

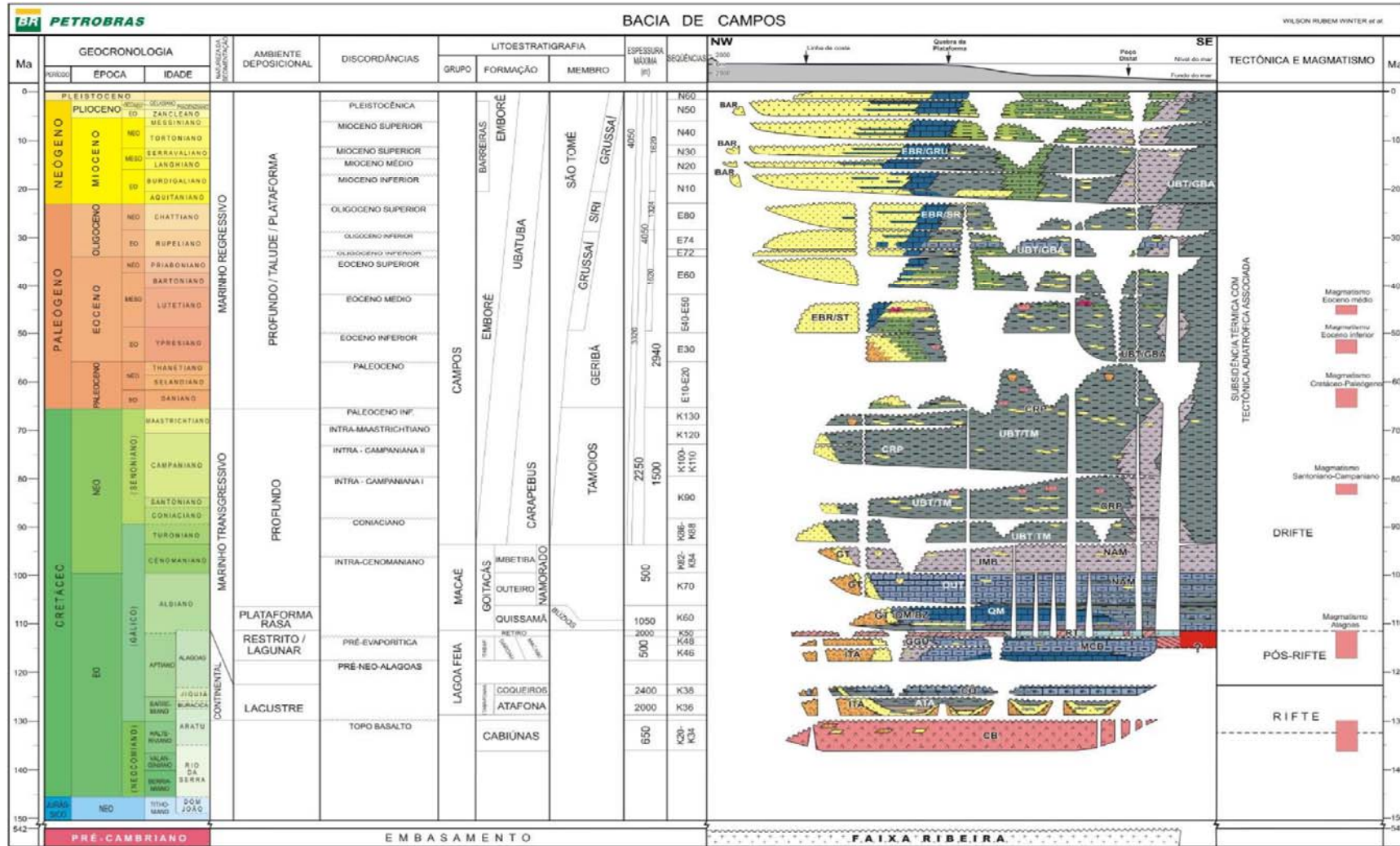


Figura 6 – Coluna estratigráfica da bacia de Campos (Winter et al., 2007).



A Fase Drifte é representada por uma sucessão transgressiva, do Albiano ao Eoceno, que se seguiu à deposição dos evaporitos, com a instalação de condições francamente marinhas. No Albiano, sob tais condições, foram depositados os carbonatos do Grupo Macaé. A partir do Eoceno caracteriza-se uma fase marinha regressiva. Ricci & Becker (1991) dividem a fase regressiva em quatro principais sequências: a unidade I (Paleoceno-Eoceno médio) é tipicamente progradante; a unidade II (Eoceno médio-Oligoceno inicial) é tipicamente agradacional; a unidade III (Oligoceno inicial-Mioceno inicial) é novamente progradacional; e a unidade IV (Mioceno inicial-Recente) é caracterizada por grandes conjuntos progradantes sigmoidais. No contexto da unidade III encontra-se a Formação Barreiras, de idade miocênica, representando sedimentos continentais encontrados na área emersa da Bacia de Campos.

#### 3.1.3.1. Formação Barreiras

As características litológicas da Formação Barreiras na região sul do Espírito Santo foram descritas em detalhe por Moraes (2007) e West (2019), destacando-se arenitos quartzosos e caulíníticos (alteração de feldspatos), em camadas tabulares a subtabulares (Figura 7), com níveis de cascalho, apresentando estratificação cruzada acanalada ou estrutura aparentemente maciça (sendo essa relacionada a modificações pós-deposicionais), frequentemente bioturbados, intercalados por camadas lenticulares de sedimentos lamosos, de cor branca-avermelhada, muito mosqueados e bioturbados.

Quanto à interpretação paleoambiental, esses autores atribuíram os depósitos da Formação Barreiras a um ambiente fluvial entrelaçado com variações em termos proximais, também com a contribuição de depósitos por fluxos de detritos, e distais.

Os depósitos dessa unidade são bastante ferruginizados (Figura 7), apresentando cores variegadas (branco, vermelho, alaranjado, roxo). A ferruginização, quando muito intensa, promoveu a formação de couraças ferruginosas. Moraes (2007) relacionou o caráter ferruginizado e alterado desses sedimentos aos processos diagenéticos e pedológicos.



Figura 7 – Falésia com exposição dos depósitos da Formação Barreiras ao sul de Marataízes, na região sul do estado do Espírito Santo, destacando-se a tabularidade das camadas e a intensa ferruginização na base.

#### 3.1.3.2. Sedimentação Quaternária

O registro da sedimentação quaternária no sul do Espírito Santo é dividido por Vieira & Menezes (2015) em:

- depósitos fluviais recentes - sedimentos fluviais constituídos predominantemente de areia e cascalho, com níveis sílticos e argilosos intercalados;

- depósitos flúvio-lagunares recentes - sedimentos areno-argilosos ricos em matéria orgânica, podendo frequentemente conter grande quantidade de conchas de moluscos de ambientes lagunares;
- depósitos aluviais e coluviais indiferenciados - sedimentos argilo-arenosos encontrados nos vales, indiferenciados quanto à idade;
- cordões litorâneos recentes - sedimentos arenosos e argilo-arenosos costeiros holocênicos;
- cordões litorâneos antigos - sedimentos arenosos e argilo-arenosos costeiros pleistocênicos.

### **3.2. Geomorfologia**

De acordo com Silva & Machado (2014), na área de estudo são distinguíveis nove unidades geomorfológicas (Figura 8). As unidades geomorfológicas de Domínio Montanhoso; de Morros e Serras Baixas; de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos; e de Colinas Amplas e Suaves são associados ao embasamento. As unidades Tabuleiros e Tabuleiros Dissecados são associadas à Formação Barreiras, e as unidades Planícies Flúvio-marinhas, Planícies Fluviais ou Flúvio-lacustres, e Planícies Marinhas são representativas dos sedimentos quaternários.

A descrição dos domínios geomorfológicos, a seguir, está baseada em Silva & Machado (2014).

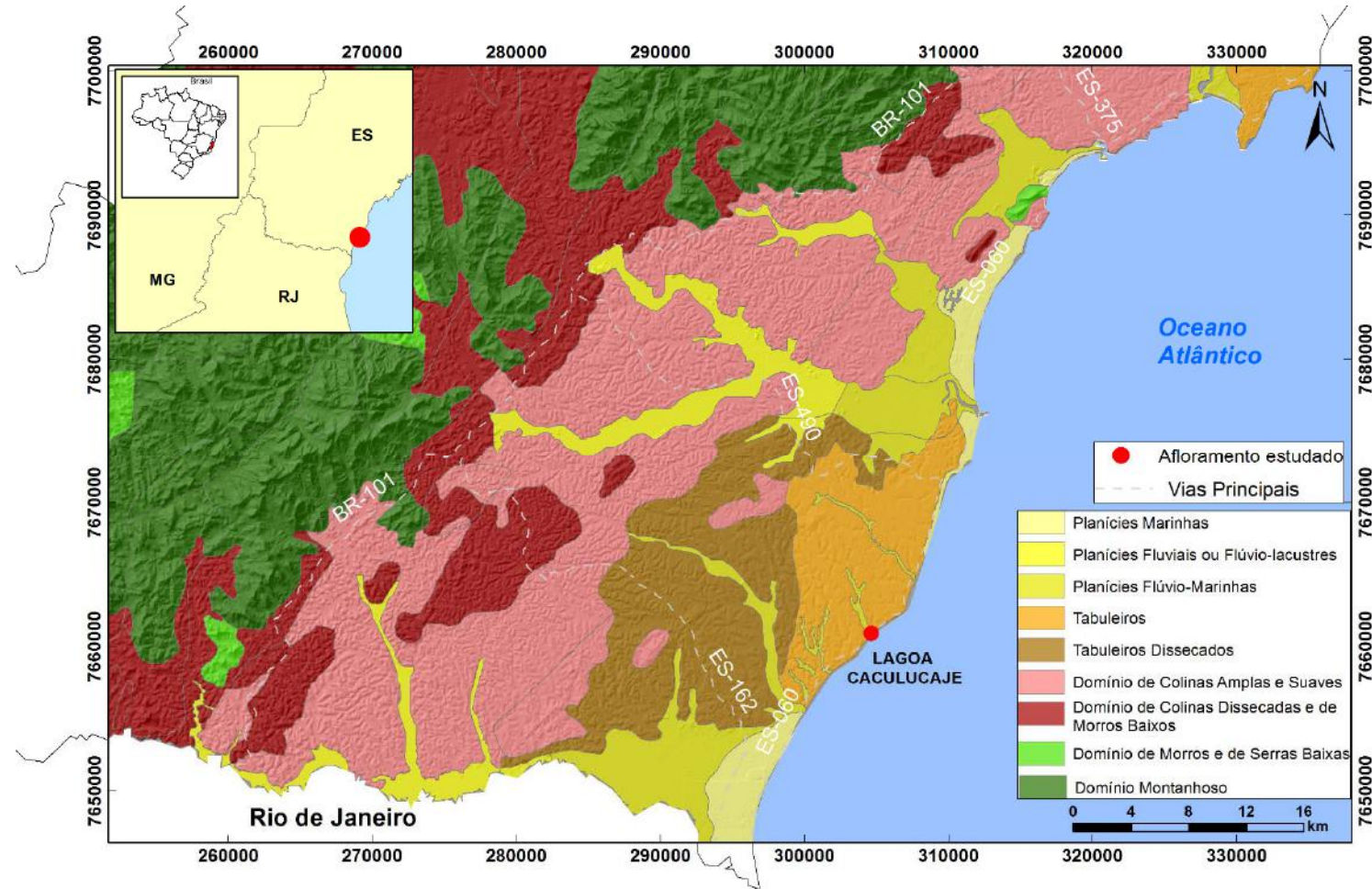


Figura 8: Mapa de unidades geomorfológicas da área de estudo, com base em Silva & Machado (2014), sobre modelo de relevo sombreado elaborado a partir do MDE produzido pelo IEMA-ES.

- Domínio Montanhoso: corresponde a alinhamentos serranos, maciços montanhosos, *front de cuestras* e *hogback*, com relevo muito acidentado. As vertentes são predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e os topos apresentam cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Há sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. A amplitude de relevo é acima de 300 m, podendo apresentar, localmente, desnivelamentos inferiores a 200 m. A inclinação das vertentes varia entre 25° e 45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60°-90°). Apresenta sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Predominam os processos de morfogênese, com a formação de solos rasos em terrenos muito acidentados, em geral, com alta suscetibilidade à erosão. Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa.

- Domínio de Morros e Serras Baixas: corresponde a morros convexo-côncavos dissecados, com topos arredondados ou aguçados. Também se inserem nessa unidade morros de topo tabular (característico das chapadas intensamente dissecadas) e de topos planos. Esse padrão de relevo apresenta sistema de drenagem principal com planícies aluviais restritas. Exibe amplitude de relevo que varia de 80 a 200 m e inclinação das vertentes entre 15° e 35°. Nesse padrão de relevo há predomínio de processos de morfogênese, formação de solos pouco espessos em terrenos declivosos, além da atuação frequente de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos e ravinas), com ocorrência esporádica de processos de movimentos de massa. Podem ocorrer colúvios e, subordinadamente, depósitos de tálus nas baixas vertentes.

- Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos: constitui-se de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou aguçados. O sistema de drenagem principal apresenta deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados. Exibe amplitude de relevo que varia de 30 a 80 m e inclinação de vertentes de 5° a 20°. Há equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese, formação de solos espessos e bem drenados, com atuação frequente de processos de erosão laminar e ocorrência esporádica de processos de erosão linear acelerada (sulcos, ravinas e voçorocas). Podem ocorrer rampas de colúvios nas baixas vertentes.

- Domínio de Colinas Amplas e Suaves: constitui-se de formas pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos amplos, de morfologia tabular ou alongada. Apresenta sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais relativamente amplas. Exibe amplitude de relevo entre 20 e 50 m e inclinação de vertentes entre 3° e 10°. Há predomínio de processos de pedogênese, com ocorrência restrita de processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas). Podem ocorrer rampas de colúvios nas baixas vertentes.

- Tabuleiros: esse domínio é caracterizado por formas suavemente dissecadas. São superfícies extensas, com gradientes suaves, topos planos e alongados, e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de "U". Apresenta amplitude de relevo que varia de 20 a 50 m, com inclinações de vertentes entre 0 e 3° e topos planos. Localmente, podem existir vertentes com inclinações superiores, entre 10° e 25°. Nessas formas de relevo há predomínio de

processos pedogenéticos (formação de solos espessos e bem drenados). De forma restrita, podem ocorrer processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas).

- Tabuleiros Dissecados: esse domínio é caracterizado por formas tabulares dissecadas por uma rede de drenagem com alta densidade. Apresenta relevo movimentado de colinas com topos tabulares ou alongados e vertentes retilíneas e declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente. A amplitude de relevo varia de 20 a 50 m, com inclinação de vertentes entre 0 e 3° e topos planos restritos. Assim como as formas de tabuleiros, localmente podem existir vertentes com inclinações superiores, entre 10° e 25°. Nessas formas de relevo há predomínio de processos de pedogênese, sendo a ocorrência de processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas) mais comum.

- Planícies Flúvio-marinhas: constituem uma interface entre os sistemas deposicionais continentais e marinhos. Compreendem superfícies planas muito mal drenadas, prolongadamente inundáveis, com padrão de canais meandrantas, sob influência de refluxo de marés. São compostas por depósitos argilo-arenosos a argilosos, apresentando amplitude de relevo e inclinação das vertentes nulas.

- Planícies Fluviais ou Flúvio-lacustres: compreendem planícies de inundação e baixadas inundáveis, caracterizadas por mangues e brejos. Constituem zonas de acumulação atual, sub-horizontais, compostas por depósitos areno-argilosos

a argilo-arenosos. Apresentam gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos cursos d'água principais. São terrenos periodicamente inundáveis, mal drenados nas planícies de inundação e bem drenados nos terraços. Exibem amplitude de relevo nula (zero) e inclinação das vertentes variando entre 0 e 3°.

- Planícies Marinhas: são caracterizadas por terraços marinhos e cordões arenosos. São terrenos bem drenados e não inundáveis, correspondendo a superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, de microrrelevo ondulado, gerados por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Exibem amplitude de relevo de até 20 m e inclinação das vertentes entre 0 e 5°.

### **3.3. Neotect nica**

A partir da análise topográfica atrelada à organização da rede de drenagem instalada sobre os tabuleiros da Formação Barreiras, Ribeiro (2010) caracterizou blocos rebaixados e soerguidos, formando padrões de grábens e horstes, cuja compartimentação foi relacionada a estruturas de orientação predominantemente NW-SE (Figura 9). Os perfis topográficos elaborados por Ribeiro (2010) mostram também a compartimentação do terreno em blocos basculados, com deslocamento da drenagem tendendo para SW e NE.



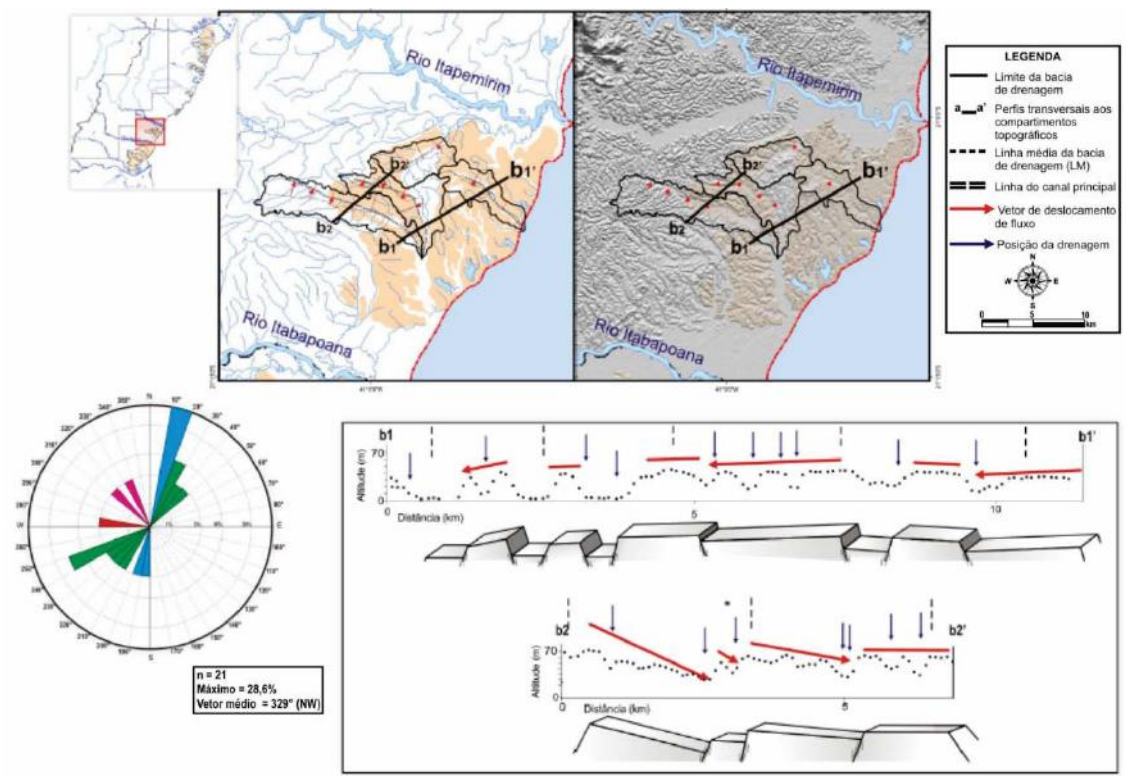


Figura 9 – Perfis topográficos elaborados por Ribeiro (2010) na principal área de ocorrência da Formação Barreiras na região sul do Espírito Santo. A geometria formada a partir dos padrões de grábens e horstes indica um controle neotectônico na distribuição e comportamento dos blocos.

Ribeiro (2010) atribuiu a compartimentação dos tabuleiros em blocos com estruturação NW-SE à atuação de falhas normais com essa direção, correlacionáveis ao regime de transcorrência dextral E-W, de idade Pleistoceno-Holoceno, descrito por Riccomini *et al.* (2004) para a evolução do Rifte Continental do Sudeste do Brasil e reconhecido por diversos autores ao longo da margem sudeste do Brasil (Ribeiro, 2010; Bricalli, 2011; Brêda, 2012; e West, 2019).

West (2019) propôs um modelo para a sedimentação e distribuição dos depósitos da Formação Barreiras no sul do Espírito Santo reconhecendo que os eventos neotectônicos implicam tanto na distribuição da Formação Barreiras quanto na configuração do relevo dos tabuleiros e organização da rede de drenagem (Figura 10). Foram identificadas falhas normais e dextrais NW-SE e

sinistras N-S relacionadas ao evento neotectônico de transcorrência dextral E-W, que controlam fortemente a orientação e a assimetria da drenagem instalada sobre os tabuleiros da Formação Barreiras. Também individualizam áreas de ocorrência da Formação Barreiras, compartimentando-a em blocos com caimento principalmente para NE, em um modelo de hemigrábens, onde se instalou a sedimentação quaternária. Já as feições NE-SW identificadas foram associadas a um segundo evento de deformação neotectônica, relacionado a uma distensão NW-SE, reativando estruturas pretéritas e formando um padrão de grábens/hemigrábens e horstes, com aumento do espaço de acomodação em direção ao litoral. Essa compartimentação resultou em uma preservação dos depósitos da Formação Barreiras com espessuras ainda menores em direção ao interior.

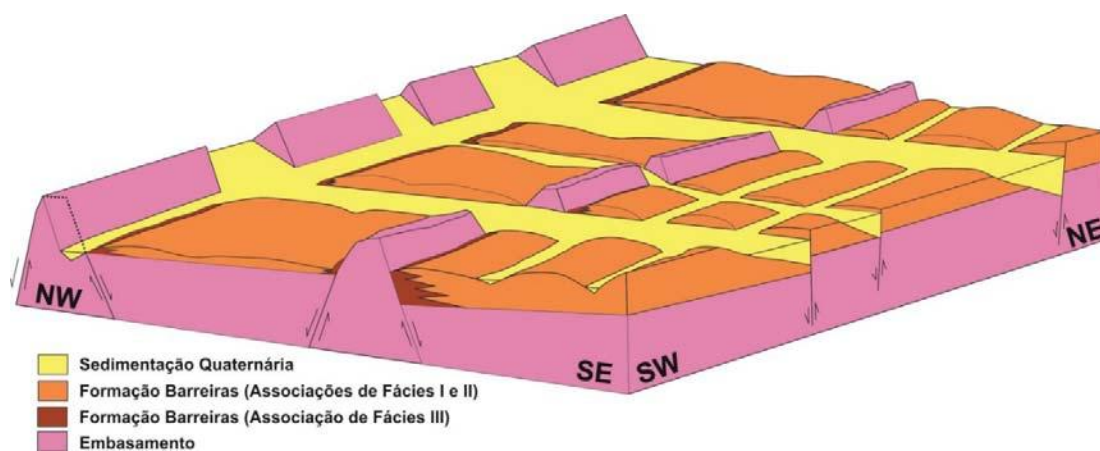


Figura 10 - Modelo proposto por West (2019) para a estruturação dos terrenos da Formação Barreiras no sul do Espírito Santo, associada a um padrão de blocos altos e baixos controlados por falhas normais NE-SW e NW-SE.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido através das etapas representadas na Figura 11, detalhadas a seguir.

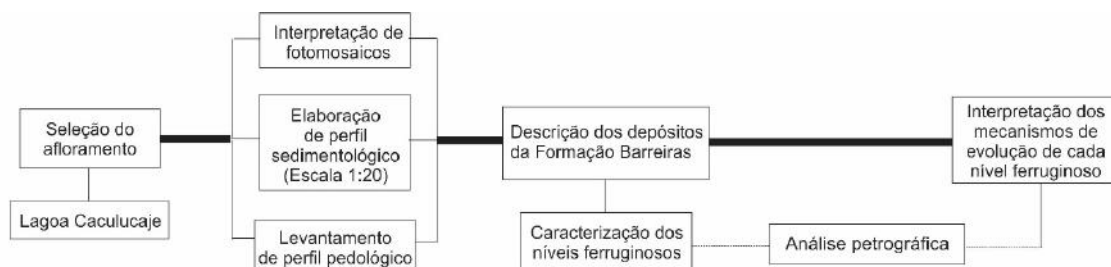


Figura 11 – Fluxograma das atividades de trabalho desenvolvidas no presente estudo.

Para o desenvolvimento desse estudo, foi selecionada a Seção Lagoa Caculucaje (descrita anteriormente por Morais, 2007 e West, 2019). Corresponde a uma exposição de aproximadamente 25 metros de altura, localizada na Praia das Falésias, ao sul de Marataízes (Figura 12). A sua escolha é justificada não só pela espessura total da seção sedimentar exposta, mas também por ser dividida em três patamares, facilitando o acesso para a descrição.

Foi realizado o levantamento fotográfico de cada patamar, com a elaboração de fotomosaicos. Após a interpretação preliminar dos fotomosaicos, foram realizadas atividades de campo para a checagem dos conjuntos litológicos e dos níveis ferruginosos identificados. As etapas de campo também serviram para a caracterização de fácies, com a elaboração de perfil faciológico na escala 1:20. As fácies foram descritas com base na litologia, aspectos texturais, composição mineralógica, geometria, estruturas sedimentares e conteúdo fossilífero.

Na parte superior do afloramento, foi realizado um perfil pedológico, também na escala 1:20, considerando os seguintes atributos: textura, cor e estruturas pedológicas.

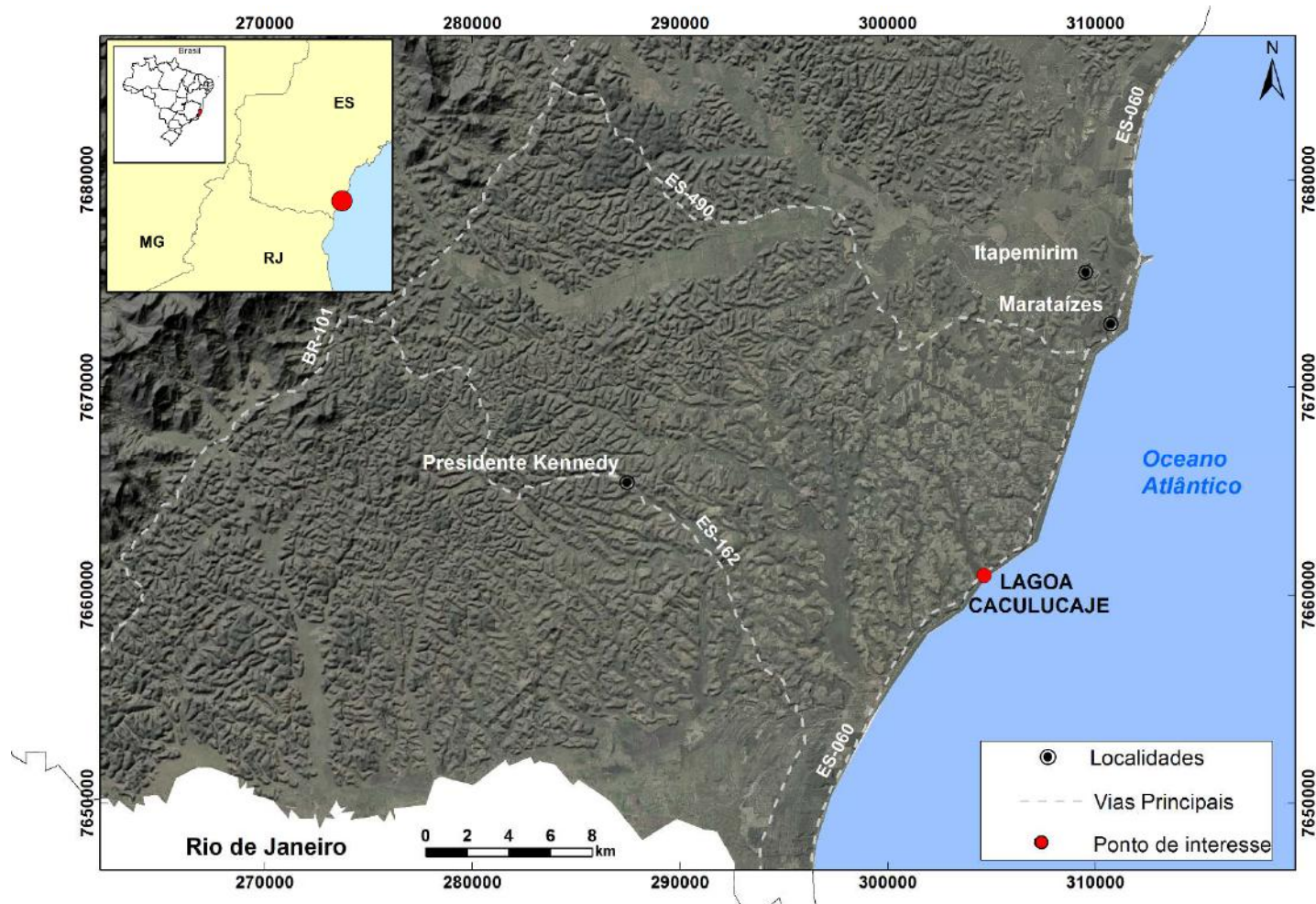


Figura 12 – Localização da Seção Lagoa Caculucaje sobre a fusão de ortofotos com o modelo digital de elevação.

Os fotomosaicos e os perfis foram tratados no *software CorelDraw X8®*.

Foi realizada a caracterização macroscópica de cada nível ferruginoso identificado, segundo a proposta de Aleva (1994), considerando coesão, cor, granulometria, trama/morfologia e mineralogia (Quadro 1). Durante essa etapa, foram coletadas amostras para a descrição petrográfica dos níveis ferruginosos.

Quadro 1 – Atributos utilizados para a caracterização macroscópica dos níveis ferruginosos, conforme Aleva (1994).

<b>Características macroscópicas das lateritas</b>	
<i>Coesão</i>	Altamente variável, tanto dentro como entre os depósitos de laterita; plástico, quebradiço, sectil e quebrável entre os dedos para difícil de quebrar com um martelo
<i>Cor</i>	Altamente variável, principalmente avermelhados, marrom avermelhado, marrom acastanhado a alaranjado e amarelado
<i>Granulometria</i>	Muitas vezes é difícil avaliar, p. onde laterita forma uma massa maciça, dura ou microcristalina. O tamanho dos grãos varia entre <0,1 e 2 mm
<i>Trama/morfologia</i>	Altamente variável, de maciço a granular; vermiformes, colunares e semelhantes a raízes; corpos esféricos (pisólitos)
<i>Mineralogia</i>	Compostos principalmente de minerais recém-formados, como gibbsita, goethita, hematita, maghemita, caulinita e quartzo secundário

A descrição petrográfica foi realizada em 7 (sete) amostras, que precisaram ser impregnadas com resina antes da confecção das lâminas delgadas, que também foram polidas. Essas etapas foram realizadas no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia/UFRJ. As lâminas delgadas foram analisadas com a utilização de microscópio binocular da marca *Olympus* (modelo CX30), com câmera fotográfica também da marca *Olympus* (modelo SC30) acoplada. Nessa etapa, foram avaliadas as seguintes propriedades: textura, tipo de matriz e de cimento, composição mineralógica e porosidade. Para a avaliação da porosidade, foi utilizado o corante azul de metileno durante a impregnação da amostra.

## 5. RESULTADOS

Como resultado da interpretação dos fotomosaicos e do levantamento do perfil sedimentológico da Seção Lagoa Caculucaje, foram identificadas cinco fácies sedimentares, além de três níveis ferruginosos principais (Figura 13).

Os depósitos areníticos, lutíticos e, com menos frequência, conglomeráticos apresentam-se empilhados em sucessões granodecrescentes com padrão em “caixote”, predominando espessos pacotes de arenitos. Algumas camadas lutíticas e areníticas apresentam bioturbação intensa. Os depósitos areníticos apresentam percentual significativo de matriz caulínica, de cor cinza-esbranquiçada, cuja origem é atribuída à alteração de feldspatos, como observado por Morais (2007). O topo do tabuleiro é caracterizado por uma cobertura areno-argilosa de coloração castanho-amarelada, interpretada como produto do desenvolvimento de um perfil pedológico.

Por todo o depósito é observada a presença da ferruginização, em alguns níveis com maior proeminência, conferindo a essa falésia variações de cores desde o esbranquiçado até o vermelho.

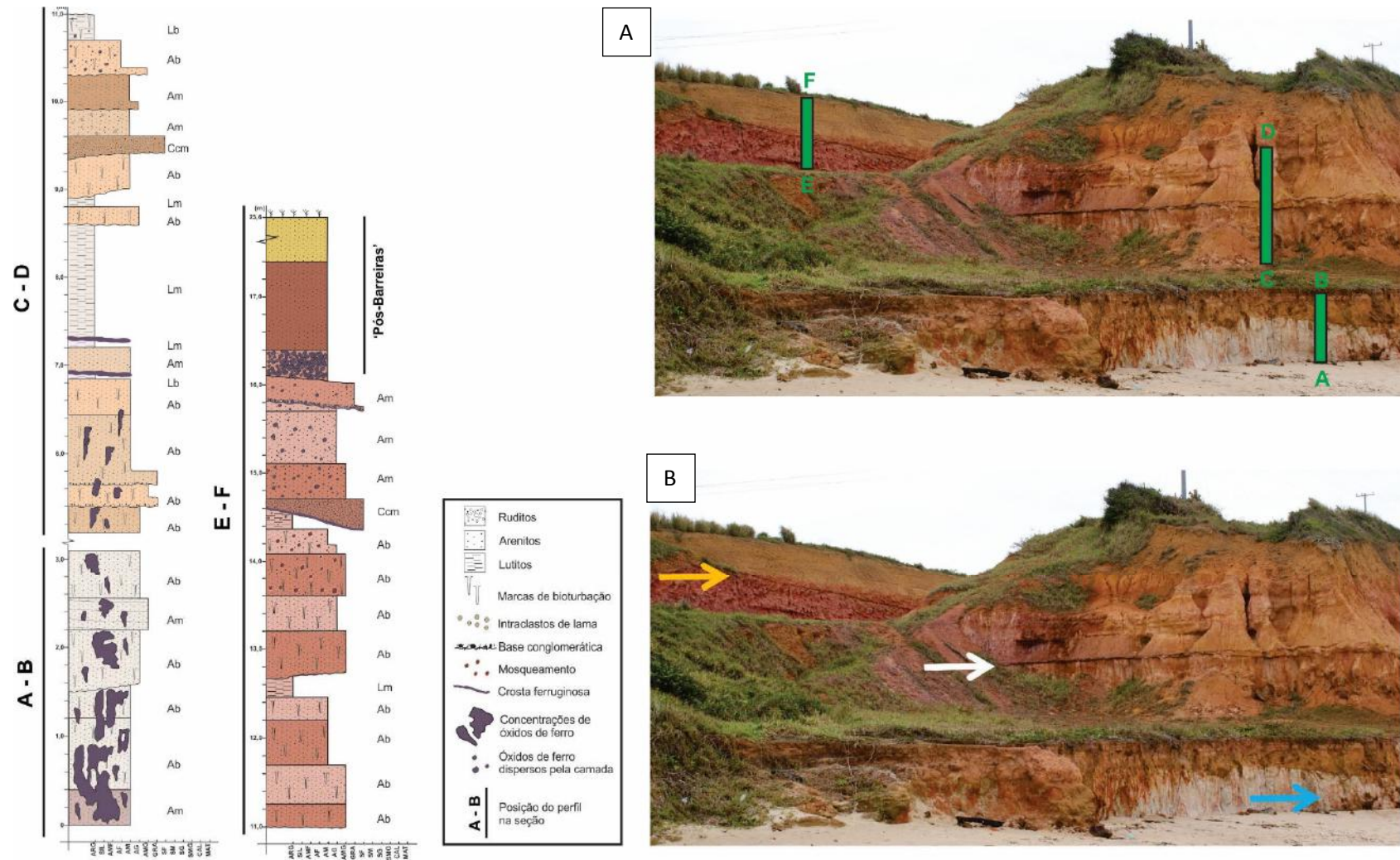


Figura 13: Seção Lagoa Caculucaje. A) Perfil sedimentológico; B) principais níveis ferruginosos identificados (basal: seta azul; intermediário: seta branca; superior: seta amarela).



## 5.1. Fácies Sedimentares

Foram caracterizadas duas fácies areníticas (Am e Ab), duas fácies lutíticas (Lm e Lb) e uma fácies rudítica (Ccm).

**Fácies Ab:** arenito maciço bioturbado (Figura 14).

Arenito de granulometria média a muito grossa, mal selecionado, com grãos angulosos a subangulosos, intensamente bioturbado, de composição quartzosa e feldspática, e cor branco-acinzentado, com mosqueamento avermelhado.

A bioturbação ocorre como tubos cilíndricos subverticais e sub-horizontais, podendo apresentar estruturas internas do tipo meniscos, sendo relacionados aos icnogêneros *Skolithos* e *Taenidium*, conforme já descrito por Morais (2007).

Interpretação: essa fácies é associada a fluxos trativos unidirecionais, com modificação pela ação de organismos.

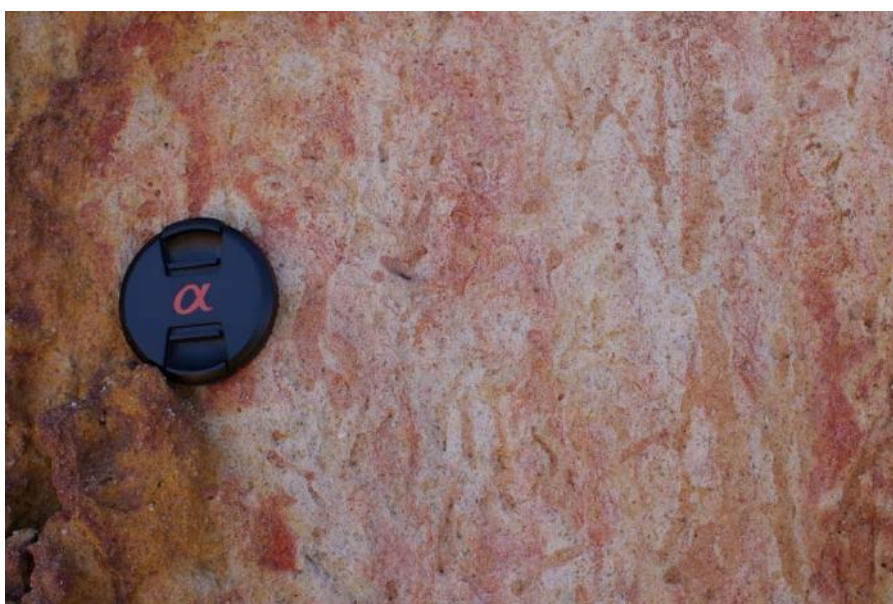


Figura 14 – Fácies Ab (arenito bioturbado). Fotografia obtida na porção média da Seção Lagoa Caculucaje.

**Fácies Am:** arenito maciço ou sem estrutura aparente (Figura 15).

Arenito de granulometria média a muito grossa, mal selecionado, com grãos subangulosos a subarredondados, maciço ou sem estrutura aparente, de composição quartzosa e feldspática. A coloração é cinza-esbranquiçada a amarelada, e por vezes avermelhada devido ao processo de ferruginização.

Interpretação: essa fácies é associada a fluxos trativos unidirecionais, com modificação pós-deposicional relacionada a processos de ferruginização.



Figura 15 – Fácies Am (arenito maciço ou sem estrutura aparente), com intensa ferruginização por óxido de ferro. Fotografia obtida na base da Seção Lagoa Caculucaje.

**Fácies Lm:** lutito maciço.

Depósito argilo-siltico, maciço, de coloração variada, principalmente arroxeadada, avermelhada e esbranquiçada.

Interpretação: essa fácies é associada ao processo de decantação de finos em planície de inundação, com modificações pós-deposicionais.

**Fácies Lb:** lutito bioturbado (Figura 16).

Depósito argilo-siltico com modificação pós-deposicional por bioturbação, de coloração variada, principalmente arroxeadada, avermelhada, esbranquiçada e amarelada.

Interpretação: essa fácies é associada ao processo de decantação de finos em planície de inundação, com modificações pela ação de organismos.



Figura 16 – Fácies Lb (lutito bioturbado). Fotografia obtida na porção intermediária da Seção Lagoa Caculucaje.

**Fácies Ccm:** conglomerado sustentado pelos clastos, maciço.

Conglomerado sustentado pelos clastos, com predomínio de seixo fino e matriz arenítica, mal a moderadamente selecionado, com clastos angulosos a arredondados e estrutura maciça. O arcabouço é composto predominantemente de quartzo e feldspatos. Apresenta cor marrom a avermelhada, com mosqueamento por óxidos de ferro.

Interpretação: essa fácies é relacionada a depósitos por fluxo trativo unidirecional, com deposição rápida da carga de leito ou modificações pós-deposicionais.

## 5.2. Níveis ferruginosos

Foram observados três níveis principais de ferruginização (Figura 13), identificados como basal, intermediário e superior.

### 5.2.1. NÍVEL BASAL

Na base da Seção Lagoa Caculucaje, destacam-se feições colunares associadas à ferruginização dos arenitos (Figura 17), sendo observados aspectos de degradação, como feições cavernosas, formadas a partir do processo de argilização do material pela perda do ferro (Figura 18). Tais aspectos sugerem um processo de “deferruginização” do material, que, dessa maneira, teria constituído previamente um nível ferruginizado maior.



Figura 17 – Couraça ferruginosa com morfologia colunar presente nos arenitos situados na base da Seção Lagoa Caculucaje.

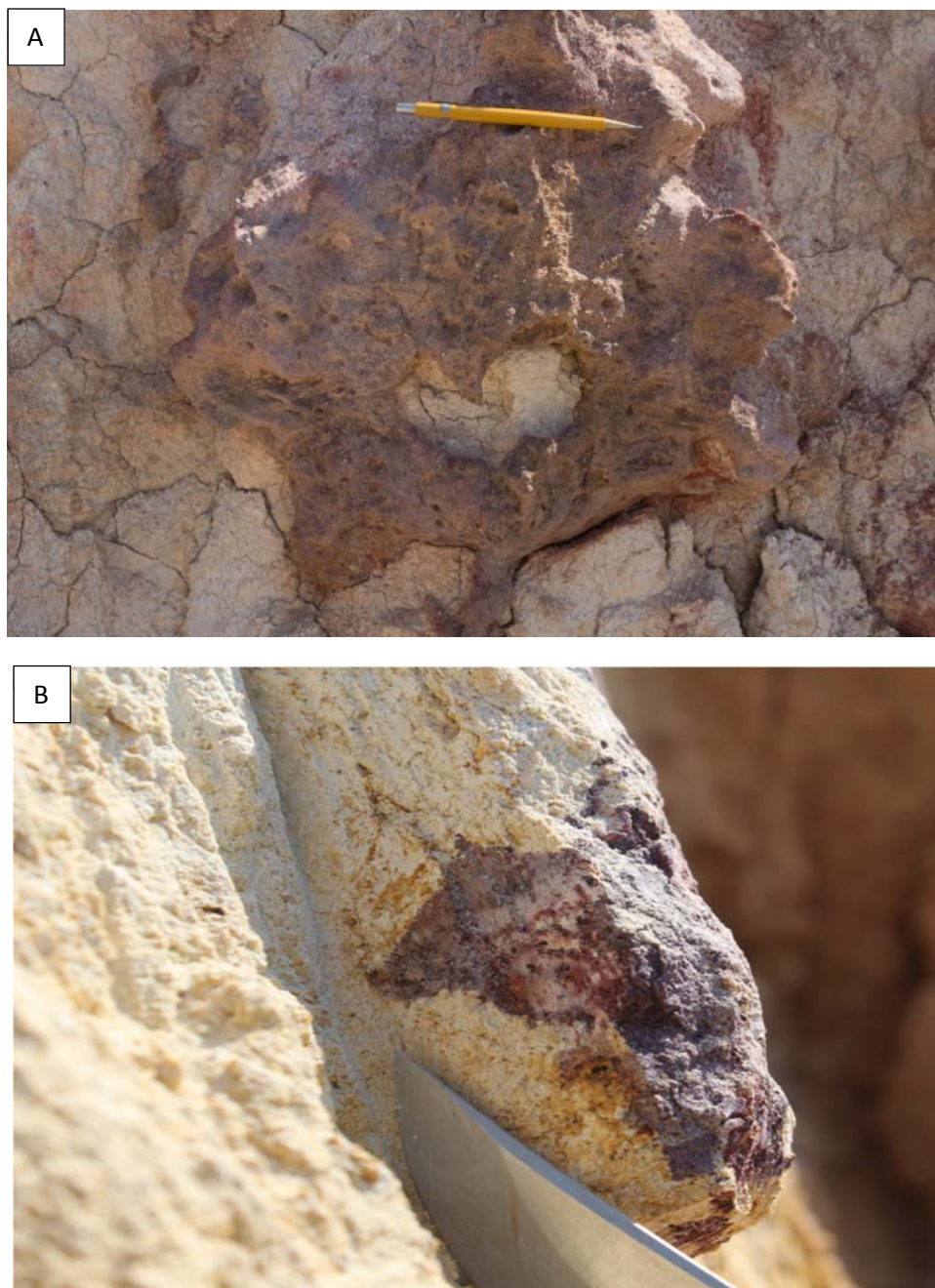


Figura 18 – A) Feições cavernosas presentes no nível ferruginoso basal; B) aspecto do processo de argilização do material.

Superpostas às colunas ferruginosas, encontram-se feições tubulares associadas à cimentação de tubos de raízes por óxidos de ferro (Figura 19). Assim, as diferentes características presentes nesse mesmo nível evidenciam a superposição dos processos de ferruginização, deferruginização, reprecipitação preferencial do ferro.



Figura 19 – Feições tubulares associadas à cimentação de raízes por óxidos de ferro, superpostas à couraça de morfologia colunar, indicando fases distintas de cimentação ferruginosa.

A descrição macroscópica permitiu identificar as seguintes características principais (Figura 20): grau intermediário de coesão; coloração variegada, predominando tons arroxeados; granulometria areia média a grossa, com concentrações de argila com morfologia tubular; estrutura colunar, apresentando reentrâncias e feições circulares de ferruginização; e mineralogia básica formada por quartzo e óxidos/hidróxidos de ferro.

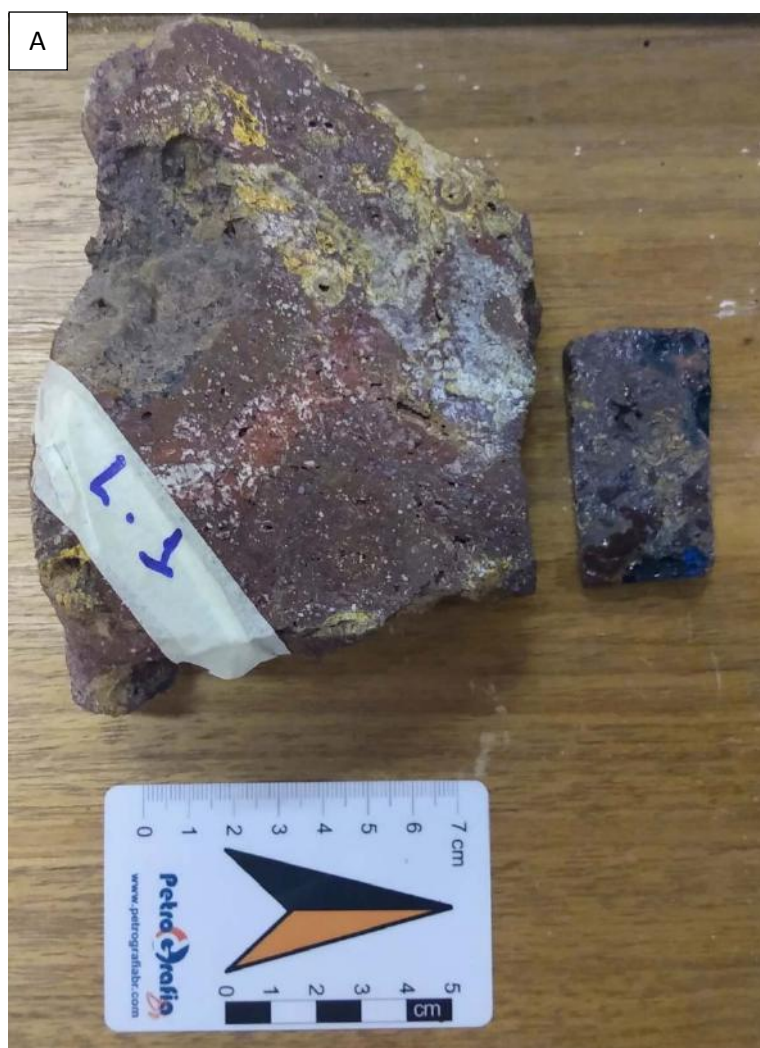


Figura 20 – A) Amostra de mão utilizada para a caracterização macroscópica do nível ferruginoso basal; B) em detalhe, feições circulares associadas à ferruginização.

A partir da análise microscópica pode-se observar que a trama das couraças basais é composta por um cimento de coloração preto-avermelhado, que envolve todo o fundo matricial, com grãos de quartzo angulares a subangulares imersos, numa distribuição relativa entre grossos e finos do tipo porfírica (Figura 21). Existem também zonas em que o cimento ferruginoso se encontra na forma de halos residuais, com os grãos de quartzo imersos numa micromassa clara (amarelo pálido a rosada), supostamente produto da deferruginização. A transição entre essas seções é marcada por um cimento de aspecto salpicado, típico da degradação de couraças ferruginosas (Figura 21).

O processo de degradação da couraça ferruginosa pode ser mais bem visualizado na fotomicrografia da Figura 22. A transformação do cimento é acompanhada por uma mudança de cores no sentido vermelho escuro – vermelho claro – amarelado – esbranquiçado. Essa variação de cor reflete uma típica sequência de transformação associada às mudanças das condições redox, em que as couraças foram possivelmente submetidas a condições hidromórficas. É provável que essa mudança indique uma transformação da composição mineralógica, no sentido óxidos de ferro, hidróxidos de ferro, argilominerais e quartzo.



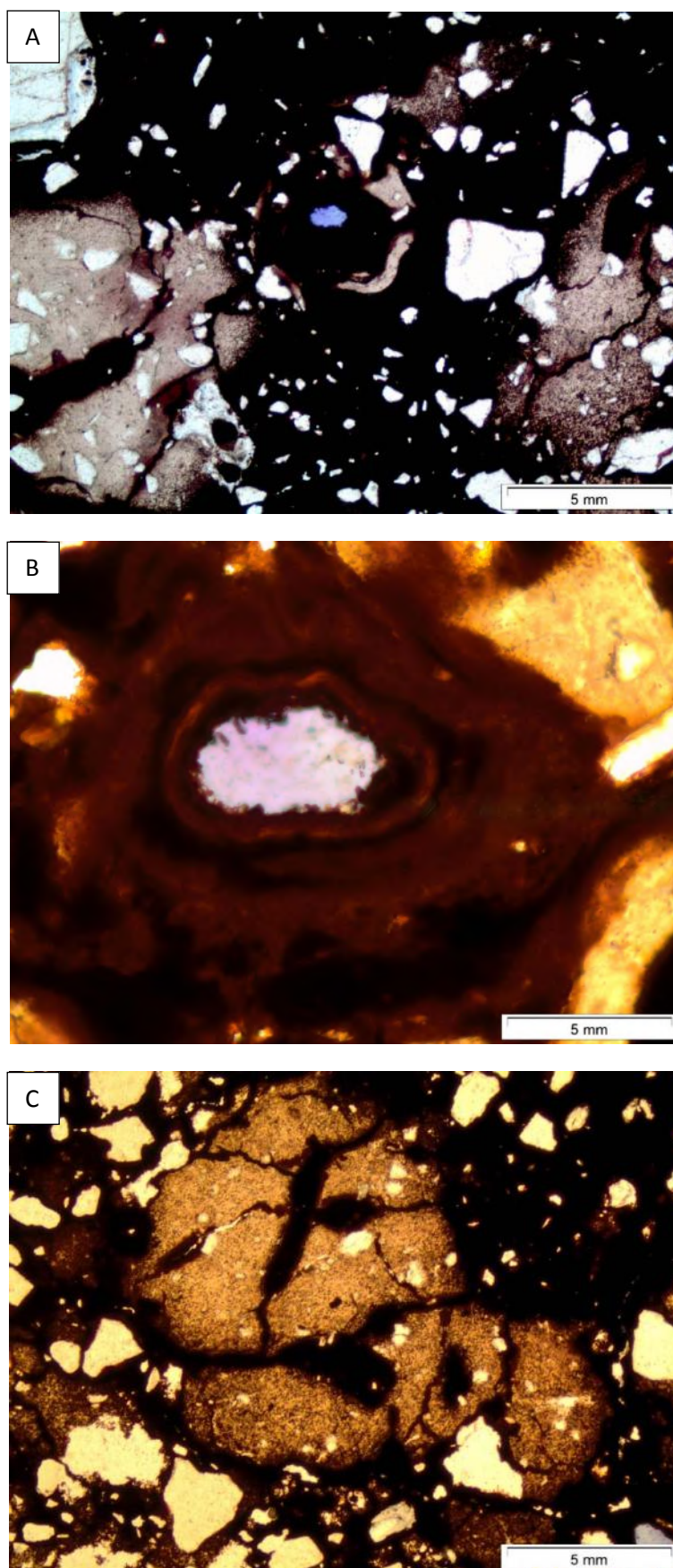


Figura 21 – A) Intensa cimentação por óxidos/hidróxidos de ferro, com a formação de concreção ferruginosa (no centro da foto); B) detalhe da concreção ferruginosa citada em A; C) detalhe da micromassa salpicada por pontos escuros.

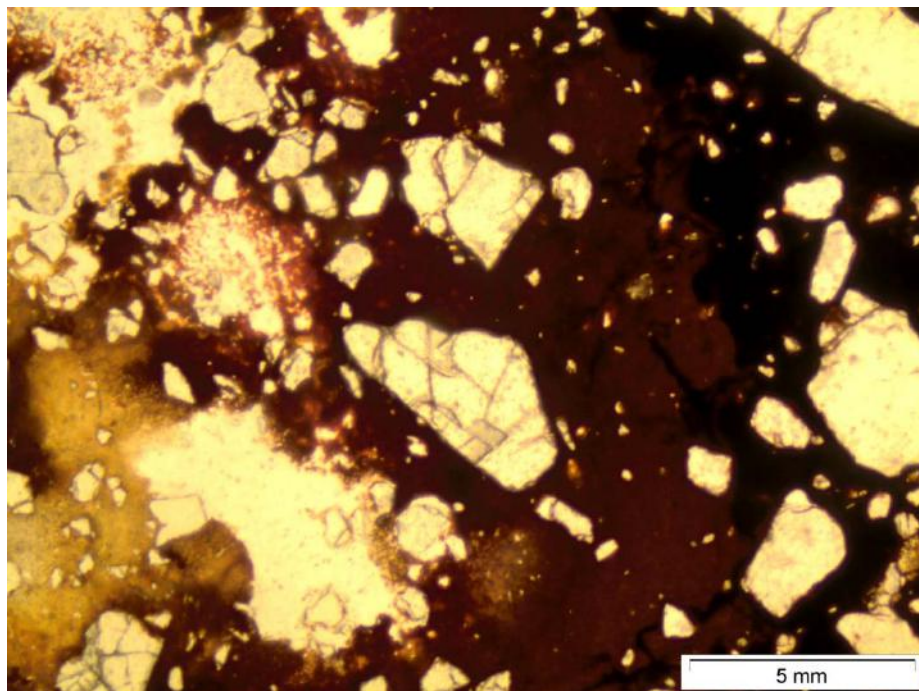


Figura 22 – Variação na cimentação por óxidos de ferro (maior à direita), relacionada a um processo de deferruginização.

Há porções que indicam também a reprecipitação do ferro em feições circulares (Figura 23), com trama interna concêntrica, sugerindo que ocorrem variações nas condições redoximólicas durante o processo de degradação da couraça. Esse processo estaria relacionado à formação das feições tubulares superpostas à couraça colunar, tendo em vista que as feições tubulares mostram os mesmos aspectos microscópicos (Figura 24).

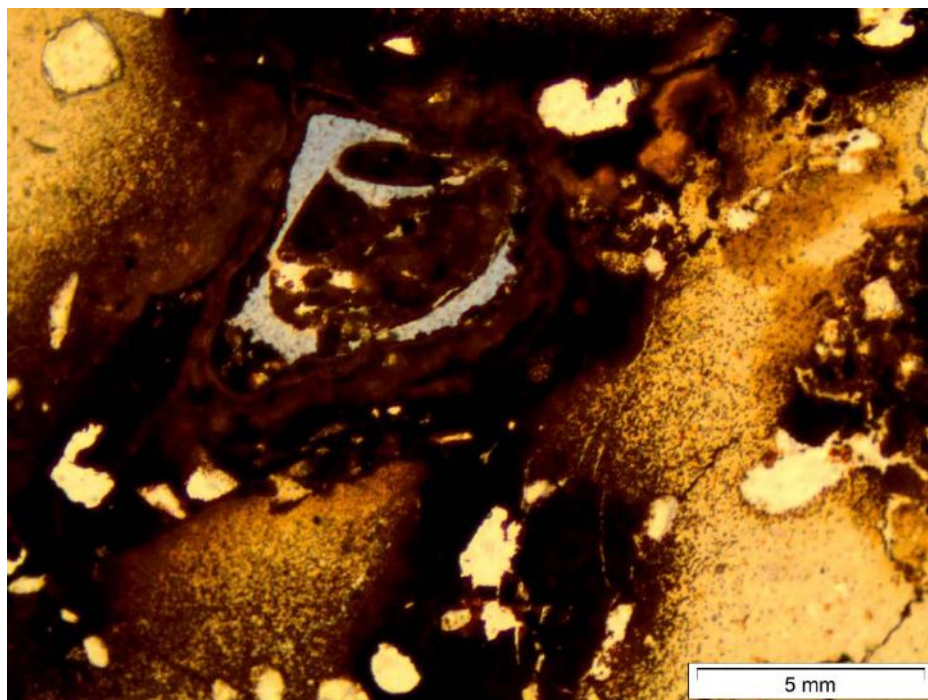


Figura 23 – Reprecipitação de óxidos de ferro em feições circulares.

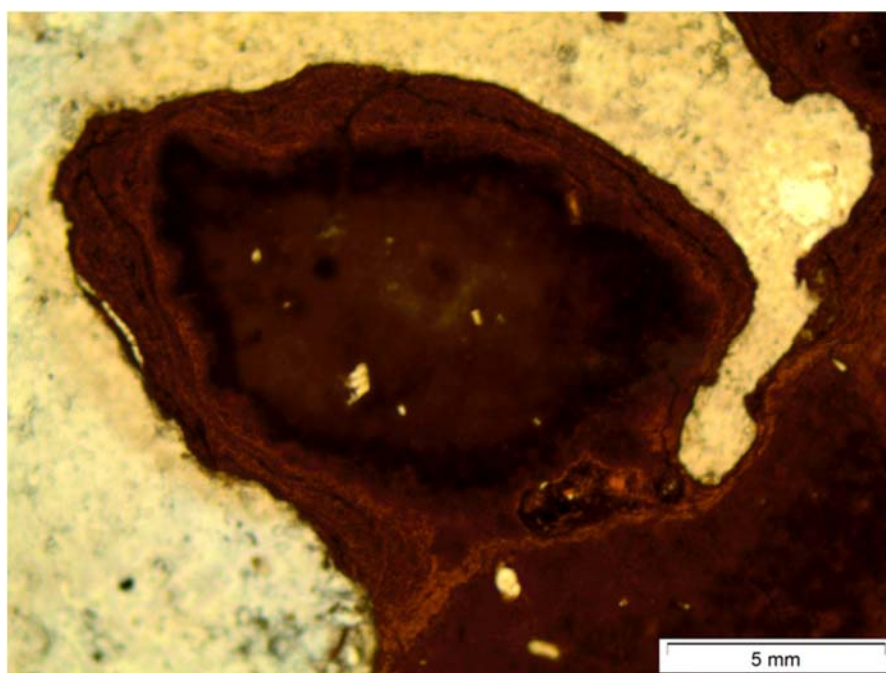


Figura 24 – Aspecto da reprecipitação do ferro a partir de um padrão circular e concêntrico, identificado nas feições tubulares.

### 5.2.2. NÍVEL INTERMEDIÁRIO

Na porção intermediária da Seção Lagoa Caculucaje está presente uma couraça ferruginosa desenvolvida no contato entre camadas areníticas e lutíticas, sugerindo uma relação com a diferença de permeabilidade entre as litologias (Figuras 13 e 25).



Figura 25 – Couraça ferruginosa de morfologia placoidal desenvolvida na porção intermediária da Seção Lagoa Caculucaje.

A partir da descrição macroscópica, foram identificadas as seguintes características principais (Figura 26): grau de coesão elevado; coloração arroxeada; granulometria areia ou argila; estrutura maciça; morfologia placoidal; e mineralogia básica formada por óxidos/hidróxidos de ferro e quartzo.

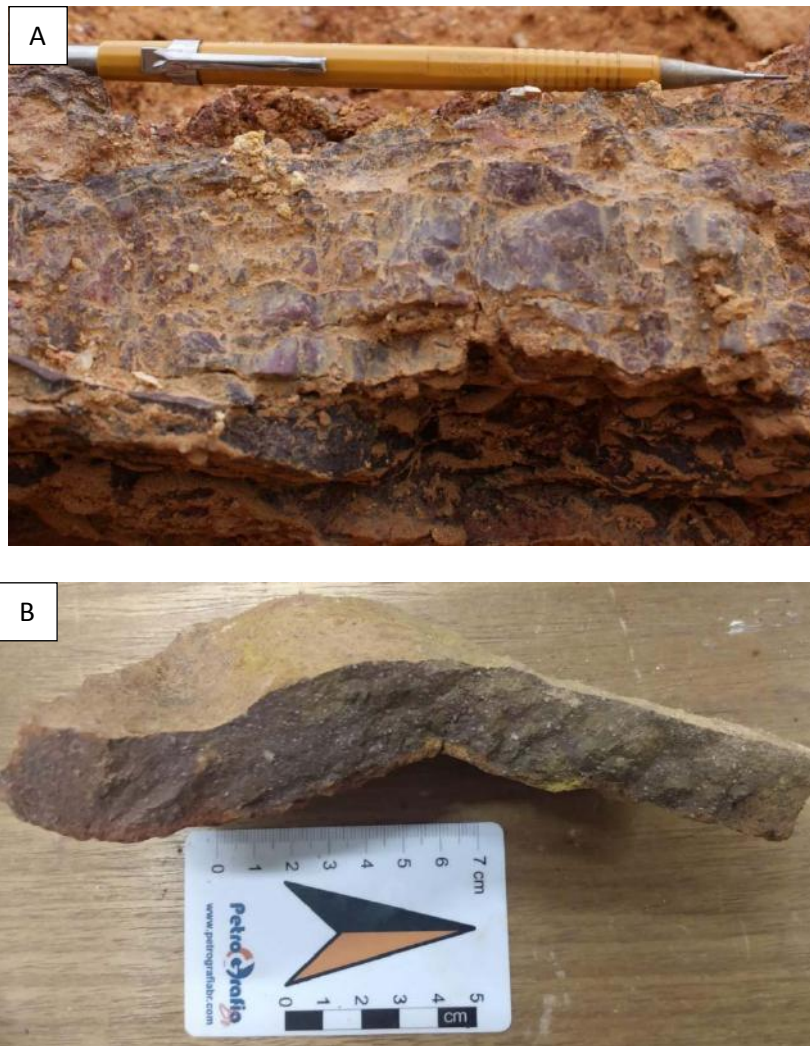


Figura 26 – Amostras de mão utilizadas para a caracterização macroscópica do nível ferruginoso intermediário: A) couraça desenvolvida em lutito; B) couraça desenvolvida em arenito.

As análises microscópicas ressaltaram os aspectos relacionados à cimentação ferruginosa em camadas de lutito e arenito (Figura 27), além do padrão lamelar da ferruginização (Figura 28). Enquanto na camada de arenito a trama interna se assemelha à couraça basal, na camada de lutito observa-se basicamente o cimento. O aspecto lamelar pode indicar tanto o comportamento do freático durante a precipitação do ferro quanto o controle das estruturas das camadas das rochas preexistentes.

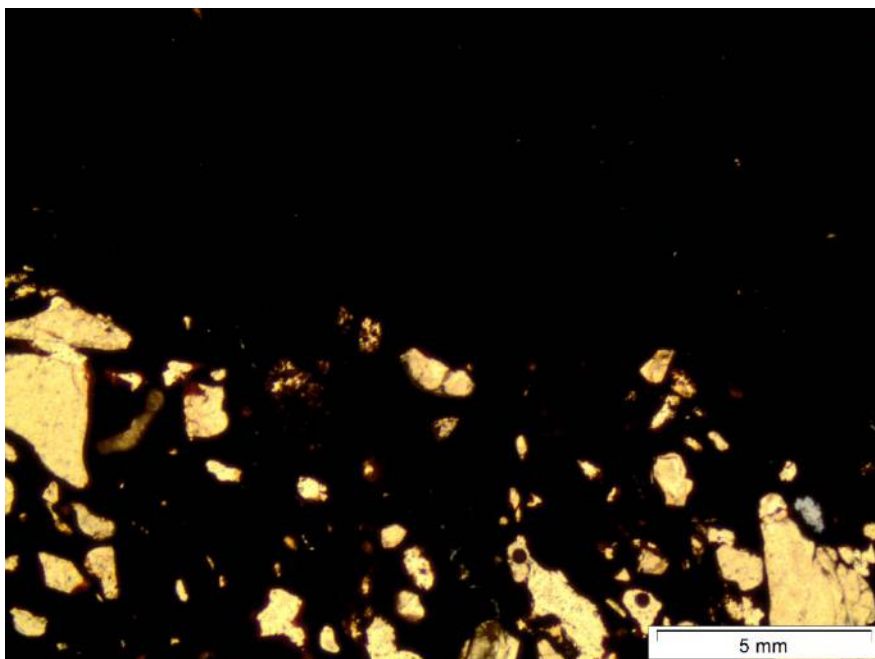


Figura 27 – Aspectos microscópicos distintos da cimentação ferruginosa no contato de camada de arenito (abaixo) e lutito (acima) no nível intermediário de couraça na Seção Lagoa Caculucaje.

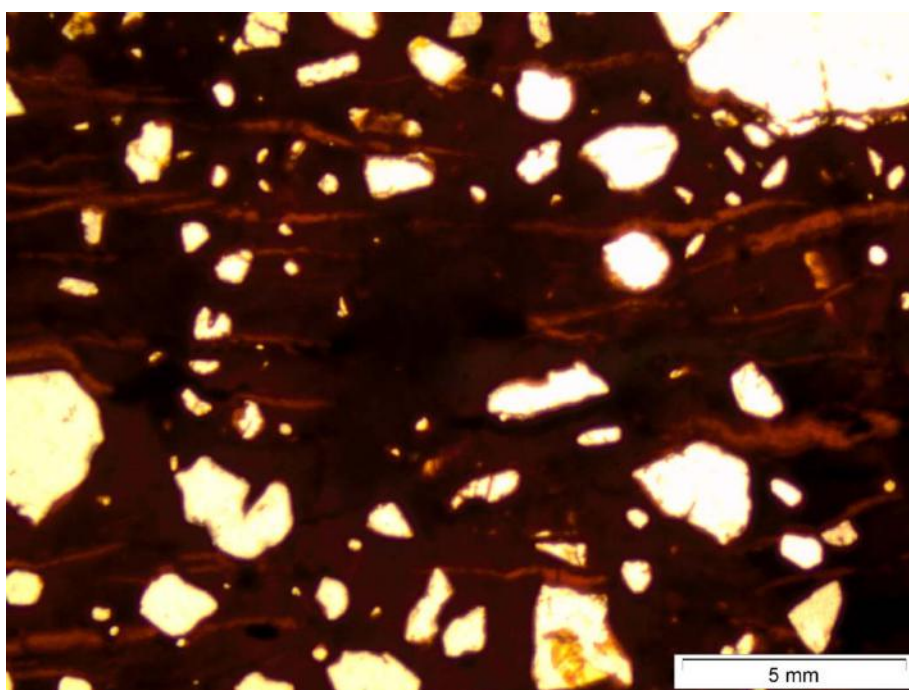


Figura 28 – Aspecto lamelar da ferruginização no nível intermediário de couraça na Seção Lagoa Caculucaje.

### 5.2.3. NÍVEL SUPERIOR

O nível de couraça ferruginosa presente próximo ao topo da Seção Lagoa Caculucaje, no limite basal da cobertura “pós-Barreiras” (Figura 13), é caracterizado por uma estrutura nodular (Figura 29), tratada na literatura como “couraça fragmentada” (Santos, 2006). Essa autora levanta a possibilidade de a couraça ferruginosa fragmentada ser formada a partir do abatimento e colapso de um perfil laterítico (formação *in situ*).



Figura 29 – Couraça ferruginosa de morfologia nodular presente na porção superior da Seção Lagoa Caculucaje, no limite basal da cobertura “pós-Barreiras”.

A análise macroscópica permitiu identificar as seguintes características principais (Figura 30): baixo grau de coesão; coloração arroxeada a avermelhada; granulometria areia média a grossa, com presença de grânulos; estrutura nodular; e mineralogia básica de quartzo e óxidos/hidróxidos de ferro.



Figura 30 – Amostra de mão utilizada para a caracterização macroscópica do nível ferruginoso superior.

Pela análise petrográfica, foram observados grãos de areia envoltos por cimento de óxidos/hidróxidos de ferro, numa distribuição porfírica (Figura 31). Feições de dissolução, feições circulares e aspectos texturais da perda de ferro não foram reconhecidos nesse nível de couraça.

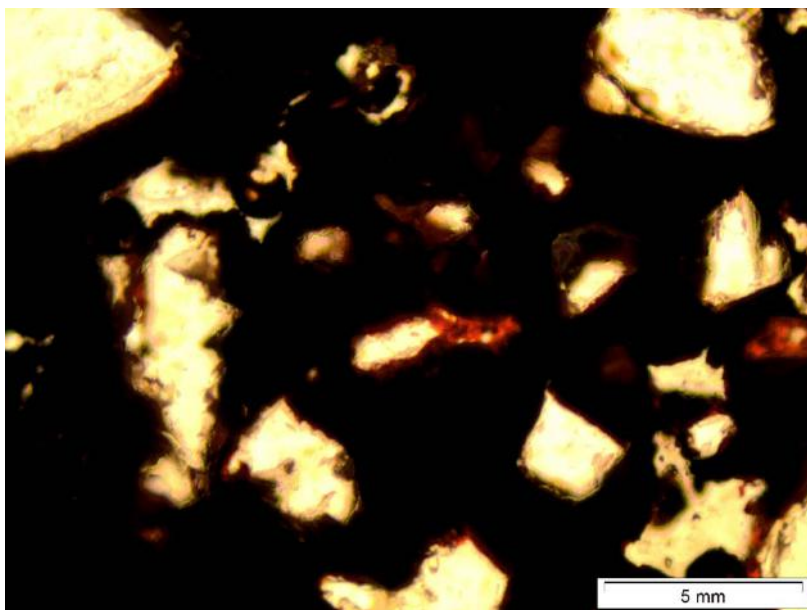


Figura 31 – Grãos de areia cimentados por óxidos/hidróxidos de ferro.



### 5.3. Perfil Pedológico

O perfil de solo desenvolvido na cobertura areno-argilosa do tabuleiro na Seção Lagoa Caculucaje abrangeu os horizontes Ap, Bw, BC, CB e C (Figura 32). Esta sucessão de horizontes indica a preservação dos componentes de um perfil laterítico típico proposto por Aleva (1994): solo, duricrosta, zona mosqueada, saprolito e rocha mãe (Figura 33).

Na base do perfil foi identificado o horizonte C, de coloração avermelhada, com a presença de nódulos ferruginosos dispersos de tamanhos variados, de granulo a seixo grosso, com a couraça fragmentada marcando o seu limite superior (Figura 34).

De acordo com Santos (2006), com a evolução do perfil laterítico, o solo é gerado a partir do horizonte C pela transformação de nódulos de ferro em microgóbulos, pela dessilicificação de caulinita em gibbsita e pela hidratação da hematita com transformação em goethita. A formação do horizonte Bw diagnóstico de latossolo, de coloração amarelada, passa pelos horizontes transicionais CB (de coloração avermelhada-alaranjada - Figura 35) e BC (de coloração alaranjada-amarelada), mostrando uma litoddependência com os horizontes inferiores.

Por todo o perfil foi identificada a presença de pequenas concreções ferruginosas, de granulometria areia a grânulo (Figura 36).

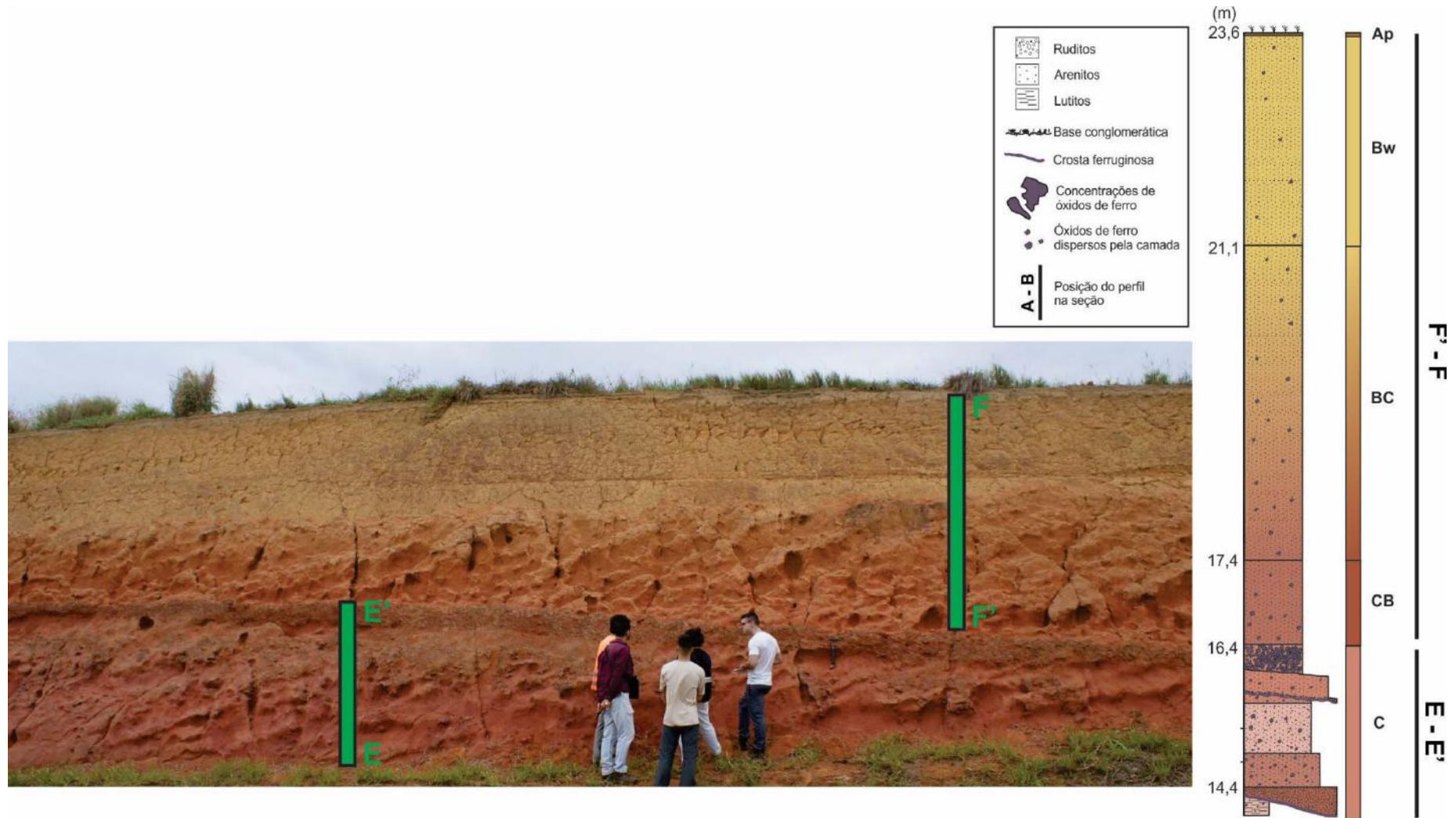


Figura 32 – Perfil pedológico elaborado na Seção Lagoa Caculucaje, contendo os horizontes C, CB, BC, Bw e Ap. Destaque para a couraça ferruginosa desenvolvida no topo do horizonte C (limite basal da cobertura “pós-Barreiras”).

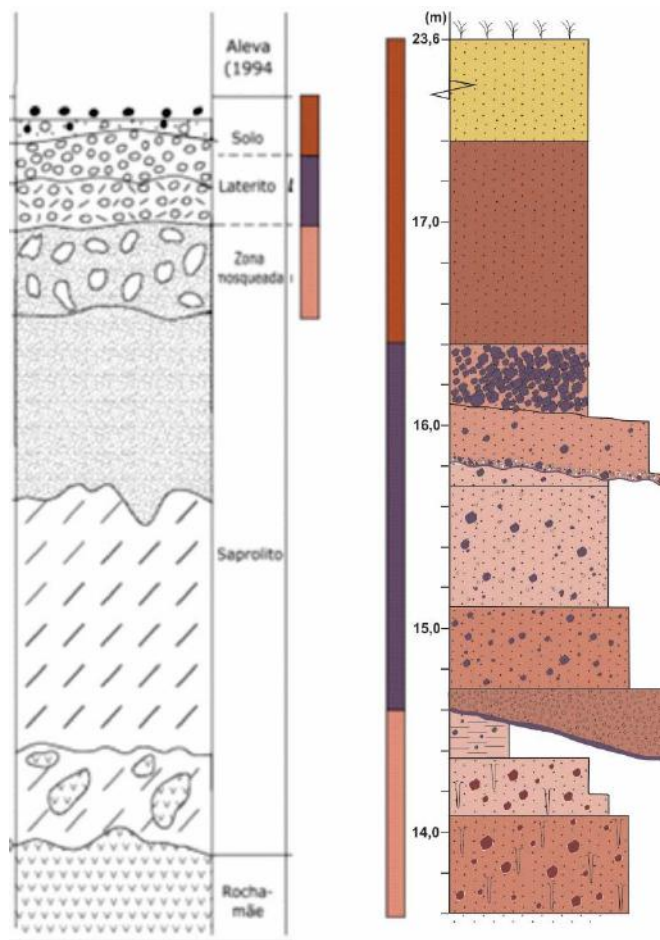


Figura 33 – Relação dos componentes presentes no perfil Seção Lagoa Caculucaje com o perfil laterítico típico proposto por Aleva (1994).



Figura 34 – Horizonte C do perfil pedológico elaborado na Seção Lagoa Caculucaje, apresentando diversos nódulos ferruginosos dispersos e topo marcado pela couraça fragmentada.



Figura 35 – Horizonte transicional CB, marcado pela coloração avermelhada-alaranjada.



Figura 36 – Nódulos ferruginosos observados no horizonte BC.

## 6. CONCLUSÃO

A partir das fácies identificadas e com base na literatura (Morais, 2007 e West, 2019), os depósitos da Formação Barreiras descritos são atribuídos a uma origem continental, em sistemas fluviais entrelaçados. Esses depósitos apresentam intensas modificações pós-deposicionais, tanto por mecanismos de bioturbação quanto por processos lateríticos e pedogenéticos, que muitas vezes suprimem as estruturas sedimentares primárias.

No topo da seção, onde a Formação Barreiras encontra-se superposta pela cobertura “pós-Barreiras”, foi caracterizado um perfil laterítico completo e o desenvolvimento da couraça fragmentada. Assim, é atribuída à cobertura “pós-Barreiras” na Seção Lagoa Caculucaje uma origem pedogenética, sendo o produto da alteração *in situ* dos depósitos da Formação Barreiras.

As análises dos aspectos ferruginosos levaram ao entendimento de que o tabuleiro foi ferruginizado quase completamente, sofrendo uma degradação do topo para a base (evidenciada pela presença de diversos nódulos ferruginosos ao longo do perfil) e da base para o topo (evidenciado pela couraça tubular da base, que ainda preserva feições colunares, como resquício da ferruginização dos depósitos). A couraça do topo foi formada a partir de processos pedológicos. Três hipóteses são consideradas para a formação da couraça intermediária, sob controle do lençol freático, cuja posição no local é limitada pela posição do nível do mar: a primeira leva em consideração a remobilização do ferro da couraça basal, indicando uma movimentação ascendente do ferro; a segunda parte do avanço da lixiviação devido aos processos pedogenéticos, indicando uma movimentação descendente do ferro; a terceira hipótese seria a atuação conjunta desses mecanismos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEVA, G. J. J. 1994. **Laterites: concepts, geology, morphology and chemistry**. International Soil Reference and Information Center, The Netherlands. 169 p.
- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F. 1991. A Formação Barreiras. Revisão Geológica da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. **Estudos Geológicos**, Série B, Estudos Pesquisas da Universidade Federal de Pernambuco, v. 10, p. 77-88.
- ALVES, J. S. E. 2016. **Faciologia do Grupo Barreiras no Sul do Estado do Espírito Santo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia). Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. 69 p.
- AMADOR, E. S. 1982. Depósitos relacionados à Formação inferior do Grupo Barreiras no Estado do Espírito Santo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG. v. 4, p. 1451-1460.
- AMADOR, E. S.; DIAS, G. T. M. 1978. Considerações preliminares sobre depósitos do Terciário Superior do norte do Espírito Santo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 50, n. 1, p. 121.
- ARAI, M. 2006. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Geologia USP (Série Científica)**, n. 6, p. 1-6.

- BIGARELLA, J. J. & ANDRADE, G. O. 1964. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). **Arquivo Instituto de Ciências da Terra**, Recife, n. 2, p. 2-14.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, Mapas e SIG**. Brasília: CPRM, 2003.
- BRÊDA, T. C. 2012. **Análise multiescalar da Formação Barreiras na área emergida da bacia de Campos, entre Búzios e Campos dos Goytacazes (RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 112 p.
- BRICALLI, L. L. 2011. **Padrões de lineamentos e fraturamento neotectônico no estado do Espírito Santo (Sudeste do Brasil)**. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 221 p.
- COSTA, M. L. 2008. Introdução ao intemperismo laterítico e à lateritização. In: **Prospecção geoquímica de depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gás**. São Paulo, SBGq, p. 199-244.
- HASUI, 2010. A grande colisão pré-Cambriana do Sudeste Brasileiro e a estruturação regional. **Geociências**, V. 29, N. 2, P. 141-169.
- LIMA, M. G. 2008. **A história do intemperismo na província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: implicações paleoclimáticas e tectônicas**. Tese (Doutorado em Geodinâmica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte. 251 p.

- LIMA, C. C. U.; VILAS BOAS, G. S.; BEZERRA, F. H. R. 2006. Faciologia e Análise Tectônica Preliminar da Formação Barreiras no Litoral Sul do Estado da Bahia. **Geologia USP (Série Científica)**, v. 06, n.2, 71-80 p.
- MABESOONE, J. M.; CAMPOS E SILVA, A.; BEURLLEN, K. 1972. Estratigrafia e Origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geociências**, 2(3): 173-188 p.
- MORAIS, R. M. O. 2007. **Sistemas fluviais terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (Formações Barreiras e Rio Doce)**. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 144 p.
- Moraes, R. M. O. 2001. **Estudo faciológico da Formação Barreiras na região entre Maricá e Barra de Itabapoana, estado do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 113 p.
- MORAIS, R. M. O.; MELLO, C. L.; COSTA, F. O.; RIBEIRO, C. S. 2005. Estudos faciológicos de depósitos terciários (formações Barreiras e Rio Doce) aflorantes na porção emersa da bacia do Espírito Santo e na região emersa adjacente à porção norte da bacia de Campos. In: Congresso da ABEQUA, 10, Guarapari. **Anais...** Guarapari: ABEQUA, p. 253.
- RIBEIRO, C. S. 2010. **Influência da tectônica pós-deposicional na distribuição da Formação Barreiras entre o rio Paraíba do Sul (RJ) e rio Doce (ES)**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 165 p.



- RICCI, J. A. & BECKER, M.R. 1991. Análise sísmo-estratigráfica no Terciário da Bacia de Campos. In: SBGf, Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 2, Salvador, **Anais...**, II: 615-620
- RICCOMINI, C. 1989. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 256 p.
- Riccomini, C.; Sant'anna, L. G.; Ferrari, A. L. 2004. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso-Neto, V. M.; Bartorelli, A.; Carneiro, C. D. R.; Brito-Neves, B. B. (orgs.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca. p. 383-406.
- ROSSETTI, D. F. 2005. The Estuarine Nature of The Barreiras Formation in the Rio Capim area, northern Brazil. In: Congresso da ABEQUA, 10, Guarapari. **Anais...** ABEQUA: Guarapari.
- ROSSETTI, D. F. & DOMINGUEZ, J. M. L. 2011. Evidência Marinha na Formação Barreiras do Litoral do Estado da Bahia. In: Congresso da ABEQUA, 13, Búzios. III Simpósio Barreiras. **Anais...** Búzios: ABEQUA.
- SANTOS, P. F. 2006. **Abordagem estratigráfica dos regolitos na mina de Igarapé-Bahia, Província Mineral de Carajás (PA), Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 115 p.
- SILVA, S. F. & MACHADO, M. F. 2014. **Geodiversidade do estado do Espírito Santo. Programa Geologia do Brasil, Levantamento da**

**Geodiversidade.** Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte. 120 p.

SUGUIO, K. & NOGUEIRA, A. C. R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. **Geociências**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 461-479, 1999.

VIEIRA, V. S. & MENEZES, R. G. 2015. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais, escala 1:400.000.** Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte. 289 p.

WEST, D. C. 2019. **Modelo tectonossedimentar e deformação pós-deposicional da Formação Barreiras na região sul do Espírito Santo.** Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 142 p.

WEST, D. C. 2017. **Mapeamento geológico (Escala 1:25.000) e modelo tectonossedimentar para a Formação Barreiras no sul do estado do Espírito Santo.** Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 72 p.

WINTER, W. R.; JAHNERT, R. J.; FRANÇA, A. B. 2007. Bacia De Campos. In: Milani, E. J. (Coord.); Rangel, H. D.; Bueno, G. V.; Stica, J. M.; Winter, W. R.; Caixeta, J. M.; Pessoa Neto, O. C. Cartas Estratigráficas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 511-529.